

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫБРОСООПАСНЫХ УГЛЕЙ

Виконано аналіз та узагальнення досліджень з визначення фізико-механічних властивостей викидонебезпечного вугілля з урахуванням нових реалій, які проявляються зі збільшенням глибини, які можуть стати основою для уточнення ознак газодинамічних явищ, що відбуваються у вугільних шахтах на сучасних глибинах.

PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF OUTBURST-PRONE COALS

An analysis and generalization of researches on determination of physical-mechanical properties of outburst-prone coals which takes into account new realities, having place with an increase depths which can become basis for clarification of signs of gas-dynamic phenomena in coal mines on modern depths is

Разработанные к настоящему времени физические представления о природе и механизме выбросов являются научной основой для создания новых мероприятий по прогнозу и предотвращению газодинамических явлений. Эти физические представления реализовались в ряде новых способов борьбы с ГДЯ и прогноза выбросоопасности и явились результатом обобщения многолетних исследований физико-механических свойств, напряженно-деформированного и газодинамического состояния.

При рассмотрении указанного вопроса необходимо отметить, что свойства выбросоопасных углей изучались многими исследователями, в том числе наиболее серьезно в лабораториях ИГД им. А.А. Сковинского, ВНИМИ, СО РАН, ИПКОН РАН, ИГТМ НАН Украины, ИФГП НАН Украины, МакНИИ, ВостНИИ, многих ВУЗов и других организаций. Вместе с этим, отсутствует полное обобщение свойств выбросоопасного угля с учетом влияния различных воздействий на него. Поэтому в данной статье авторы представили обобщение исследований физико-механических и сорбционных свойств выбросоопасных и газонасыщенных углей.

В ИГТМ НАН Украины [1, 2] был проведен комплекс исследований процесса деформирования различных углей с учетом влияния внешней среды в широком диапазоне нагрузок. Исследование механических характеристик при изгибе проводилось на «балочках» из выбросоопасных углей пластов h_7 и l_1 с размерами $30 \times 30 \times 140$ мм по следующей методике. Нагрузка прикладывалась в центре пролета ступенями до 60-80% разрушающего усилия. Интервал в ступенях повышения или уменьшения нагрузок составлял 5-10 с. Для каждого образца производилось два цикла нагрузки - разгрузки. Полученные результаты приведены в виде графиков «нагрузка - деформация», которые представлены на рис. 1. По результатам исследований вычислялись следующие параметры: коэффициент неупругого сопротивления - γ_0 , модуль упругости -

E , реологические параметры угля - $\alpha, \beta, \chi, \delta$ и комплексный показатель неупругих свойств угля χ/β , которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Характеристики неупругих свойств угля

Место сбора проб и выбросоопасность зоны	$\sigma_{\text{ср.}}$, МПа	E , МПа	γ	α	β	χ	$\delta^{\alpha-1}$	χ/β
Шахта им. А.А. Скочинского, 3-я вост. штрек, центр. панели, гор. 1010 м, выбросоопасный пласт h_7 , зона опасная	0,8061	413	0,305	0,72	0,459	0,033	0,0028	0,0763
Шахта им. А.А. Скочинского, 3-я вост. лава, центральной панели, гор. 1010 м, выбросоопасный пласт h_7 , зона неопасная	0,6684	414	0,578	0,836	1,09	0,357	0,0262	0,322
Шахта "Пролетарская Глубокая" конвейерный штрек, 4-я южной лавы, гор. 794 м, невыбросоопасный пласт I_1	0,7645	172	0,769	0,586	0,665	0,241	0,0158	0,340

Анализ средних значений γ для рассмотренных проб показывает, что коэффициент неупругого сопротивления является наибольшим ($\gamma=0,76$) для угля невыбросоопасного пласта шахты «Пролетарская-Глубокая». В то же время для шахты им. А.А. Скочинского он составляет: в выбросоопасной зоне $\gamma=0,305$, а в невыбросоопасной - $\gamma=0,578$. Эти данные говорят о том, что уменьшение коэффициента неупругого сопротивления угля приводит, кроме прочего, к увеличению его выбросоопасности. Результаты экспериментов также показывают, что прочностные и упругие характеристики исследуемых выбросоопасных и невыбросоопасных угольных пластов Донбасса отличаются своими показателями в несколько раз [1].

При испытании углей на ползучесть образцы подвергались первоначальной нагрузке 60-80% от разрушающей в середине пролета «балочки» и выдерживать ее в таком состоянии 12-15 мин. Полученные результаты приведены в виде графиков ползучести в координатах «прогиб - время» (рис. 2).

Анализ результатов показывает, что ползучесть угля более интенсивно проявляется в первую минуту после нагружения образца, в дальнейшем интенсивность ползучести уменьшается, а для выбросоопасных углей она стабилизируется. Ползучесть угля шахты «Пролетарская-Глубокая» значительно выше, чем шахты им. А.А. Скочинского. Об этом свидетельствует комплексный показатель, который в 4 раза меньше для угля шахты им. А.А. Скочинского. Последнее подтверждает известный вывод о том, что уголь в опасных зонах выбросоопасных пластов имеет значительно меньшую

ползучесть, чем уголь, отобранный для исследований в выбросоопасных зонах. Выполненные исследования позволили сделать вывод о том, что неупругие характеристики выбросоопасных углей существенно ($\gamma, \alpha, \beta, \chi, \chi/\beta$) отличаются от выбросоопасных, причем выбросоопасные угли имеют значительно меньшие показатели неупругих свойств, чем выбросоопасные [1, 2].

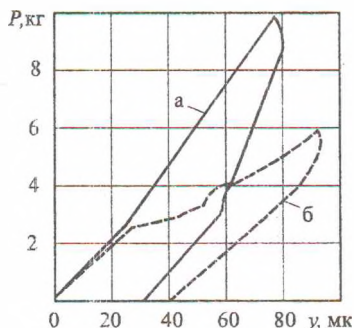


Рис. 1 - Диаграмма деформирования угля при циклической нагрузке: а - выбросоопасный уголь шахты им. А.А. Скочинского; б - невыбросоопасный уголь шахты "Пролетарская-Глубокая"

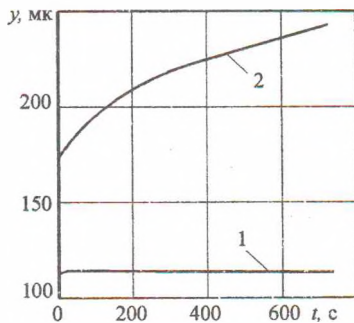


Рис. 2 - Изменение деформаций угля во времени: 1 - выбросоопасный уголь шахты им. А.А. Скочинского; 2 - невыбросоопасный уголь шахты "Пролетарская-Глубокая"

ИГД им. А.А. Скочинского был проведен широкий комплекс исследований по определению прочностных свойств выбросоопасных углей [3], были установлены сводные значения прочностных характеристик углей различной степени нарушенности из выбросоопасных угольных пластов Донбасса. В работах ИГД им. А.А. Скочинского [3- 5] приведены результаты определения угла внутреннего трения для углей различной степени нарушенности. Причем, угол внутреннего трения вычислялся как угол наклона прямой, являющейся касательной к кругам одноосного и объемного ($\sigma_3 = 2$ МПа) сжатия в диаграмме Мора. В результате было установлено, что угол внутреннего трения имеет следующие значения: для V—IV степени нарушенности угля - 26-32, для III - 24-34, для II-I - 32-38 (град).

Результаты определения свойств угля на сдвиг со сжатием приведены на рис. 3 в виде экспериментальных диаграмм разрушения мягкой пачки выбросоопасного пласта I₁ "Мазур" шахты "Юнком".

Упругие и деформационные свойства угля изучались на образцах кубической формы с размерами 80×80×80 мм. Испытания образцов угля проводились в металлической камере, дающей возможность создавать осевую нагрузку на образец при одноосменной плотной подгонке боковых поверхностей образца к внутренним стенкам камеры, что обеспечивало ее герметичность. Полученные результаты напряжений и деформаций для угля IV степени на-

рушенности выбросоопасного угольного пласта l_1 "Мазур" (шахта "Юнком") приведены на рис. 4. На этом рисунке представлены два графика. Первый - для угольного образца, не насыщавшегося метаном. Второй - для того же угольного образца, но подвергнутого насыщению метаном в течение 3 суток под давлением 3 МПа, причем непосредственно перед опытом давление метана было снижено с 3 до 0,4 МПа.

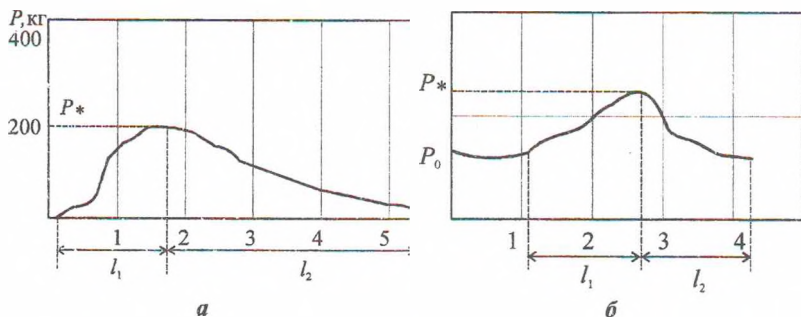


Рис. 3 - Диаграммы разрушения: а - без насыщения угля метаном; б — при насыщении угля метаном; P_* - разрушающая нагрузка; P_0 - сопротивление движению штока в герметичной камере; l_1 - допредельная деформация; l_2 - запредельная деформация

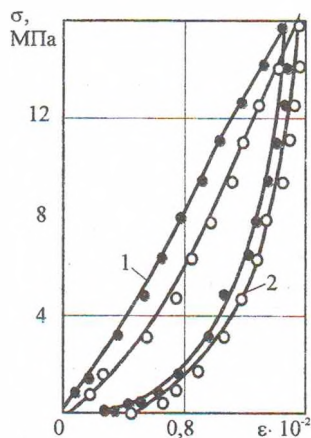


Рис. 4 - Зависимость между напряжением и относительной деформацией: 1 - уголь без насыщения; 2- уголь при насыщении его метаном

Учитывая, что характерной особенностью разрушения угля при внезапном

выбросе является высокая степень его дробления с образованием мелких фракций, то показатель энергоемкости дробления угля также есть важная характеристика угля в зоне реализации газодинамического явления. В ИГД им. А.А. Сковороды были проведены исследования по оценке энергоемкости разрушения выбросоопасных углей при дроблении. Отобранные из нескольких выбросоопасных пластов сухие и увлажненные образцы угля были подвергнуты дроблению падающим грузом с помощью прибора М.М. Протодяконова. Результаты зависимостей работы дробления от величины вновь образованной поверхности для проб угля весом 60 г были приведены в работе [3]. Принимая во внимание, что при выбросе происходит дробление угля с образованием удельной поверхности разрушенного угля более 40 см²/г было определено, что энергоемкость разрушения до степени диспергирования, имеющей место при выбросе, составила 50, 95 и 190 кг·м/кг для углей пластов l_1 "Мазур", k_7 "Юльевский" и h_{10} "Бабаковский" соответственно [3]. При этом, чем меньше размер вновь образуемых частиц угля, тем больше силы сцепления и значительно большую работу необходимо затрачивать на создание такой же удельной поверхности. По мнению авторов работы [3] общая энергия дробления угольного вещества является конечной величиной, определяемой его гранулометрическим составом, причем, по их мнению, предел энергии дробления, например для пласта "Мазур" приблизительно равен $E_s = 3$ кДж/кг.

Достаточно интересные результаты по физико-механическим свойствам выбросоопасных углей были представлены МакНИИ и ДонНТУ на основании данных, проведенных экспериментов и обобщения, имеющейся информации [6-8]. Рассмотрим некоторые из этих данных.

Существенное влияние на свойства угля оказывает также и степень метаморфизма угольных пластов. Зависимость некоторых физико-механических свойств угля от степени его метаморфизма приведена на рис. 5. Прочностные свойства определялись по результатам исследований, выполненных в МакНИИ для Донецких угольных пластов [6] и ВостНИИ - для углей Кемеровского и Прокопьевского месторождения [7], для невыбросоопасных и выбросоопасных углей.

Учитывая, что достаточно простым и надежным методом определения динамических свойств угля является акустический [9, 10], в ИГТМ НАН Украины и МакНИИ были выполнены исследования скорости распространения продольных и поперечных упругих волн в угле на ультразвуковой установке УК-ЮП. Результаты определения динамических свойств угля приведены в таблице 2 [2].

Для разграничения выбросоопасных и неопасных значений модуля сдвига и модуля упругости угля приняты верхние доверительные границы деформационных характеристик невыбросоопасных пластов. Выбросоопасные значения модулей упругости и сдвига располагаются выше верхних доверительных границ невыбросоопасных угольных пластов, а неопасные - ниже (рис. 6).

Из представленных на рис. 7 зависимостей видно, что при увеличении

влажности динамические модули упругости и сдвига уменьшаются, что свидетельствует об увеличении пластичности угля и снижении способности его к накоплению энергии упругого деформирования.

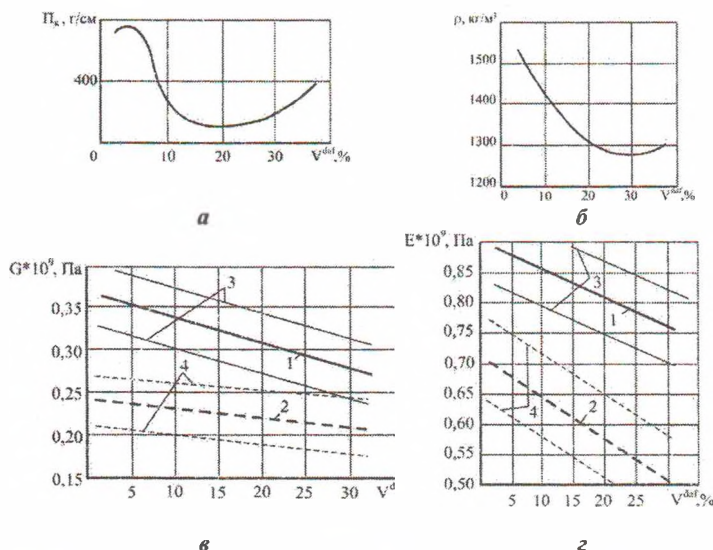


Рис. 5 - Зависимость физико-механических параметров угля от степени его метаморфизма (V^{def}): а - механическая прочность по копру (Π_k); б - плотность (ρ); в - динамического модуля сдвига (G); г - динамического модуля упругости (E); 1 - выбороопасный пласт (неоласная зона); 2 - невыбороопасный пласт; 3 - доверительные границы выбороопасного пласта; 4 - доверительные границы невыбороопасного пласта

Таблица 2 - Динамические свойства угля

Место отбора проб угля	Скорость, 10^3 м/с			Модуль, МПа		Коэффициент Пуассона
	продольной волны	поверхностной волны	поперечной волны	упругости	сдвига	
Пласт m2 «Тонкий» -запад, гор. 865 м, откаточный штрек, шах. «Красный Профинтерн» ПО «Орджоникидзеуголь»	1,59	0,79	0,97	316,4	131,5	0,21
Пласт m ³ ₄ «Николаевский» - восток, гор. 755 м, вент. штрек, шах. «Красный Профинтерн» ПО «Орджоникидзеуголь»	2,26	1,25	1,38	910,0	365,8	0,28

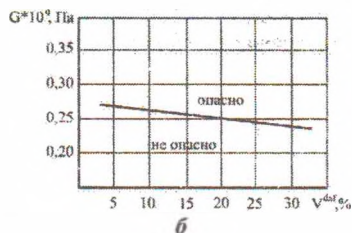
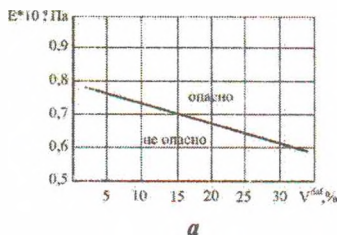


Рис. 6 - Зависимость степени выбросоопасности угольного пласта по значениям: а - динамического модуля упругости (E); б - модуля сдвига (G)

Авторы монографии [7] привели данные по влиянию влажности выбросоопасного угля на его деформационные свойства. Зависимости влияния влажности (W) образцов угля на его модуль упругости (E) и модуль сдвига (G) приведены на рис. 7.

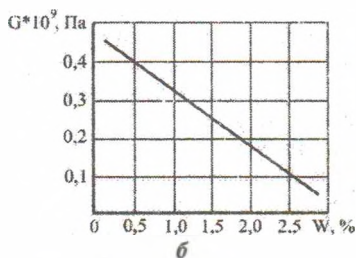
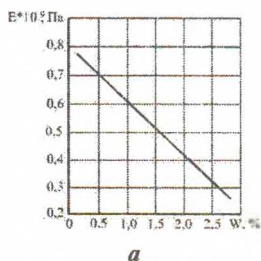


Рис. 7 - Зависимости влияния влажности (W) на модуль упругости (E) и модуль сдвига (G)

Изучение деформирования газонасыщенных углей были проведены в ИГТМ НАН Украины в лабораторных условиях на специальном стенде — камере по газонасыщению образцов. Камера представляла собой герметичный толстостенный цилиндр с поршнем, посредством которого усилие передается на образец. Газ в камеру вводится через специальные вводы под давлением до 10 МПа. Камера была оборудована соответствующими манометрами, а внутри камеры установлены датчики для регистрации нагрузок на образец и деформаций в процессе нагружения [1, 2]. Эксперименты по газонасыщению проводились с углекислым газом (CO_2).

Исследования проводились на образцах угля, отобранных из выбросоопасного угольного пласта h_{10} в поле шахты им. газеты «Социалистический Донбасс». Из угля пласта h_{10} был изготовлен образец цилиндрической формы размером $60 \times 60 \times 80$ мм, плотно и полностью заполняющий объем рабочей камеры стенда, газонасыщение происходило под давлением 16-19 атм, которое фиксировалось манометром. По результатам эксперимента была построе-

на зависимость насыщения угля газом в координатах «а— t». При этом образцы объемом $V = 2550 \text{ см}^3$ поглощали около 50 см^3 газа. Полученная зависимость газонасыщения угольного образца во времени представлена на рис. 8.

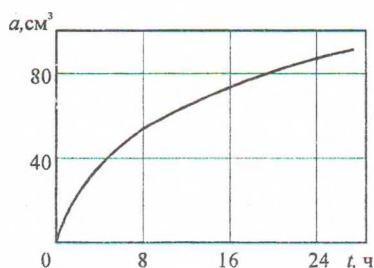


Рис. 8 - Зависимость газонасыщения угольного образца во времени: а - количество поглощенного углем газа; t - время насыщения до окончания подачи газа в камеру

Анализ представленного графика на рис. 8 показывает, что интенсивность газонасыщения угля изменяется в первые сутки в пределах 1-2% в час. Причем более интенсивное газонасыщение происходит в начальный период времени: за первые 30 мин образец впитал 14% газа, а за 4-5 ч - 50% от максимального значения.

Следующим этапом является рассмотрение сорбционных свойств угля [2]. МакНИИ с привлечением соисполнителей был проведен достаточно большой объем определений сорбционных свойств углей с учетом степени их метаморфизма, зольности, влажности, температуры и других параметров [11, 12]. Наиболее характерные изотермы сорбции приведены на рис. 9 [2].

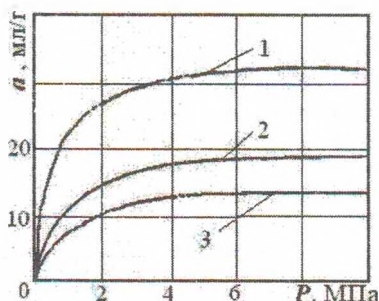


Рис. 9 - Изотермы сорбции метана углями различных стадий метаморфизма при давлениях до 10 МПа: 1 - пласт h_8 шахты № 17-17 бис ($V'=4\%$), 2 - пласт k_3 шахты «Красный Профинтерн» ($V'=15,5\%$), 3 - пласт m_3 шахты «Чайкино-Глубокая» ($V'=30,5\%$) [2]

На основании полученных данных и результатов других исследований МакНИИ был составлен «Каталог коллекторских свойств каменных углей ...»

[13], в который включены данные по 778 шахтопластам 228 шахт Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов - в основном, пластов, опасных по газу и внезапным выбросам. Ниже в таблице 3 приведены основные данные свойств угля, приведенные в «Каталоге ...» и определяемые по описанным методикам для углей шахт ПО «Красноармейскуголь» [2].

Рассмотренный выше методический подход был разработан на базе ТОЗМ. Однако использование этой теории адсорбции не позволяет достаточно корректно оценивать сорбционное состояние угольного массива, в частности учитывать структуру угля, взаимодействие молекул метана с углем, его структурными и геометрическими параметрами.

В последнее время разработан ряд более современных воззрений на сорбционно-десорбционные процессы, происходящие в угольном массиве [2, 14-16], т.е. методология оценки должна базироваться, как минимум, на знании общих классических теорий адсорбции (Ленгмюра, БЭТ, Поляни, ТОЗМ, стехиометрической и осмотической), а также с учетом таких наиболее серьезных исследований, как: парамагнитные центры (НПИ, НГУ, ИГТМ и др.), квантово-статистический подход (ИГТМ, ИПКОН, НГУ), твердотельная диффузия (ИФГП, ИПКОН, ИГД им. А.А. Скочинского, ИГТМ), механоактивация (НГУ) и другие [15].

Подтверждением необходимости учета характера разрушенного до минимальных размеров угля являются результаты, полученные в ИПКОН РАН, которые показывают, что размеры неразрушенных фрагментов угля для пластов опасных и неопасных по выбросам отличаются примерно в 7-10 раз [17]. Так, по данным работ [2, 17], например для пласта K^B , размер ненарушенных частиц угля для неопасных пластов составляет $31,1 \cdot 10^{-6}$ м, а выбросоопасных улей – $3,7 \cdot 10^{-6}$ м. Поэтому в дальнейшем для более полной картины свойств угля необходимо проведение дополнительных лабораторных экспериментов по оценке интенсивности перераспределения инертинита в продуктах разрушения углей, анализу характера распределения угольных частиц по крупности и оценке их формы с помощью специальных показателей. Методики для проведения таких исследований имеются в ИГТМ НАНУ [2, 18].

Таким образом, физико-механические и сорбционные свойства выбросоопасного угля могут быть использованы при уточнении признаков газодинамических явлений с учетом появившихся с изменением глубины разработки новых реалтий, без которых невозможно не только произвести качественное классифицирование произошедших аварий в шахтах, но и предложить надежные рекомендации по безопасному ведению горных работ в сложных условиях.

Таблица 3 - Коллекторские свойства углей некоторых шахт системы «Красноармейскуголь»

Наименование шахты, шахтоуправления (по каталогу)	Наименование пласта	Глубина изучения, м	Выбросоопасность пласта	Выход летучих, V^{daf} , %	Пластовая влажность угля, %	Пластовая зола угля, %	Температура угля, t_p , °C	Действ. плотность угля, $\rho_{\text{у}} \text{ г/см}^3 \text{ с б.м.}$	Общий объем пор					Сорбционная метаноспособность a , $\text{см}^3/\text{г б.м.}$, при давлении P , МПа				
									$\text{см}^3/\text{г б.м.}$	%								
"Родинская"	I_8	327	не-опасн.	36	5,4	19	19,6	1,32	0,060	7,4	1,5	5,4	8,2	11,5	13,8	17,4		
"Краснолиманская"	I_7	550	не-опасн.	35	4,6	26	26,1	1,32	0,067	8,1	2,2	6,9	9,7	13,1	15,1	17,5		
	I_3	525	прогноз	35	4,1	32	25,4	1,32	0,056	6,4	2,1	6,0	8,9	12,2	14,7			
	k_5	545	не-опасн.	36	2,2	-	25,9	1,32	0,060	7,4	1,3	9,9	7,6	10,6	12,5	15,4		
им. Стаханова	I_7	1015	неоп. с прогноз	33	3,2	4	39,7	1,32	0,069	8,3	2,1	5,1	9,6	13,5	16,0			
	I_3	966	не-опасн.	36	1,4	10	38,2	1,29	0,038	4,7	1,4	5,0	5,8	8,0	9,3	11,0		
	I_1	103	не-	34	1,7	5	40,1	1,2	0,047	5,1	1,5	7,9	10,12	14,1				

Наименование шахты, шахтоуправления (по каталогу)	Наименование пласта	Глубина изучения, м	Выбросоопасность пласта	Выход летучих, V^{daf} , %	Пластовая влажность угля, %	Пластовая зола угля %	Температура угля, $t_{\text{пл}}$, °C	Действ. плотность угля, $\rho_{\text{пл}}$, г/см ³ с б.м.	Общий объем пор			Сорбционная метанемкость a , см ³ /г б.м., при давлении P , МПа				
									см ³ /г б.м.	%	пор	0,1	0,5	1,0	2,0	3,0
"Центральная"	K^3	0 827	опасн. неоп. с прогно- гноз	39	1,8	-	0 34,2	9 1,3 0	8 7,1 4	6 4,4 3	3 3	4 6,6 8,9	3 10,3 3		12,7	
	I_7	811	неоп. с прогно- гноз	37	2,8	30	33,7	1,3 2	1,9 3	6 3		9,5 2	13,2 3	15,3	16,8	
	I_3	802	не- опасн	37	2,4	15	33,4	1,3 1	1,4 0	4 2		6,3	8,9	10,3	11,8	
	I_1	765	не- опасн	36	4,0	21	32,4	1,3 2	7,2 4	2,5 4		7,9	10,7	12,4	14,8	
им. Дмитрова	I_7	830	неоп. с прогно- гноз	34	5,0	6	34,3	1,3 2	2,7 5	2,7 5		10,8 8	142	16,4	19,0	
	I_1	815	не- опасн	37	2,8	12	33,8	1,3 2	1,4 1 0	4,4 4		6,9	9,6	11,0	12,8	
	K^3	680	не- опасн	42	2,5	13	29,9	1,3 1	1,4 3 4	4,4 3		6,8	9,2	10,6	12,2	

Наименование шахты, шахтоуправления (по каталогу)	Наименование пласта	Глубина изучения, м	Выбросоопасность пласта	Выход летучих, V^{daf} , %	Пластовая влажность угля, %	Пластовая зола угля %	Температура угля, $t_{\text{п}}$, °C	Действ. плотность угля $\rho_{\text{см}^3 \text{ с б.м.}}$	Общий объем пор		Сорбционная метаноскость a , $\text{см}^3/\text{г б.м.}$, при давлении P , МПа							
									$\text{см}^3/\text{г б.м.}$	%								
им. Шевченко	f_1	343	не-опасн	35	2,2	12	20, 0	1,2 9	0,047	5, 7	1, 9	5, 5	8,0	10, 8	12, 3	14,0		

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Механика и физика динамических явлений в шахтах / А.Н. Зорин, В.Г. Колесников, К.К. Софийский, А.Ф. Палырин, А.А. Прусова. – Киев: Наукова думка, 1979. – 168с.
2. Минеев С.П. Свойства газонасыщенного угля.- Днепропетровск: НГУ, 2008. –220 с.
3. Иванов Б.М., Фейт Г.Н., Яновская М.Ф. Механические и физико-химические свойства углей выбросоопасных пластов.- М.: Наука, 1975.- 150 с.
4. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа.- М.: Госгортехиздат, 1961.- 363 с.
5. Фейт Г.Н. Геомеханические основы прогноза и снижения выбросоопасности угольных пластов на больших глубинах. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. ... д-ра техн. наук.- М: ИГД им. А.А. Скочинского, 1994.- 54 с.
6. Большинский М.И. Теория внезапных выбросов угля, породы и газа. Донецк: ДонТУ, 1993.- 139 с.
7. Большинский М.И., Лысков Б.А., Каплюхин А.А. Газодинамические явления в шахтах. – Севастополь, 2003.- 283 с.
8. Николин В.И., Александров С.Н. Теория выбросов и прогнозирование выбросоопасности. –Киев: УМК ВУ, 1989.- 116 с.
9. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в угольных шахтах.-Киев: Наукова думка, 1978.- 223 с.
10. Ржевский В.Я., Ямщиков В.С. Акустические методы исследования и контроля горных пород в массиве.- М.: Наука, 1973.- 223 с.
11. Эттингер И.Л. Газосность ископаемых углей. - М.: Недра, 1966.- 223 с.
12. Методические указания по определению содержания сорбированного и свободного метана в ископаемых углях.- Макеевка: Донбасс, 1977.-72 с.
13. Каталог коллекторских свойств каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов. - Макеевка: МакНИИ, 1985.- 48 с.
14. Бобин В.А. Сорбционные процессы в природном угле и его структура.- М.: ИПКОН АН СССР, 1987.- 135 с.
15. Минеев С.П., Прусова А.А., Корнилов М.Г. Активация десорбции метана в угольных пластах.- Днепропетровск, Вебер, 2007.- 252 с.
16. Алексеев А.Д., Васильковский В.А., Калутин Н.А. Фазовые состояния и кинетика десорбции метана из угля// Геотехнічна механіка: Між від. 36. Наук. праць/ Ін-т Геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.- Дніпропетровськ, 2006.- Вип.67. - С. 32-38.
17. Ковалева И.Б., Соловьева Е.А. О возможности использования физико-механических характеристик угля для оценки способности угольных пластов к метаноотдаче // Seminar1. chai.ru - М: ИПКОН РАН, 2001. - 6 с.
18. Поляшов А.С., Полозоголо Н.И., Барановский В.И. Об оценке потенциальной выбросоопасности углей по их нарушенности // Уголь Украины, 1989.- №11.- С. 18-19.