ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(11):133-146
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.83 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_11_0_133

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ДЕГАЗАЦИИ ДОБЫЧНЫХ УЧАСТКОВ, ОТРАБАТЫВАЮЩИХ ВЫСОКОГАЗОНОСНЫЕ И ВЫБРОСООПАСНЫЕ УГОЛЬНЫЕ ПЛАСТЫ В КАРАГАНДИНСКОМ БАССЕЙНЕ

Р.Т. Шаяхметов[1], Р.К. Атыгаев[1], Е.Н. Филимонов[1], А.А. Стельмахов[2]

[1] Управление «Спецшахтомонтаждегазация» УД АО «АрселорМиттал Темиртау», Караганда, Казахстан
[2] НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: 1predsedatel@mail.ru

Аннотация: Интенсификация отработки запасов угля и усложнение горно-геологических условий, сопровождающееся сокращением количества очистных забоев, приводит к необходимости повышения надежности функционирования добычных участков. Одним из основных условий обеспечения этого является корректный прогноз величины метанообильности очистного забоя. В настоящее время этому вопросу посвящен широкий круг исследований, однако действующими нормативами до сих пор применяются зависимости, установленные более 40 лет назад на основе статистического подхода и не учитывающие характера взаимодействий в системе «уголь-метан-вода». Задача работы — уточнить область применения действующих способов прогноза метанообильности, выделить основные проблемы и разработать предложения по совершенствованию способов обеспечения аэрологической безопасности. Приведены результаты исследований метанообильности добычного участка западного крыла шахты Казахстанская, отрабатывавшего особо выбросоопасный пласт. Показано, что разница между расчетной и фактической метанообильностью превышает 100%, что во многом связано со слоевой технологией отработки запасов и заниженными значениями природной газоносности угольных пластов. Кроме этого, важную роль при оценке эффективности дегазации выработанного пространства имеет учет дегазационной подготовки разрабатываемого пласта.

Ключевые слова: газообильность, нагрузка, газовыделение, дегазация, эффективность, разрабатываемый пласт, выработанное пространство, внезапные выбросы, прогноз.

Для цитирования: *Шаяхметов Р. Т., Атыгаев Р. К., Филимонов Е. Н., Стельмахов А. А.* Особенности расчета параметров дегазации добычных участков, отрабатывающих высокогазоносные и выбросоопасные угольные пласты в Карагандинском бассейне // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 11. – С. 133–146. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_11_0_133.

Gas drainage design for extraction areas in highly gassy and outburst-hazardous coal seams in Karaganda Basin

R.T. Shayakhmetov[1], R.K. Atygaev[1], E.N. Filimonov[1], A.A. Stelmakhov[2]

[1] Department of «Specshahtomontazhdegazation» of JSC «ArcelorMittal Temirtau», Karaganda, Kazakhstan
[2] National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: 1predsedatel@mail.ru

© Р.Т. Шаяхметов, Р.К. Атыгаев, Е.Н. Филимонов, А.А. Стельмахов. 2022.

Abstract: Intensification of coal mining and complication of geological conditions of mining alongside with the reducing number of production faces necessitates enhancement of safety performance in extraction areas. One of the main conditions in this regard is the correct prediction of methane content in the production face area. This issue has been a subject of many recent researches but the effective standards yet use relations set over 40 years ago on the basis of the statistic approach neglecting the coal–methane–water system behavior. This study aims to adjust application ranges of the actual methods of methane content prediction, to identify major problems and to develop improvement activities toward the mine air safety. The article describes the methane content research in the extraction panel in the east wing of Kazakhstanskaya Mine, which is the super outburst-hazardous coal seam. It is shown that the difference of the calculated and actual methane contents exceeds 100%, which is connected in many ways with the slicing technology of mining and with the understated estimates of natural gas content of the test coal seam. For another thing, efficiency of gas drainage in a mined-out area greatly depends on pre-drainage treatment of coal seams.

Key words: gas content, load, gas emission, gas drainage, efficiency, operating coal seam, mined-out areas, outbursts, prediction.

For citation: Shayakhmetov R. T., Atygaev R. K., Filimonov E. N., Stelmakhov A. A. Gas drainage design for extraction areas in highly gassy and outburst-hazardous coal seams in Karaganda Basin. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(11):133-146. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_11_0_133.

Введение

Реструктуризация угольной отрасли и ее переход в частную собственность не только обеспечили рост производительности и сокращение количества шахт, но и привели к необходимости изменения системы управления промышленной безопасностью во всех вопросах, начиная от распределения функций в области контроля и заканчивая разработкой нормативной документации по вопросам промышленной безопасности. Связано это с тем, что в нашей стране система обеспечения безопасности, традиционно имевшая государственное значение, основывается на нормативных требованиях, которые, как правило, очень подробные и детализированные практически по всем вопросам. В отличие от западноевропейского или австралийского подхода, где ответственность за промышленную безопасность лежит в первую очередь на эксплуатирующей компании и государственные органы власти не участвуют в разработке конкретных мероприятий и требований. Такой подход, являясь более гибким, позволяет корректировать меры в зависимости от ситуации. Переход на риск-ориентированный подход к контрольно-надзорной деятельности направлен на решение данной проблемы и в настоящее время получил широкое развитие [1 — 3]. Однако в этом случае кардинально повышаются требования к точности прогноза горно-геологической и иной информации, значение которой усиливается также из-за кардинального сокращения действующих очистных забоев, оснащенных высокопроизводительной техникой. Следует отметить и климатическую составляющую угольного метана, который относится к одним из основных парниковых газов [4].

Суть проблемы

Для эффективной и безопасной отработки запасов угля необходим корректный прогноз метанообильности добычных участков по всем источникам газовыделения. До последнего времени он осуществлялся на основе рекомендаций, изложенных в нормативной документации, базировавшейся на положениях «Руководства по проектированию вентиляции угольных шахт» [22], которые достоверны для нагрузок до 3 — 4 тыс. т/сут. С ростом нагрузок данный подход имеет значительную погрешность, что влияет на эффективность решений по управлению газовыделением [5]. В последние годы направление прогноза метанообильности на основе учета не только законов газовой динамики, но и сорбционно-кинетических характеристик угля, получило значительное развитие [6 — 9], учитывается влияние на газовыделение напряженно-деформированного состояния углепородного массива [10 — 12]. Растет интерес к влиянию микроструктуры угля на физико-механические свойства и выбросоопасность угольных пластов [13 — 15]. Однако в практике угледобычи данные результаты еще не используются во многом из-за сложности реализации данных подходов на практике, а также недостаточного качества и перечня горно-геологической информации.

В последние годы в вопросе управления газовыделением все большее значение приобретает дегазация угольных пластов и углепородных массивов. Связано это с тем, что с ростом нагрузок на очистные забои практически исчерпываются возможности вентиляции [16]. Следует отметить, что при принятии решений по управлению газовыделением до сих пор используются зависимости, установленные более 40 лет назад при более низких нагрузках. Основными способами дегазации являются текущие, обеспечивающие высокую эффективность дегазации выработанного пространства. Однако в Карагандинском бассейне большое внимание уделяется и способам дегазации разрабатываемых угольных пластов [17].

Одним из наиболее распространенных нарушений при принятии решений о способах управления газовыделением является отсутствие учета эффективности дегазации разрабатываемого пласта и анализа его газоносности по результатам ведения горных работ, что является одной из важнейших составляющих при оценке рисков [18, 19].

Необходимо уточнить возможную область применения действующих способов прогноза метановыделения, а также разработать предложения по их совершенствованию.

Кроме этого, важнейшей составляющей решения данной проблемы является совершенствование системы аэрогазового контроля, которая должна обеспечивать возможность оценки газового баланса добычного участка [20] и является одним из основных элементов многофункциональных систем безопасности [21].

Результаты шахтных наблюдений

На рис. 1 — 4 (см. Приложение, с. 145, 146) представлена фактическая и ожидаемая метанообильность добычного участка 312Д$_6$-1з (ш. «Казахстанская»), выработанного и призабойного пространства. Ожидаемая метанообильность определена по фактической добыче: $J_{ож.} = 1440^{-1}\, q_{пр.} \cdot A_{ф}$.

Средневзвешенные значения абсолютной метанообильности добычного участка $J_{уч.ф}$, призабойного пространства $J_{пп.ф}$ и среднесуточной добычи A представлены в табл. 1, 2.

Участком ВТБ шахты «Казахстанская» был выполнен расчет абсолютной газообильности лавы 312Д$_6$-1з. Согласно расчету на 1 этапе при прямоточной

Таблица 1

Результаты расчета средневзвешенной метанообильности добычного участка $J_{уч.ф}$ 312Д$_6$-1з и его призабойного пространства $J_{пп.ф}$
The results of the calculation of weighted average methane abundance of mining area of the stream $J_{uch.f}$ 312D$_6$-1z and its bottomhole space $J_{pp.f}$

Границы интервала, м³/мин	Середина интервала *A*, м³/мин	Количество измерений в интервале	Частота *B*, доли ед.	*A* * *B*
51,2 – 73,9	62,55	14	0,151	9,42
73,9 – 96,6	85,25	16	0,172	14,67
96,6 – 119,3	107,95	27	0,290	31,34
119,3 – 142	130,65	26	0,280	36,53
142 – 164,7	153,35	10	0,108	16,49
$J_{уч.ф}$		**93**	**1,000**	**108,44**
2,24 – 10,16	6,2	17	0,183	1,13
10,16 – 18,08	14,12	7	0,075	1,06
18,08 – 26,00	22,04	11	0,118	2,61
26,00 – 33,92	29,96	37	0,398	11,92
33,92 – 41,82	37,88	21	0,226	8,55
$J_{пп.ф}$		**93**	**1,000**	**25,28**

схеме проветривания газообильность участка составит $J_{уч}$ = 69,13 м³/мин. На 2 этапе при возвратноточной схеме $J_{уч}$ = 69,38м³/мин. Расчет выполнен по природной газоносности $X_{пр}$ = 15,21 м³/т и суточной добычей 5000 т. Классификатор пополнялся 22.09.2011 (акт № 297) и 07.08.2012 (акт № 305). Лава 312-Д$_6$-1з расположена на западном крыле панели № 2 (см. рис. 5, Приложение, с. 146). Отрабатывается по простиранию пласта, на глубине 449–527 м. Длина лавы в начале отработки — 215 м, через 120 м подвигания — 240 м, длина выемочного участка — 964 м. Средняя мощность пласта 5,40 м. Вынимаемая мощность верхнего слоя — 2,7 м.

Пласт Д$_6$ опасный по газу и пыли, склонный к самовозгоранию, особо выбросоопасный с глубины 350 м (абс. отм. +126 м). Отработка пласта Д$_6$ началось в июне 2013 г.

Таблица 2

Результаты расчета средневзвешенной суточной добычи лавы А 312Д$_6$-1з
Results of calculation of weighted average daily production of lava (A) 312D$_6$-1z

Границы интервала, т/сут	Середина интервала *A*, т/сут	Количество измерений в интервале	Частота *B*, доли ед.	*A* * *B*
2000 – 2464	2232	3	0,036	81
2464 – 2928	2696	5	0,060	162
2928 – 3392	3160	11	0,133	419
3392 – 3856	3624	54	0,651	2358
3856 – 4320	4088	10	0,120	493
A		**83**	**1,000**	**3512**

Как видно из рис. 1 — 4 фактическая абсолютная газообильность участка, выработанного и призабойного пространства гораздо выше прогнозной, ввиду заниженных значений относительной метанообильности и природной газоносности, принятых к расчету. Для того чтобы оценить истинную природную газоносность пласта $Д_6$ воспользуемся формулой, рекомендуемой «Методическими рекомендациями по проектированию вентиляции угольных шахт АО «АрселлорМитталл Темиртау» [23]:

$$l_{уч.ож} = l_{уч.ф} (l_{оч.р}/l_{оч.а})^{0,4} (A_р/A_а)^{0,6} K_{г.р}, \quad (1)$$

где $l_{оч.р}$ — длина очистной выработки, для которой рассчитывается ожидаемое метановыделение, м; $l_{оч.а}$ — длина очистной выработки, для которой определено фактическое метановыделение (лавы-аналога), м. В нашем случае $l_{оч.р} = l_{оч.а}$, а их отношение равно 1.

Таблица 3

Объем извлеченного метана пластовыми скважинами на момент пуска лавы 312Д$_6$-1з в эксплуатацию
Volume of methane extracted by reservoir wells at the time of launch of lava 312D$_6$-1z into operation

Зона	Номер блока пластовых скважин	Срок дегазации, сут.	Объем извлеченного метана, м^3
Нисходящие пластовые скважины			
ГРП-24,37,31	1	300	252 390
	2	300	74 540
ГРП-24	3	320	90 870
	4	330	241 680
	5(50%)	350	202 410
ГРП-23	5(50%)	350	202 410
	6	360	186 700
	7	360	332 620
Вне зоны ГРП	8,9		0
Восходящие пластовые скважины			
ГРП-24,37,31	1	180	320 540
ГРП-24	2	180	151 870
	3	180	183 150
	4	180	99 540
ГРП-23	5	180	65 710
	6	180	87 530
	7	180	92 190
	8	180	207 770
Вне зоны ГРП	9	180	154 590
	10	195	30 000
	11	210	179 600
Всего:			3 156 110

Таблица 4

Объем извлеченного метана из скважин ГРП до начала отработки лавы 312Д$_6$-1з
Volume of extracted methane from hydraulic fracturing wells before start of lava mining 312D$_6$-1z

Номера скважин	Продолжительность дегазации *T*, мес.	Объем извлеченного метана, м^3	Объем метана, принятого к учету	
			%	м^3
ГРП-23	148	933 000	100	940 000
ГРП-24	148	1 276 000	70	893 200
ГРП-25	141	1 195 000	10	119 500
ГРП-31	124	610 000	10	60 900
ГРП-37	101	810 000	15	121 500
Всего:				2 135 100
Объем метана, принятого к учету, взят пропорционально площади обработки, которая входит в отработанный столб.				

$A_р$ — средневзвешенная суточная добыча угля, $A_р$ = 3512 т/сут; $A_а$ — проектная добыча угля, $A_а$ = 5000 т/сут; $J_{уч.ф}$ — проектная метанообильность добычного участка, $J_{уч.ф}$ = 69,93 м^3/мин; $J_{уч.ож}$ — фактическая метанообильность добычного участка, $J_{уч.ож}$ = 108,44 м^3/мин; $K_{г.р}$ — коэффициент, учитывающий изменение метанообильности выработок с глубиной:

$$K_{г.р} = (X_п - X_{о.г})/(X_г - X_{о.г}), \quad (2)$$

где $X_п$ — искомая природная метаноносность пласта, м^3/т с.б.м. (сухая беззольная масса); $X_{о.г}$ — остаточная метаноносность угля, $X_{о.г}$ = 5,0 м^3/т с.б.м.; $X_г$ — природная метаноносность пласта по классификатору, $X_г = 15{,}21 \cdot 0{,}68^{-1} = 22{,}37$ м^3/т с.б.м.

Используя формулы (1) и (2) определим природную газоносность пласта, которая составила X = 38,5 м^3/т с.б.м. или 26,2 м^3/т. Однако это не природная метаноносность пласта Д$_6$, а остаточная после заблаговременной и предварительной дегазации.

В табл. 3 и 4, представлен итоговый съем газа метана пластовыми скважинами предварительной дегазации и скважинами гидрорасчленения, зона влияния которых входит в рассматриваемый участок выемочного столба, представленный на рис. 5. Суммарный объем извлеченного метана, двумя видами дегазации пласта Д$_6$ составляет 5 291 210 м^3. Дегазируемые запасы 999 760 т. Средний съем метана ΔX = 5,3 м^3/т.

Следовательно, средняя искомая природная газоносность пласта Д$_6$ в пределах рассматриваемого участка выемочного столба будет:

$$X_{пр} = 26{,}2 + 5{,}3 = 31{,}5 \text{ м}^3/\text{т}.$$

С учетом последовательно протекающих процессов заблаговременной, предварительной и естественной дегазации метановыделение из разрабатываемого пласта составит:

- в зоне природной проницаемости пласта

$$q^1_{пл} = (1 - K_{д.пл})(X - X^1); \quad (3)$$

- в зоне, разгруженной от горного давления,

$$q^{11}_{пл} = (1 - K_{д.е.})(X^1 - X_в), \quad (4)$$

где $K_{д.пл}$ — суммарный коэффициент заблаговременной и предварительной пластовой дегазации, $K_{д.пл}$ = 5,3/31,5 = 0,168; X — природная газоносность пласта Д$_6$, X = 31,5 м^3/т; X^1 — газоносность пласта Д$_6$ после заблаговременной и пред-

Таблица 5

Газоносность пласта $Д_6$ в зоне выемки угля комбайном
Gas content of the D_6 formation in the coal dredging zone by a combine harvester

Лава	Дата	Отход лавы от МК, м	№ секции	Глубина шпура, м	№ пробы	Газоносность	
						м³/т с.б.м.	м³/т
312$Д_6$-1з	27.11.2013	500	106	1,0	1	8,2	6,5
					2	8,3	7,5

варительной пластовой дегазации, X^1 = = 26,2 м³/т; $K_{д.е}$ — коэффициент естественной дегазации краевой части пласта очистного забоя; $X_в$ — газоносность пласта $Д_6$ в зоне естественной дегазации, м³/т; $q^{11}_{пл}$ — метанообильность призабойного пространства после искусственной и естественной дегазации, м³/т.

$$q^{11}_{пл} = 1440 \times J_{пп.ф} \times A_ф^{-1} =$$
$$= 1440 \times 25{,}28/3512 = 10{,}35 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Значение $X_в$ устанавливалось экспериментально (см. табл. 5).

Значения газоносности пласта $Д_6$ в зоне выемки хорошо согласуются с аналогичными данными, полученными при отборе проб угля из контрольных шпуров, пробуренных в грудь забоя лавы 312$Д_6$-1з.

Подставив в формулу (4) известные значения показателей получим:

$$10{,}35 = (1 - K_{д.е})(26{,}2 - 7{,}0),$$
$$K_{д.е} = 0{,}46.$$

Совместное воздействие естественной, заблаговременной и предварительной пластовой дегазации позволило довести коэффициент дегазации до 0,55.

Относительная метанообильность выработанного пространства $q_{вп}$, выемочного участка 312$Д_6$-1з с метаноносностью рабочего пласта $Д_6$ 31,5 м³/т, определено по формуле:

$$q_{вп} = q_{сп} + q_п + q_{вп2}, \qquad (5)$$

где $q_{сп}$ — относительное метановыделение из сближенных пластов, м³/т; $q_п$ — относительное метановыделение из вмещающих пород, м³/т; $q_{вп2}$ — относительное метановыделение из нижнего слоя, м³/т.

Особенностью данного объекта является необходимость учета газовыделения нижнего слоя угольного пласта, которое определяется по следующей формуле:

$$q_{пл2} = K_{пл2}\,(X_{ос} - X_{о\,н.сл}), \qquad (6)$$

где $X_{ос}$ — остаточная метаноносность пласта, м³/т.

$$X_{ос} = 0{,}42\sqrt{m_{п.Нi}}\left(1 + e^{-0{,}03T_Н}\right)\cdot \left(1 - 0{,}02X_{г.Нi}\right)X_Н, \text{ м}^3/\text{т} \qquad (7)$$

где $m_{пн}$ — полная суммарная мощность угольных пачек нижнего слоя, м; $X_{г.н}$ — природная метаноносность с.б.м. нижнего слоя пласта, м³/т с.б.м; $X_н$ — природная метаноносность нижнего слоя пласта, м³/т; $T_н$ — время, прошедшее с момента надработки нижнего слоя пласта, $T_н$ = 0, сут.

По нашему мнению, зависимость (7) имеет довольно узкую область применения.

На рис. 6 (см. Приложение, с. 146) показана кривая, согласно которой при $X_н \leqslant 8{,}6$ м³/т $X_{ос} > X_н$, а при $X_н > 17{,}0$ м³/т остаточная метаноносность нижнего слоя начинает неуклонно падать, достигая нуля при $X_н$ = 34 м³/т, что лишено смысла. Поэтому для дальнейших расчетов было принято, что $X_{ос}$ = 11,4 м³/т.

Результаты расчета метановыделения по источникам представлены в табл. 6, 7, 8.

Таблица 6

Относительное метановыделение из сближенных пластов
Relative methane release from the adjacent layers

Пласт	$K_{у.к}$	$m_{в.пр}$, м	$\alpha_{пл}$, град.	$M_р$, м	$m_{сi}$, м	$m_в$, м	X_i, м³/т	$X_о$, м³/т	M_i, м	$q_{с.пi}$, м³/т
$Д_7$	40	2,7	10	215,4	0,9	2,5	26,2	3,5	32,11	7,78
$Д_8$					0,9	2,5	26,2	3,5	11,20	7,27
$Д_9$					1,3	2,5	26,2	3,5	95,00	3,45
$Д_{10}$	отработан									
$\sum q_{сп}$										18,5

Таблица 7

Относительное метановыделение из вмещающих пород
Relative methane release from host rocks

$K_{н500}$	H, м	$K_п$	$m_п$, м	$m_в$, м	$K_{эп}$,	$l_{оч}$, м	$b_{з.д}$, м	$K_{пл}$	X, м³/т	$X_о$, м³/т	$q_{пор}$, м³/т
0,15	500	0,15	5,2	2,6	1,0	240	18	0,85	31,5	3,5	7,8

Таблица 8

Относительное метановыделение из нижнего слоя пласта $Д_6$
Relative methane release from the lower layer of the D_6 formation

$m_{пн}$, м	$X_{г.н}$, м³/т	$X_н$, м³/т	$T_н$, сут	$X_{ос}$, м³/т	$K_{пл2}$	$X_{о.н.сл}$, м³/т	$q_{пл2}$, м³/т
2,6	38,5	26,2	0	11,4	0,95	2,5	8,4

Таблица 9

Средневзвешенная метанообильность выработанного пространства $J_{вп.ф}$ добычного участка 312$Д_6$-1з
Weighted average methane abundance of the developed space of the $J_{vp.f}$ mining site 312D6-1 z

Границы интервала, м³/мин	Середина интервала *A*, м³/мин	Количество измерений в интервале	Частота *B*, доли ед.	*A* * *B*
41,1 – 59,164	50,132	14	0,151	7,55
59,164 – 77,228	68,196	27	0,290	19,80
77,228 – 95,292	86,26	19	0,204	17,62
95,292 – 113,356	104,324	24	0,258	26,92
113,356 – 131,42	122,388	9	0,097	11,84
$J_{вп.ф}$		**93**	**1,000**	**83,73**

$$q_{вп} = 18,5 + 7,8 + 8,4 = 34,7 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Фактическое относительное метановыделение из выработанного пространства (табл. 9)

$$q_{вп} = 1440 \times J_{вп.ф} \times A_ф^{-1} =$$
$$= 1440 \times 83,73 \times 3512^{-1} = 34,3 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

Выводы

• Интенсивность метановыделения из отрабатываемого пласта в призабойное пространство определяется эффективностью искусственной (заблаговременной, предварительной) и естественной дегазации. Газоносность пласта $Д_6$

в зоне выемке угля очистным комбайном на глубине 1,0 м $X_в$ = 8,2 ÷ 9,5 м³/т;

• Коэффициенты дегазации угольного пласта не рассчитываются, а задаются. Расстояния между пластовыми скважинами принимаются равным 4 м, вопреки расчетам;

• Предлагается следующий алгоритм действия: определяется требуемый коэффициент дегазации добычного участка. Далее оценивается требуемый коэффициент дегазации разрабатываемого угольного пласта, затем, исходя из имеющегося резерва времени на дегазационную подготовку, рассчитывается расстояние между пластовыми скважинами и, наконец, определяется коэффициент дегазации выработанного пространства;

• Метанообильность добычных участков, рассчитанная по природной газоносности оказывается значительно ниже фактической. Анализ газового баланса участка показал, что это обусловлено недооценкой метанообильности выработанного пространства. Разница доходит до 100% и более. Основная причина — заниженные значения природной газоносности угольных пластов;

• Существующий порядок определения параметров дегазации выемочного участка не корректен, так как формула для определения коэффициента дегазации выработанного пространства подходит только для случаев, когда отсутствует необходимость дегазации разрабатываемого пласта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баловцев С. В.* Сравнительная оценка аэрологических рисков на действующих угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. — С. 5—17. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-5-17.

2. *Куликова Е. Ю.*, *Виноградова О. В.* Риски как причина снижения промышленной безопасности при строительстве подземных сооружений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 7. — С. 146—154. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

3. *Каледина Н. О.* Риск-ориентированный подход в обеспечении промышленной безопасности горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6-1. — С. 5—14. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-5-14.

4. *Kędzior S., Dreger M.* Methane occurrence, emissions and hazards in the Upper Silesian Coal Basin, Poland // International Journal of Coal Geology. 2019, vol. 211, article 103226. DOI: 10.1016/J.COAL.2019.103226.

5. *Баловцев С. В.*, *Скопинцева О. В.*, *Коликов К. С.* Управление аэрологическими рисками в подготовительных выработках угольных шахт // Устойчивое развитие горных территорий. — 2022. — Т. 14. — № 1. — С. 107—116. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-107-116.

6. *Сластунов С. В.*, *Каркашадзе Г. Г.*, *Коликов К. С.*, *Ермак Г. П.* Методика расчета допустимой нагрузки на очистной угольный забой по газовому фактору // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2013. — № 6. — С. 53—59.

7. *Захаров В. Н.*, *Малинникова О. Н.*, *Трофимов В. А.*, *Филиппов Ю. А.* Зависимость проницаемости угольного пласта от газосодержания и действующих напряжений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2016. — № 2. — С. 16—25.

8. *Feng Yan-Yan, Jiang Cheng-Fa, Liu Dai-Jun, Chu Weib* Microstructure and its nfluence on CH_4 adsorption behavior of deep coal // Chinese Physics B. 2014, vol. 23, no 2, article 028201. DOI: 10.1088/174-1056/23/2/028201.

9. *Родин Р. И.*, *Шинкевич М. В.* Подход к оценке газокинетических свойств разрушаемого угля // Безопасность труда в промышленности. — 2020. — № 7. — С. 40—45. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-7-40-45.

10. *Коликов К. С.*, *Егорова Е. А.*, *Мегид Х. А.* Оценка проницаемости угольного пласта с учетом неоднородности в геологической структуре кровли // Горный журнал. — 2016. — № 6. — С. 56—59.

11. *Ordin A. A.*, *Okol'nishnikov V. V.*, *Rudometov S. V.*, *Metel'kov A. A.* Evaluation of drum shearer capacity in coal seam with variable geomechanical and geotechnical characteristics // Journal of Mining Science. 2019, vol. 55, no. 1, pp. 57—65. DOI: 10.1134/S1062739119015299.

12. *Weishauptová Z.*, *Přibyl O.*, *Sýkorová I.*, *Machovič V.* Effect of bituminous coal properties on carbon dioxide and methane high pressure sorption // Fuel. 2015, vol. 139, pp. 115—124.

13. *Masoudian M. S.*, *Airey D. W.*, *El-Zein A.* Experimental investigations on the effect of CO_2 on mechanics of coal // International Journal of Coal Geology. 2014, vol. 128–129, pp. 12—23. DOI: 10.1016/J.COAL.2014.04.001.

14. *Yixin Zhao, Honghua Song, Shimin Liu, Chengguo Zhang, Linming Dou, Anye Cao* Mechanical anisotropy of coal with considerations of realistic microstructures and externalloadin directions // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2019, vol. 116, pp. 111—121. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2019.03.005.

15. *Малинникова О. Н.*, *Ульянова Е. В.*, *Харченко А. В.*, *Пашичев Б. Н.* Влияние микроструктуры угля на газонасыщенность призабойной зоны // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2020. — № 3. — С. 25—33.

16. *Сластунов С. В.*, *Коликов К. С.*, *Мешков А. А.*, *Садов А. П.*, *Хаутиев А. М.-Б.* Совершенствование технологии предварительной пластовой дегазации на основе гидрорасчленения разрабатываемых угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 6. — С. 34—45. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_6_0_34.

17. *Баймухаметов С. К.*, *Имашев А. Ж.*, *Муллагалиев Ф. А.*, *Муллагалиева Л. Ф.*, *Коликов К. С.* Проблемы отработки газоносных и опасных по внезапным выбросам угольных пластов с низкой проницаемостью в Карагандинском угольном бассейне // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 10-1. — С. 124—136. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_124.

18. *Gendler S.*, *Prokhorova E.* Risk-based methodology for determining priority directions for improving occupational safety in the mining industry of the Arctic Zone // Resources. 2021, vol. 10, no. 3, article 20. DOI: 10.3390/resources10030020.

19. *Куликова Е. Ю.* Методика интегральной оценки риска в шахтном и подземном строительстве // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. — С. 124—133. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-124-133.

20. *Малашкина В. А.* Мониторинг эффективности системы дегазации угольной шахты — основа безопасного труда горнорабочих // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6-1. — С. 38—45. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-38-45.

21. *Хиврин М. В.* Перспективные направления развития многофункциональных систем безопасности угольных шахт // Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 5. — С. 59—64. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-5-59-64.

22. *Руководство* по проектированию вентиляции угольных шахт. — Макеевка-Донбасс, 1989.

23. *Методические* рекомендации по проектированию вентиляции угольных шахт АО «АрселлорМиттал Темиртау». — Астана, 2012. — 284 с. ГИАБ

REFERENCES

1. Balovtsev S. V. Comparative assessment of aerological risks at operating coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 5—17. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-5-17.

2. Kulikova E. Yu., Vinogradova O. V. Risks as a cause of industrial safety inhibition in underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 7, pp. 146—154. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-146-154.

3. Kaledina N. O. Risk-based approach to keep mining industrial safety. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6-1, pp. 5—14. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-5-14.

4. Kędzior S., Dreger M. Methane occurrence, emissions and hazards in the Upper Silesian Coal Basin, Poland. *International Journal of Coal Geology*. 2019, vol. 211, article 103226. DOI: 10.1016/J.COAL.2019.103226.

5. Balovtsev S. V., Skopintseva O. V., Kolikov K. S. Aerological risk management in preparation mining of coal mines. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2022, vol. 14, no. 1, pp. 107—116. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-1-107-116.

6. Slastunov S. V., Karkashadze G. G., Kolikov K. S., Ermak G. P. Methodology for calculating the permissible load on the treatment coal face according to the gas factor. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2013, no. 6, pp. 53—59. [In Russ].

7. Zakharov V. N., Malinnikova O. N., Trofimov V. A., Filippov Yu. A. Dependence of coal seam permeability on gas content and operating stresses. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2016, no. 2, pp. 16—25. [In Russ].

8. Feng Yan-Yan, Jiang Cheng-Fa, Liu Dai-Jun, Chu Weib Microstructure and its nfluence on CH_4 adsorption behavior of deep coal. *Chinese Physics B*. 2014, vol. 23, no 2, article 028201. DOI: 10.1088/174-1056/23/2/028201.

9. Rodin R. I., Shinkevich M. V. An approach to the assessment of gas-kinetic properties of destructible coal. *Occupational Safety in Industry*. 2020, no. 7, pp. 40—45. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2020-7-40-45.

10. Kolikov K. S., Egorova E. A., Hossam Abdel Meguid. Assessment of the permeability of the coal seam, taking into account the heterogeneity in the geological structure of the roof. *Gornyi Zhurnal*. 2016, no. 6, pp. 56—59. [In Russ].

11. Ordin A. A., Okol'nishnikov V. V., Rudometov S. V., Metel'kov A. A. Evaluation of drum shearer capacity in coal seam with variable geomechanical and geotechnical characteristics. *Journal of Mining Science*. 2019, vol. 55, no. 1, pp. 57—65. DOI: 10.1134/S1062739119015299.

12. Weishauptová Z., Přibyl O., Sýkorová I., Machovič V. Effect of bituminous coal properties on carbon dioxide and methane high pressure sorption. *Fuel*. 2015, vol. 139, pp. 115—124.

13. Masoudian M. S., Airey D. W., El-Zein A. Experimental investigations on the effect of CO_2 on mechanics of coal. *International Journal of Coal Geology*. 2014, vol. 128–129, pp. 12—23. DOI: 10.1016/J.COAL.2014.04.001.

14. Yixin Zhao, Honghua Song, Shimin Liu, Chengguo Zhang, Linming Dou, Anye Cao Mechanical anisotropy of coal with considerations of realistic microstructures and externalloadin directions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2019, vol. 116, pp. 111—121. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2019.03.005.

15. Malinnikova O. N., Ulyanova E. V., Kharchenko A. V., Pashichev B. N. The influence of the microstructure of coal on the gas saturation of the bottom-hole zone. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2020, no. 3, pp. 25—33. [In Russ].

16. Slastunov S. V., Kolikov K. S., Meshkov A. A., Sadov A. P., Khautiev A. M.-B. Improvement of pre-drainage technology based on hydraulic dissection of coal beds. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 6, pp. 34—45. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_6_0_34.

17. Baymukhametov S. K., Imashev A. Zh., Mullagaliev F. A., Mullagalieva L. F., Kolikov K. S. Problems of working off gas-bearing and dangerous by sudden emissions of coal seams with low permeability in the Karaganda coal basin. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 10-1, pp. 124—136. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_124.

18. Gendler S., Prokhorova E. Risk-based methodology for determining priority directions for improving occupational safety in the mining industry of the Arctic Zone. *Resources*. 2021, vol. 10, no. 3, article 20. DOI: 10.3390/resources10030020.

19. Kulikova E. Yu. Methodology of integral risk assessment in mine and underground construction. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 124 — 133. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-124-133.

20. Malashkina V. A. Monitoring the effectiveness of the coal mine degassing system — the basis of safe work of miners. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6-1, pp. 38 — 45. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-61-0-38-45.

21. Khivrin M. V. Perspective directions of development of multifunctional safety systems of coal mines. *Occupational Safety in Industry*. 2019, no. 5, pp. 59 — 64. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-5-59-64.

22. *Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyatsii ugol'nykh shakht* [Coal mine ventilation design guide], Makeevka-Donbass, 1989. [In Russ].

23. *Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu ventilyatsii ugol'nykh shakht AO «ArsellorMittall Temirtau»* [Methodological recommendations for the design of ventilation of coal mines of JSC «ArcellorMittall Temirtau»], Astana, 2012, 284 p. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шаяхметов Рустам Тулегенович[1] — начальник управления,
e-mail: R.Shayakhmetov@arcelormittal.com,
Атыгаев Рустем Кенесович[1] — канд. техн. наук,
эксперт, e-mail: R.Atygaev@arcelormittal.com,
Филимонов Евгений Николаевич[1] — канд. техн. наук,
технолог, e-mail: eugf@mail.ru,
Стельмахов Андрей Анатольевич — канд. экон. наук,
доцент, НИТУ «МИСиС»,
e-mail: 1predsedatel@mail.ru.
[1] Управление «Спецшахтомонтаждегазация»
УД АО «АрселорМиттал Темиртау»,
Караганда, Казахстан.
Для контактов: Стельмахов А.А., e-mail: 1predsedatel@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

R.T. Shayakhmetov[1], Head of Department,
e-mail: R.Shayakhmetov@arcelormittal.com,
R.K. Atygaev[1], Cand. Sci. (Eng.), Expert,
e-mail: R.Atygaev@arcelormittal.com,
Ye.N. Filimonov[1], Cand. Sci. (Eng.), Technologist,
e-mail: eugf@mail.ru,
A.A. Stelmakhov, Cand. Sci. (Econ.),
Assistant Professor,
e-mail: 1predsedatel@mail.ru,
National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia,
[1] Department of «Specshahtomontazhdegazation»
of JSC «ArcelorMittal Temirtau»,
Karaganda, Kazakhstan.
Corresponding author: A.A. Stelmakhov, e-mail: 1predsedatel@mail.ru.

Получена редакцией 05.08.2022; получена после рецензии 14.09.2022; принята к печати 10.10.2022.
Received by the editors 05.08.2022; received after the review 14.09.2022; accepted for printing 10.10.2022.

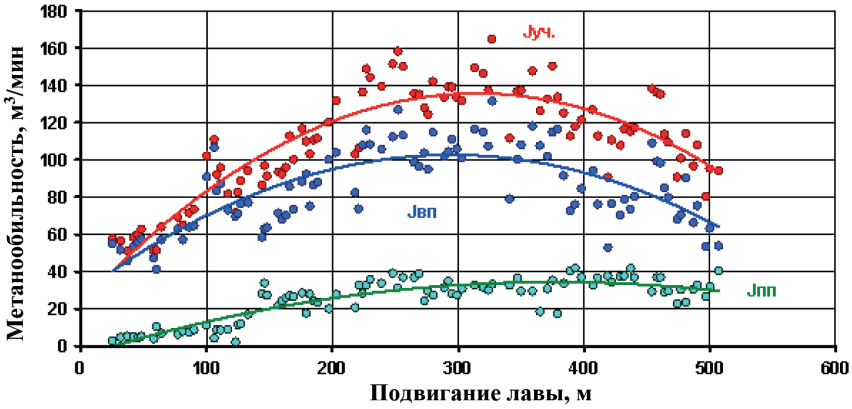

Рис. 1. Газовый баланс добычного участка 312-Д$_6$-1з шахты «Казахстанская»
Fig. 1. Gas balance of production site 312-D$_6$-1z of Kazakhstanskaya mine

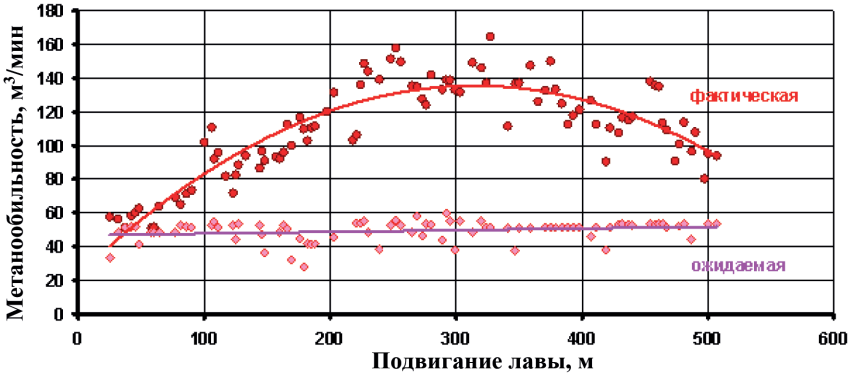

Рис. 2. Фактическая и ожидаемая метанообильность выемочного участка 312-Д$_6$-1з шахты «Казахстанская»
Fig. 2. Actual and expected methane abundance of excavation site 312-D$_6$-1z of Kazakhstanskaya mine

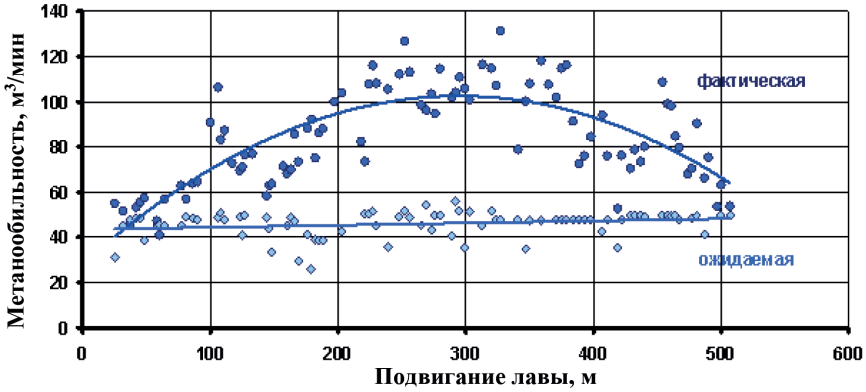

Рис. 3. Фактическая и ожидаемая метанообильность выработанного пространства добычного участка 312-Д$_6$-1з шахты «Казахстанская»
Fig. 3. Actual and expected methane abundance of developed space of mining site 312-D$_6$-1z of Kazakhstanskaya mine

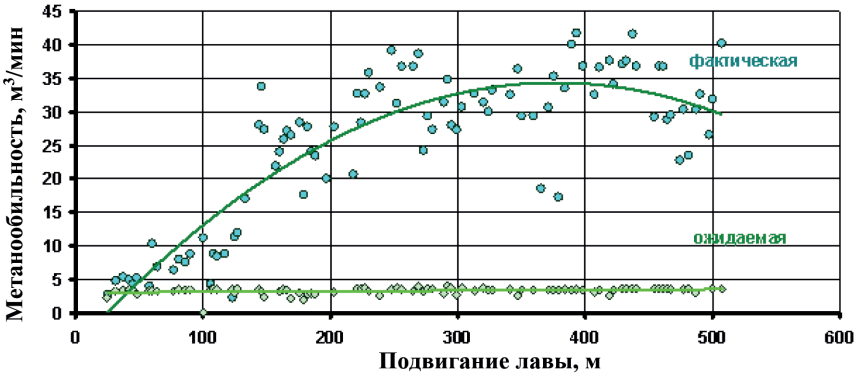

Рис. 4. Фактическая и ожидаемая метанообильность призабойного пространства добычного участка 312-Д$_6$-1з шахты «Казахстанская»

Fig. 4. Actual and expected methane abundance of bottomhole space of production site 312-D$_6$-1z of Kazakhstanskaya mine

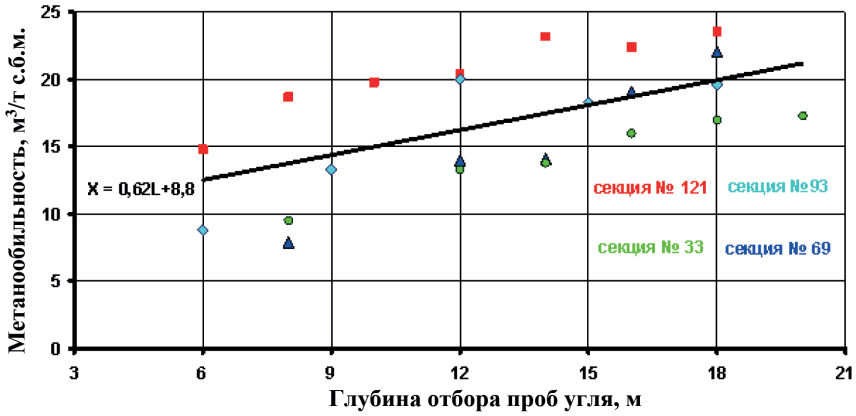

Рис. 5. Метаноносность пласта Д$_6$ впереди очистного забоя лавы 312-Д$_6$-1з шахты «Казахстанская»

Fig. 5. Methane content of the D$_6$ formation ahead of the 312 D6-1z lava treatment face of Kazakhstanskaya mine

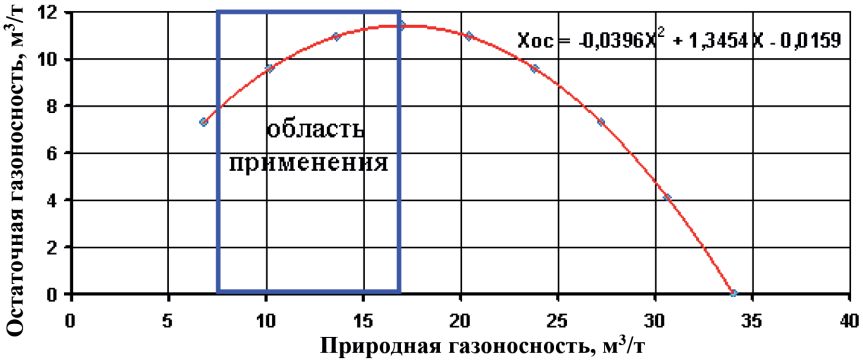

Рис. 6. Расчетная остаточная метаноносность нижнего слоя пласта Д$_6$ от природной газоносности при отработке выемочного участка 312-Д$_6$-1з на шахте «Казахстанская»

Fig. 6. Estimated residual methane content of lower layer of the D$_6$ formation from natural gas content during the development of 312-D$_6$-1z excavation site at Kazakhstanskaya mine