

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 "ОНУС 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  $V^{\text{daf}}$ , 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	$V^{daf}$ , %	$C^{daf}$ , %	$H_{\alpha}/C_{\alpha}$	$O_{\alpha}/C_{\alpha}$	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, коксуюемость, 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  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  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., Куц 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. Скочинского, 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.