

УДК 622.831.322:635

АНАЛИЗ ПРОЯВЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА НА ПОЛОГИХ ПЛАСТАХ СМОЛЯНИНОВСКОЙ И КАМЕНСКОЙ СВИТ

Анциферов А. В.

(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Киселев Н. Н.

(НТЦ "ОНИС при УкрНИМИ НАНУ", г. Донецк, Украина)

Радченко А. Г.

(ДУЭК, г. Донецк, Украина)

Радченко А. А.

(Донбасская НАСА, г. Макеевка, Украина)

Наведені результати статистичного аналізу прояву викидів вугілля і газу на пологих пластах, розкрита фізична сутність перетворень, що відбуваються у вугіллях різної стадії метаморфізму.

The results of statistic analysis for manifestations of coal and gas outbursts at flat-lying seams are given and physics of transformations in coals of different ranks is described.

Исследованиям проявления выбросоопасности углей в зависимости от степени их метаморфизма посвящены работы многих исследователей. Согласно [1] природное формирование выбросоопасности угольных пластов определяется степенью метаморфизма углей:

– удельная частота выбросов достигает максимальных значений при весовом выходе летучих веществ $V^{\text{daf}} \approx 20\%$;

– минимум прочности и пористости углей приходится на $V^{\text{daf}} \approx 20\% \div 26,0\%$;

– давление газов на выбросоопасных угольных пластах – ($P_{\text{газ}}$) достигает максимальных значений при $V^{\text{daf}} \approx 20 \div 22 \%$.

Следует подчеркнуть, что физическая сущность происходящих изменений в углях в ряду метаморфизма авторами работы [1] практически не раскрыта. Важным достоинством работы [1] является установление тесных корреляционных связей между выбросоопасностью угольных пластов и степенью метаморфизма углей. В работах [1, 2] при анализе выбросоопасности отсутствует разделение шахтопластов по свитам, на пологое и на крутое падения. Гравитационные силы играют определяющую роль в развязывании и протекании внезапных обрушений угля, эти газодинамические явления происходят только на крутых и крутонаклонных пластах [21]. Весьма часто обрушения угля переходят во внезапные выбросы угля и газа.

Целью настоящей работы является:

– установление основных тенденций изменения выбросоопасности угольных пластов с увеличением глубины ведения горных работ и в зависимости от степени метаморфизма углей;

– выяснение диапазона значений V^{daf} , в котором на пологих пластах наблюдается максимальная частота внезапных выбросов угля и газа.

В работе [2] выполнен анализ 586 внезапных выбросов угля и газа, которые произошли в подготовительных выработках при всех видах работ (кроме сотрясательного взрывания) на шахтах Донбасса за период 1951÷1996 гг. На выбросоопасных пластах повышенное число выбросов зафиксировано в диапазоне $V^{\text{daf}}=13-33 \%$, максимальное число выбросов наблюдалось в диапазоне $V^{\text{daf}}=21-25 \%$. На особо выбросоопасных пластах максимальное число выбросов было отмечено в диапазоне значений $V^{\text{daf}}=17-21 \%$. При анализе выбросов также отсутствует разделение пластов на крутое и пологое падение.

В методическом плане анализ выбросов угля и газа нами проводился с разделением шахтопластов на свиты, а также на крутое и пологое падение. В настоящей работе нами приведен анализ внезапных выбросов угля и газа только на пластах пологого падения по смоляниновской и каменской свитам. Анализ выполнен за период 1946÷2006 гг. по данным работы [3] и фон-

довых материалов УкрНИМИ НАН Украины и МакНИИ. Анализировались следующие пласты: смоляниновская свита - h_2^1 , h_3 , h_4 , h_6^1 , h_7 , h_8 , h_{10} , h_{11} ; каменная свита - k_2^2 , k_2^H , k_3 , k_5 , k_5^H , k_8 и др. К учету взят также пласт g_2 – Наталия. Анализ выбросов выполнен на пластах с углами падения $\alpha = 0 \div 30^\circ$ и на глубинах $H = 160 \div 1260$ м. Результаты статистического анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1
 Результаты статистического анализа внезапных выбросов

| Глубина, м | Количество внезапных выбросов по группам метаморфизма | | | | | | Всего |
|----------------|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|-------|
| | $V^{daf} > 29,0$ % | $V^{daf} = 29,0 \div 25,1$ % | $V^{daf} = 25,0 \div 18,1$ % | $V^{daf} = 18,0 \div 13,1$ % | $V^{daf} = 13,0 \div 9,1$ % | $V^{daf} \leq 9,0$ % | |
| $H \leq 600$ м | 4 | 2 | 101 | 212 | 9 | 125 | 453 |
| $H > 600$ м | 116 | 4 | 26 | 411 | 2 | 6 | 565 |
| Всего | 120 | 6 | 127 | 623 | 11 | 131 | 1018 |

Всего было проанализировано 1018 выбросов. Из таблицы 1 следует, что максимальное количество выбросов произошло при $V^{daf} = 13,1 \div 18,0$ %. Значительное количество выбросов отмечено также при $V^{daf} \leq 9,0$ % ($n = 131$) и при $V^{daf} > 29,0$ % ($n = 120$). Характерным фактором является следующее: при значениях $V^{daf} \leq 9,0$ % на глубинах $H < 600$ м произошло 125 выбросов, а при $V^{daf} = 29,0 \div 42,5$ % 116 выбросов зафиксировано на глубинах $H > 600$ м. Следует особо подчеркнуть, что при $V^{daf} = 18,0 \div 13,1$ % наблюдается существенный рост числа выбросов с глубиной.

Рассмотрим изменения, которые происходят в углях средней стадии метаморфизма. По данным ДонУГИ [4] механическая прочность углей по копру минимальная, дробимость углей максимальная при $V^{daf} = 13 \div 33$ %. По данным Е. М. Тайца и З. С. Тябиной минимальные значения микротвердости углей Донбасса в ряду метаморфизма наблюдаются при $V^{daf} = 17 \div 23$ %. По данным Иванова Г. А. [5] микротвердость витринита углей ряда мета-

морфизма имеет минимальные значения для углей марок Д, Г (1-й минимум) и марки ОС (2-й минимум), который приходится на $C^{daf} = 89\div 90$ %, т. е. приходится на диапазон значений $V^{daf} = 18,0\div 13,0$ %. Согласно [6] надмолекулярная структура связана со степенью метаморфизма угля. Угли низкой стадии метаморфизма ($V^{daf} = 42\div 18$ %) имеют переходную (подглобулярную) структуру, угли средней стадии метаморфизма – глобулярную структуру, а угли высокой стадии метаморфизма имеют переходную (надглобулярную) структуру (см. таблицу 2).

Таблица 2

Изменение показателей в зависимости от V^{daf}

| Надмолекулярная структура | V^{daf} , % | C^{daf} , % | H_{α}/C_{α} | O_{α}/C_{α} | N, % |
|-----------------------------|---------------|---------------|-------------------------|-------------------------|----------|
| Переходная (подглобулярная) | 18÷25 | 84÷88 | 0,8-0,7 | 0,071-0,110 | 5,3-5,1 |
| Глобулярная | 10÷18 | 88-92 | 0,7-0,51 | 0,021-0,034 | 5,1-3,75 |
| Переходная (надглобулярная) | менее 10 | 92-95,5 | 0,52-0,15 | 0,013-0,016 | 3,75-1,0 |

По данным А. В. Артемова и Г. Д. Фролкина кривые для N – концентрации парамагнитных центров и $\text{tg}\delta$ – тангенса диэлектрических потерь имеют максимумы в зоне выброса.

Показатель N характеризует нарушенность молекулярной структуры и наличие свободных радикалов, образующихся в результате разрыва внутримолекулярных связей, показатель $\text{tg}\delta$ отражает структурную нарушенность, зависящую от степени упорядоченности ароматики в угле [6]. Максимальные значения показателя N находятся в диапазоне $V^{daf} = 18,0\div 6,0$ %.

Каменные угли анизотропны, их анизотропия возрастает по мере упорядоченности структуры. Изменение нарушенности молекулярной структуры углей - N, модуля упругости углей - $E_{ст.}$, показателя степени масштабного эффекта - n от V^{daf} приведены в таблице 3.

Таблица 3

Изменение показателей N , $E_{ст}$, n от V^{daf}

| Параметр | Значения V^{daf} , % | | | | | | | Источник информации |
|----------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | |
| $N(ПМЦ)$ | 77,66 | 87,14 | 82,57 | 55,35 | 32,00 | 24,95 | <24,5 | [7] |
| $E_{ст}$ | 3,4 | 2,5 | 2,0 | 1,9 | 2,2 | 3,3 | 4,5 | [8, 9] |
| n | 0,30 | 0,27 | 0,21 | 0,18 | 0,19 | 0,24 | 0,26 | [8, 9] |

Следует отметить, что в интервале $V^{daf} = 18,0-6,0$ % идет существенное возрастание $E_{ст}$, рост природной газоносности углей – $X_{прир.}$, накопление энергии в углях – $W_{пот.}$

Рассмотрим кратко изменение прочности углей в ряду метаморфизма. В работах [10, 11] показана связь между коэффициентом структурного ослабления – K_c и коэффициентом вариации прочности структурных элементов объекта – $K_{вар.}$ Из работ [10, 11] следует, что с ростом неоднородности среды – ($K_{вар.}$) прочность объекта падает, величина K_c снижается. В работе [12] указывается, что маловосстановленные угли [а] являются более однородными, по сравнению с восстановленными углями [в], которые отличаются повышенной неоднородностью. Согласно [12], наблюдается единая закономерность изменения упругих свойств углей в ряду метаморфизма. Угли средней стадии метаморфизма имеют низкую прочность, характеризуются резким снижением упругих свойств, отличаются повышенной дробимостью. Дробимость углей в свою очередь определяется взаимоотношениями твердости, вязкости и трещиноватости.

Угли средней стадии метаморфизма имеют повышенные вязкость, пластичность, спекаемость, коксуемость, отличаются повышенными значениями коэффициентов вариации по параметрам V^{daf} , y – толщина пластического слоя. Маловосстановленные угли отличаются большой однородностью по микрокомпонентному составу, имеют меньшие значения $K_{вар.}$ по окислам, золе, содержащимся в угле по сравнению с восстановленными углями [13]. Угли маловосстановленные - [а], с более высокой стадией метаморфизма являются более однородными по микрокомпонентному составу, отличаются более высокой степенью упорядо-

ченности их структуры по сравнению с менее метаморфизованными углями - [в] – (восстановленными), [13].

Связь между прочностью и степенью углефикации была изучена Драйденом, им установлено, что прочность углей минимальна при $C^{daf} = 89 \div 90 \%$. По данным Виккерса, в этой области угли имеют минимальное значение микротвердости. По данным [12] радиус молекулярных пор в ряду метаморфизма изменяется от 0,35 до 1,95 нм. В диапазоне $C^{daf} = 82 \div 86 \%$ наблюдаются максимальные значения радиусов молекулярных пор - r , объемов молекулярных пор – $V_{\text{мол.}}$ и микропор – $V_{\text{мик.}}$ в процессе углефикации, [12]. В диапазоне $C^{daf} = 89 \div 92,0 \%$ наблюдается уменьшение размера молекулярной поры с $r = 1,37$ нм до $r = 0,59$ нм. В диапазоне $C^{daf} = 94 \div 98,5 \%$ размеры поры r , а также величины $V_{\text{мол.}}$, $V_{\text{мик.}}$ возрастают, [12]. В работе [14] указывается, что в диапазоне $C^{daf} = 89,0 \div 92,0 \%$, т. е. ($V^{daf} = 18,0 \div 4,0 \%$) диаметр пор – $d_{\text{п}}$ уменьшается с $d_{\text{п}} = 0,20$ мкм до $d_{\text{п}} = 0,05$ мкм, т. е. в 4 раза. Далее в диапазоне $C^{daf} = 92 \div 94 \%$ размер $d_{\text{п}}$ – диаметра пор вновь увеличивается до значений $d_{\text{п}} = 0,29$ мкм. По данным [15] микротвердость углей и модуль Юнга – E имеют минимальные значения при $V^{daf} = 18,0 \div 9,0 \%$. Согласно [12] неоднородность распределения золы по пласту может приводить к различной газоёмкости и разным пластовым давлениям газа в различных точках пласта. Величины набухания угля при сорбции CO_2 и CH_4 имеют максимальные значения при $V^{daf} = 18 \%$, [12].

По данным [16] наблюдается следующее распределение пор в углях: в углях с $C^{daf} < 75 \%$ преобладают макропоры (> 50 нм в диаметре), угли промежуточной стадии содержат значительную долю макро – (> 50 нм), мезо – (2-50 нм) и микропор (< 2 нм) – это соответствует диапазону $C^{daf} = 75 \div 85 \%$. В углях с $C^{daf} = 85 \div 91 \%$ - доминируют микропоры (< 2 нм).

С уменьшением сорбционного диаметра поры - A , нм увеличиваются максимумы частот колебаний молекулы для метана в поре угля, [17]. Частоты колебаний молекул метана в поре угля убывают с увеличением размера микропоры, это связано с увеличением длины свободного пробега молекул в микропоре и уменьшением энергии их взаимосвязи. Согласно [17], энергия ак-

тивации десорбции метана – $W_{ак}$, кДж/моль имеет минимальные значения при $C^{daf} = 89,1 \%$ (т. е. $V^{daf} = 18 \%$) и равна $W_{ак} = 8,8$.

Таким образом, в области значений $V^{daf} = 18-13,0 \%$ угольные пласты характеризуются повышенной потенциальной выбросоопасностью, которая обусловлена надмолекулярной организацией углей и рядом других природных факторов.

Для указанной области значений V^{daf} характерны:

- низкие значения прочности, пористости, микротвердости;
- высокие значения дробимости, природной газоносности, сорбционной набухаемости, газового давления, модуля упругости углей, концентрации парамагнитных центров;

- низкие значения диаметра пор, которые приводят к росту сорбционного набухания углей, росту газового давления;

- низкие значения энергии активации десорбции метана.

Выполненный ранее обзор литературы позволил сформулировать рабочую гипотезу проявления выбросоопасности на глубинах $H = 800 \div 1600$ м, основные положения которой изложены в работе [18].

Из таблицы 1 следует, что для углей низкой стадии метаморфизма на глубинах $H > 800$ м прекращение выбросов не ожидается, следует ожидать умеренную частоту выбросов. Для углей средней стадии метаморфизма прекращение выбросов также не произойдет, следует ожидать повышенную частоту выбросов. Приведенный статистический анализ выбросов в таблице 1 подтверждает основные положения рабочей гипотезы [18]. С учетом изменений, происходящих в надмолекулярной организации углей в ряду метаморфизма, разработаны усовершенствованные способы ведения регионального прогноза выбросоопасности угольных пластов Донбасса, [19, 20].

Выводы.

Статистическим анализом установлено, что наиболее высокая потенциальная выбросоопасность для пластов пологого падения наблюдается при $V^{daf} = 18,0 \div 13,1 \%$, данная закономерность обусловлена совместным влиянием надмолекулярной организации углей и рядом природных факторов.

Статистическим анализом для пологих угольных пластов получено подтверждение основных положений рабочей гипотезы

о проявлении выбросоопасности на больших глубинах $H = 800 \div 1600$ м.

На пологих угольных пластах для углей низкой и средней стадий метаморфизма на глубинах $H = 800 \div 1600$ м прекращения внезапных выбросов угля и газа ожидать не следует.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Забигайло В. Е. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность / Забигайло В. Е. Николлин В. И. — Киев : Наук. думка, 1990, — 168 с.
2. Агафонов А. В. Влияние горно-геологических факторов на проявление выбросоопасности угольных пластов / Агафонов А. В., Балинченко И. И., Тимофеев Э. И. // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сборник науч. Трудов МакНИИ, Макеевка-Донбасс, — 1996, С. 55—61.
3. Волошин Н. Е. Выбросы угля, породы в шахтах Донбасса в 1906÷2006 гг. (Справочник) / Волошин Н. Е., Вайнштейн Л. А., Брюханов А. М., Кущ О. А., Бойко Я. Н., Рубинский А. А., Ризниченко А. И. — Донецк: "Кассиопея", 2007 — 908 с.
4. Исследование и классификация углей. Сборник № 18 ДонУГИ, Углетехиздат, Москва, 1959. — 232 с.
5. Метаморфизм углей эпигенез вмещающих пород. Под ред. Г. А. Иванова. — М. : Недра, 1975, 256 с.
6. Докукин А. В. Основные проблемы горной науки. М., Недра, 1979. — 383 с.
7. Руководство по оценке степени выбросоопасности угольных пластов по динамическим и структурно-химическим характеристикам. – Утв. Госуглепромом Украины 01.11.1993 г. — Макеевка ; Донбасс, 1993, 12 с.
8. Методика прогнозирования прочности углей. ИГД им. Скопинского, М. 1981, 29 с.
9. Алексеев А. Д. Прогнозирование неустойчивости системы уголь-газ / Алексеев А. Д., Стариков Г. П., Чистоклетов В. Н. — Донецк : Изд-во "Ноулидж", (донецкое отделение), 2010. — 343 с.

10. Шашенко А. Н. Масштабный эффект в горных породах / Шашенко А. Н., Сдвижкова Е. А., Кужель С. В. — Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2004. — 132 с.
11. Минеев С. П., Рубинский А. А., Витушко О. В., Радченко А. Г. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах : [монография]. — Донецк: ООО "Східний видавничий дім", 2010. — 603 с.
12. Саранчук В. И. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля / Саранчук В. И., Айруни А. Т., Ковалев К. Е. ; отв. ред. Сапунов В. А. ; АН УССР. Ин-т физ.-орг. химии и углехимии. — Киев : Наук. думка, 1988. — 192 с.
13. Киселев Н. Н. Исследование степени изменчивости свойств угольных пластов и вмещающих пород / Киселев Н. Н., Радченко А. Г. / Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Випуск 6 / Під заг. ред. А. В. Анциферова. — Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2010, с. 266—275.
14. Новикова В. Н. Надмолекулярно-поровая структура и сорбционная способность углей в комплексе геологических факторов прогноза и оценки метаноносности угольных пластов юго-западного Донбасса. Автореферат диссертации на соискание к. г. м. н. Санкт-Петербург. Санкт-Петербургский гос. Горный институт, 2009, — 19 с.
15. Касаточкин В. И. Строение и свойства природных углей / Касаточкин В. И., Ларина Н. К. — М. : Недра, 1975. — 158 с.
16. Хеннинг Дж. Адсорбция с точки зрения теории порядок-беспорядок. Межфазовая граница газ-твердое тело. — М.: Мир. — 1970. — 316 с.
17. Минеев С. П. Активация десорбции метана в угольных пластах / Минеев С. П., Прусова А. А., Корнилов М. Г. — Днепропетровск: "Вебер", (Днепропетровское отделение), 2007. — 252 с.
18. Анциферов А. В. Анализ рабочих гипотез формирования и проявления выбросоопасности углей на глубинах 800-1600 м / Анциферов А. В., Киселев Н. Н., Коптиков В. П., Радченко А. А. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. Випуск 10 / Під заг. ред. А. В. Анциферова. — Донецьк, УкрНДМІ НАН України, 2012, С. 236—249.

19. Патент на корисну модель № 68676 Спосіб визначення категорії викиднебезпечності вугільних пластів низької і середньої стадії метаморфізму вугілля. Номер заявки: U 2011 09993, МПК (2012.01), Е 21F 5/00. Канін В. О., Кисельов М. М., Радченко О. Г., Радченко О. О., Жолоб Н. В. Дата публікації: 10.04.2012, Бюл. № 7.
20. Патент на корисну модель № 75981 Спосіб визначення категорії викиднебезпечності вугільних пластів. Номер заявки: U 2012 04854, МПК (2012.01), Е 21F 5/00. Канін В. О., Кисельов М. М., Коптиков В. П., Радченко О. Г., Радченко О. О. Дата публікації: 25.12.2012, Бюл. № 24.
21. Коптиков В. П. Внезапные обрушения угля: монографія / Коптиков В. П., Южанин И. А., Муравьева В. М., Евдокимова Е. П. — Донецк: Изд-во «Ноулидж» (донецкое отделение), 2013. — 401 с.