

## Прогноз метановыделения из подработанных пород в выработки выемочного участка\*

Изложены результаты сравнительного анализа прогноза и фактических показателей объемов метана, выделившегося из подработанного углепородного массива кровли в выработки четырех выемочных участков на шахте им. А. Ф. Засядько.

Для повышения точности прогнозирования метанообильности выемочных участков авторы разработали новую методику прогноза объемов метановыделения из подработанного углепородного массива кровли в выработки выемочного участка. Расчеты метановыделения выполняются по данным о природной метаноносности пластов-спутников и газоносных пород. Ранее [1] был изложен алгоритм расчета, приведен пример прогноза объемов метановыделения из пород кровли в выработки выемочного участка 18-й западной лавы на шахте им. А. Ф. Засядько, а также сделан вывод о том, что разработанная методика может применяться для прогнозных расчетов метановыделения из подработанного углепородного массива кровли при прогнозе метанообильности выемочного участка.

Исследования по прогнозным расчетам газовой выработки были продолжены и в данной статье приводим результаты сравнительной оценки прогнозных и фактических показателей объемов метановыделения из подработанного углепородного мас-

сива кровли в выработки на четырех выемочных участках шахты им. А. Ф. Засядько.

На всех участках геологические условия почти одинаковы, но отличаются мощностью пластов-спутников и газоносных песчаников. Выше интервала разгрузки аргиллитов  $h_{ar}$  на расстоянии 95–100 м от рабочего пласта залегает аргиллит  $M_5Arm_4^3$  с известняком в почве общей мощностью 5,5–6,5 м, являющийся газоупором, который препятствует фильтрации метана из залегающих выше него пластов-спутников и газоносных пород в выработки участка.

Геологический разрез для 17-й восточной лавы пласта  $m_3$  дан по скважине № 3460, а характеристики углей пластов-спутников, залегающих в кровле, — по скважине МС 598, расположенной на участке 18-й восточной лавы. Характеристика метаноносности угольных пластов-спутников с учетом их зольности и влажности приведена в табл. 1.

В статье (см. таблицы) приняты следующие обозначения:  $V^{daf}$  — выход летучих веществ;  $x_{ci}$  — природная газоносность угля;  $x_{coi}$  —



**А. П. КЛЕЦ,**  
канд. техн. наук  
(ИГТМ им. Н. С. Полякова  
НАН Украины)



**Б. В. БОКИЙ,**  
доктор техн. наук  
(ПАО «Шахта им. А. Ф. Засядько»)



**П. Е. ФИЛИМОНОВ,**  
канд. техн. наук  
(ПАО «Шахта им. А. Ф. Засядько»)

природная остаточная газоносность угля;  $W$  — влажность пластовая;  $A_3$  — зольность пластовая;  $k_{WA}$  — коэффициент пересчета газоносности пласта;  $x_{ci\text{пл}}$  — газоносность угля пластовая;  $x_{coi\text{пл}}$  — остаточная газоносность угля пласто-

\* К продолжению расчетов, опубликованных в статье «Прогноз метановыделения из подработанных пород в выработки выемочного участка» (Уголь Украины. — 2011. — № 1).

## МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ

вая;  $m_{ci}$ ,  $m_{si}$ ,  $m_{ali}$  и  $m_{ari}$  — мощность  $i$ -го угольного пласта-спутника, песчаника, алевролита и аргиллита;  $M_{ci}$ ,  $M_{si}$ ,  $M_{ali}$  и  $M_{ari}$  — расстояние по нормали от угольного пласта-спутника, газоносного песча-

ника, алевролита или аргиллита до кровли рабочего пласта;  $q_{ci}$  — количество метана, которое может быть извлечено из 1 т угля пласта-спутника в данных условиях подработки;  $P_{зап.у}$  — плотность запасов метана, выделяемых из угольных пластов-спутников;  $H$  — глубина залегания;  $k_{эф.п}$  — коэффициент эффективной пористости породы;  $x_{si}$ ,  $x_{ali}$  и  $x_{ari}$  — газоносность  $i$ -го песчаника, алевролита и аргиллита;  $q_{si}$ ,  $q_{ali}$  и  $q_{ari}$  — количество метана, которое можно извлечь из 1 м<sup>3</sup> газоносного песчаника, алевролита и аргиллита в условиях подработки;  $P_{зап.п}$  — плотность запасов метана, выделяемых из газоносных пород.

Таблица 1

Индекс угольного пласта-спутника	$V^{daf}, \%$	$x_{ci}^p, \frac{M^3}{T}$ Т с. б. м	$x_{cqi}^p, \frac{M^3}{T}$ Т с. б. м	$W, \%$	$A_3, \%$	$k_{WA}$	$x_{ci}^{пл'}, \frac{M^3}{T}$	$x_{coi}^{пл'}, \frac{M^3}{T}$
$m_3^1$	31,7	21,0	2,5	1,5	9,1	0,894	18,8	2,20
$m_4^1$	31,6	15,0	2,4	1,0	14,3	0,847	12,7	2,03
$m_4^2$	32,4	16,0	2,4	1,4	25,3	0,733	11,8	1,75
$m_4^3$	33,0	15,0	2,3	1,35	26,0	0,726	10,9	1,67
$m_4^4$	35,0	16,0	2,2	1,10	25,5	0,734	11,7	1,61
$m_4^H$	35,2	15,2	2,2	1,20	25,8	0,730	11,1	1,60
$m_4^H$	39,5	16,4	2,0	1,15	17,2	0,816	13,4	1,63
$m_5^1$	39,5	16,4	2,0	1,15	17,2	0,816	13,5	1,63

Таблица 2

Индекс угольного пласта-спутника	$m_{ci}, м$	$M_{ci}, м$	$x_{ci}^{пл} - x_{coi}^{пл'}, \frac{M^3}{T}$	$q_{ci}, \frac{M^3}{T}$	$P_{зап.у}, \frac{M^3}{M^2}$
<i>17-я восточная лава</i>					
$m_4^1$	0,45	32,6	10,67	8,55	5,31
$m_4^2$	0,30	89,3	10,05	4,58	1,90
$m_4^3$	0,25	95,0	9,23	3,88	1,34
$m_4^H$	0,50	108,3	10,09	3,42	—
$m_5^H$	0,60	145,7	11,77	1,31	—
$m_5^1$	0,25	162,0	11,87	0,15	—
				$\Sigma P_{зап.у}$	8,55
<i>17-я западная лава</i>					
$m_3^1$	0,40	29,2	16,60	14,06	7,47
$m_4^0$	0,40	40,0	10,67	9,79	5,21
$m_4^1$	0,20	80,0	10,05	5,71	1,52
$m_4^3$	0,40	110,0	10,1	5,16	—
$m_4^4$	0,50	113,7	9,5	4,69	—
$m_5^H$	0,25	151,8	11,8	3,15	—
$m_5^1$	0,45	166,9	11,9	2,31	—
				$\Sigma P_{зап.у}$	14,20
<i>18-я восточная лава</i>					
$m_4^1$	0,25	27,0	10,67	8,91	3,08
$m_4^2$	0,20	85,0	10,05	4,84	1,37
$m_4^3$	0,25	95,0	9,23	3,88	1,34
$m_4^4$	0,40	127	10,09	2,27	—
$m_4^H$	0,40	136	9,50	1,62	—
$m_5^H$	0,45	150	11,77	1,00	—
$m_5^1$	0,23	166	11,87	0,10	—
				$\Sigma P_{зап.у}$	5,79

Пластовую газоносность пластов-спутников определяли в соответствии с требованиями Руководства [2] путем пересчета природной газоносности угля с учетом зольности и влажности пласта, пластовую остаточную газоносность — аналогично; газоносность песчаников, алевролитов и аргиллитов как суммарное значение свободного метана в открытом порово-трещинном пространстве и метана, сорбированного РОВ (рассеянное органическое вещество) — в соответствии с методикой, изложенной в работе [1].

*Участок 17-й восточной лавы.* В горно-геологических условиях лавы размеры дегазируемой толщи  $h_{д.т}$  в подработанном углепородном массиве: для углей  $h_c \leq 164$  м; для песчаников и песчанистых сланцев  $h_s \leq 117$  м; для аргиллитов  $h_{ar} \leq 59$  м. В интервале влияния подработки в породах кровли залегают шесть пластов-спутников ( $m_4^1, m_4^2, m_4^3, m_4^H, m_5^H, m_5^1$ ), три газоносных песчаника ( $m_3Sm_4, m_4Sm_4^1, m_4^2Sm_4^3$ ), алевролит  $m_4^1Alm_4^2$  и аргиллит  $m_3Arm_4$ , газоносный по РОВ.

*Участок 17-й западной лавы.* В горно-геологических условиях лавы размеры дегазируемой толщи в подработанном углепородном массиве: для углей  $h_c \leq 183$  м; для песчаников и песчанистых сланцев  $h_s \leq 131$  м; для аргиллитов  $h_{ar} \leq 62$  м. Геологический разрез для 17-й западной лавы пласта  $m_3$  дан по скважине № 3802, а характеристики углей пластов-спутников, залегающих в кровле, — по скважине МС 598. В дегазируемой толще, откуда газ может перетекать на участок, залегают семь угольных пластов-спутников ( $m_3^1, m_4^0, m_4^1, m_4^3, m_4^4, m_5^H$  и  $m_5^1$ ), три газоносных песчаника ( $m_3Sm_3^1, m_4^0Sm_4^1, m_4^1Sm_4^3$ ) и аргиллит  $m_3Arm_4$ .

*Участок 18-й восточной лавы.* В горно-геологических условиях этой лавы размеры дегазируемой толщи в подработанном углепородном массиве: для углей  $h_c \leq 164$  м; для песчаников и песчанистых

## МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЕ

сланцев  $h_s \leq 117$  м; для аргиллитов  $h_{ar} \leq 59$  м. Геологический разрез для 18-й восточной лавы пласта  $m_3$  дан по скважине № 3790, а характеристики углей пластов-спутников, залегающих в кровле, — по скважине МС 598. Обе скважины расположены на участке 18-й восточной лавы. В интервале влияния подработки в породах кровли залегают семь пластов-спутников ( $m_4, m_4^1, m_4^2, m_4^3, m_4^4, m_5^H, m_5^1$ ), три газоносных песчаника ( $m_3Sm_4, m_4Sm_4^1, m_4^2Sm_4^3$ ), аргиллит  $m_3Arm_4$  и алевролит  $m_4^0Alm_4^3$ .

*Участок 18-й западной лавы.* Геологический разрез пород кровли лавы пласта  $m_3$  дан по скважинам № 3878 и № 3802. В горно-геологических условиях этой лавы размеры дегазируемой толщи в подработанном углепородном массиве: для углей  $h_c \leq 174$  м; для песчаников и алевролитов  $h_s \leq 124$  м; для аргиллитов  $h_{ar} \leq 62$  м. В подработанной толще залегают семь угольных пластов, четыре газоносных песчаника мощностью более 5 м, один алевролит и один аргиллит, газоносный по РОВ.

Газоносность песчаников определена по содержанию свободного метана через показатели давления и эффективной пористости, а алевролита и аргиллита — по содержанию метана в РОВ. Газоносность РОВ в алевролите принята равной пластовой газоносности пласта-спутника  $m_4^1$ , а в аргиллите —  $m_3^1$ .

Прогнозный расчет плотности запасов метана, выделяемых в лаву из угольных пластов-спутников кровли, приведен в табл. 2 (для 18-й западной лавы см. статью [1]).

Суммарная плотность запасов метана, который будет поступать в 17-ю восточную лаву после подработки углепородного массива кровли,  $87,25 \text{ м}^3/\text{м}^2$ . Наибольшие объемы метана, выделяющиеся в лаву после подработки, содержатся в песчанике  $m_4Sm_4^1$ . Их плотность  $44,3 \text{ м}^3/\text{м}^2$ , что составляет 50,7 % запасов метана кровли. Ожидаемый дебит метана из пород кровли в 17-ю восточную лаву  $37,2 \text{ м}^3/\text{т с. д.}$

Суммарная плотность запасов метана, который поступит в 18-ю восточную лаву после подработки углепородного массива кровли,  $78,19 \text{ м}^3/\text{м}^2$ . Наибольшие объемы метана, выделяющегося в лаву после подработки, содержатся в песчанике  $m_4Sm_4^1$  с запасами плотностью  $43,2 \text{ м}^3/\text{м}^2$ , что составляет 55,3 % запасов метана кровли. Ожидаемый дебит метана из пород кровли в лаву  $33,8 \text{ м}^3/\text{т с. д.}$

Суммарная плотность запасов метана, который поступит в 18-ю западную лаву после подработки углепородного массива кровли,  $93 \text{ м}^3/\text{м}^2$ . Наибольшие объемы метана, которые будут выделяться

в лаву после подработки, содержатся в песчаниках  $m_4^0Sm_4^1$  и  $m_4^0Sm_4^3$ . Их плотность  $46,6 \text{ м}^3/\text{м}^2$ , что составляет 50,1 % запасов метана кровли. Ожидаемый дебит метана из пород кровли в лаву  $39,7 \text{ м}^3/\text{т с. д.}$

Результаты расчетов плотности запасов метана, выделяемых в лаву из газоносных пород после их подработки, приведены в табл. 3 (для 18-й западной лавы см. статью [1]).

Суммарная плотность запасов метана, который поступит в 17-ю западную лаву после подработки углепородного массива кровли,  $89,9 \text{ м}^3/\text{м}^2$ . Наибольшие объемы метана, выделяющегося в лаву после подработки, содержатся в песчаниках  $m_4^0Sm_4^1$  и  $m_4^1Sm_4^3$ . Их плотность  $43,6 \text{ м}^3/\text{м}^2$ , что составляет 48,5 % запасов метана кровли. Ожидаемый дебит метана из пород кровли в лаву  $34,2 \text{ м}^3/\text{т с. д.}$

Результаты расчетов плотности запасов метана, выделяемых в 17-ю западную лаву из газоносных пород после их подработки, приведены в табл. 4.

В фактических показателях газовыделения из углепородного массива кровли учитывался об-

Таблица 3

Индекс породы	H, м	$\frac{M_{civ}}{M_{ariv}} \frac{m_{ariv}}{M}$	$\frac{m_{civ}}{m_{ariv}} \frac{m_{ariv}}{M}$	$k_{эф. п'}$ %	$\frac{x_{siv} x_{ariv}}{M^3/M^3}$	$\frac{q_{siv} q_{ariv}}{M^3/M^3}$	$P_{зап. п'}$ $\text{м}^3/\text{м}^2$
<i>17-я восточная лава</i>							
$m_3Arm_4$	1254,6	6,5	13,0	—	1,50	1,41	18,4
$m_3Sm_4$	1241,5	19,6	9,3	1,75	1,93	1,61	16,0
$m_4Sm_4^1$	1204,8	59,0	38,2	2,18	2,33	1,16	44,3
$m_4^0Alm_4^3$	1152,2	108,0	10,0	2,04	2,07	0,16	—
$m_4^2Sm_4^3$	1146,0	115,0	14,5	2,04	2,07	0,03	—
						$\Sigma P_{зап. п}$	78,7
<i>18-я восточная лава</i>							
$m_3Arm_4$	1310	6,4	12,8	—	1,50	1,15	14,70
$m_3Sm_4$	1297	19,0	9,0	1,75	1,93	1,62	14,50
$m_4Sm_4^1$	1257	59,0	40,0	2,18	2,33	1,08	43,20
$m_4^0Alm_4^3$	1207	109,0	10,0	2,04	2,30	0,14	—
$m_4^2Sm_4^3$	1196	116,0	14,0	2,04	2,08	0,02	—
						$\Sigma P_{зап. п}$	72,40

Таблица 4

Индекс породы	H, м	$\frac{M_{civ}}{M_{ariv}} \frac{m_{ariv}}{M}$	$\frac{m_{civ}}{m_{ariv}} \frac{m_{ariv}}{M}$	$k_{эф. п'}$ %	$\frac{x_{siv} x_{ariv}}{M^3/M^3}$	$\frac{q_{siv} q_{ariv}}{M^3/M^3}$	$P_{зап. п'}$ $\text{м}^3/\text{м}^2$
$m_3Arm_4$	1293	7	14,00	—	1,50	1,42	19,1
$m_3Sm_4^1$	1278	22	8,75	1,75	1,79	1,49	13,0
$m_4^0Sm_4^1$	1255	45	10,30	2,18	2,19	1,44	14,0
$m_4^1Sm_4^3$	1227	73	33,40	2,04	2,00	0,88	29,6
						$\Sigma P_{зап. п}$	75,7

Таблица 5

Лавы	Период для расчета $t$ , сут	Среднесуточная добыча, т/сут	Абсолютный дебит метана из кровли, м <sup>3</sup> /мин		Относительный дебит метана из кровли, м <sup>3</sup> /т с. д.		Разность между расчетными и фактическими показателями относительного дебита, м <sup>3</sup> /т с. д. (%)	
			расчетный	фактический	расчетный	фактический	превышение	уменьшение
17-я восточная	457	2212	57,2	63,9	37,2	41,6	—	4,4 (10)
17-я западная	625	1594	37,9	28,5	34,2	25,7	8,5 (25)	—
18-я восточная	647	1317	30,9	34,1	33,8	37,2	—	3,4 (9)
18-я западная	803	2365	64,9	47,3	39,7	28,8	10,9 (27)	—

щий дебит дегазационных скважин и системы газоотсоса. Количество метана, которое удалялось из участка вентиляционной струей, в фактических показателях не учитывалось, так как основной его объем выделяется из разрабатываемого пласта.

Расчетные и фактические показатели газовой выделенности из углепородного массива кровли в выработки и выработанное пространство четырех выемочных участков 17-й и 18-й западных и 17-й и 18-й восточных лав по пласту  $m_3$  приведены в табл. 5. На западном крыле расчетные показатели газовой выделенности из кровли 17-й западной лавы превышают фактические на 25 %, а в 18-й западной лаве — на 27 %. На восточном крыле расчетные показатели, наоборот, ниже фактических на 10 % в 17-й восточной лаве и на 9 % — в 18-й восточной.

Такие значения расчетных и фактических показателей газовой выделенности объясняются различием схем вентиляции добычных участков на западном и восточном крыльях уклонного поля.

На западном крыле при отсутствии фланговых вентиляционных выработок участки 17-й и 18-й лав по всей длине выемочного столба проветривались по схеме возвратноточного движения вентиляционной струи. Тогда в выработанном пространстве остается некоторое количество метана, которое не учитывается в фактических показателях газовой выделенности. Поэтому на западном крыле расчетные показатели выше фактических. В данных расчетах эти показатели составляют в среднем 26 % общего газовой выделенности из углепородного массива кровли.

На восточном крыле при наличии фланговой вентиляционной выработки участки 17-й и 18-й восточных лав при отработке большей части выемочного столба проветривались по схеме прямого движения вентиляционной струи. В данном случае за лавой поддерживаются в рабочем состоянии вентиляционный штрек и трубопроводы газоотсоса, обеспечивается рассредоточенный вы-

нос части метана из выработанного пространства в систему газоотсоса, которая учитывается в фактических показателях. Кроме этого, в фактических показателях также учитывается и часть метана, которая за счет депрессии перетекает из выработанного пространства ранее отработанной смежной лавы в систему газоотсоса. Этим объясняется превышение фактических показателей газовой выделенности над расчетными на восточном крыле: на 10 % — в 17-й восточной лаве и на 9 % — в 18-й восточной.

**Выводы.** Разработанную методику [1] можно применять для расчетов метановой выделенности из подработанного углепородного массива кровли при прогнозе метанообильности выемочного участка по природной газоносности. Установлено, что на участках с возвратноточной схемой проветривания «на массив», количество метана, которое остается в выработанном пространстве, на 30 % больше, чем на участках с прямооточной схемой проветривания «на выработанное пространство». Для повышения достоверности прогноза метанообильности выемочных участков необходимо учитывать вид схемы их проветривания: при прямооточной схеме расчетные показатели необходимо увеличить на 10 %, а при возвратноточной схеме — уменьшить на 26 %. Данное положение следует использовать только для горно-геологических условий шахт, разрабатывающих пласт  $m_3$  на глубинах более 1000 м. Для набора статистических данных в целях повышения достоверности прогноза газообильности выемочных участков исследования следует продолжить в различных горно-геологических условиях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лукинов В. В. Прогноз метановой выделенности из подработанных пород в выработки выемочного участка / В. В. Лукинов, А. П. Клец, Б. В. Бокий, И. А. Ефремов // Уголь Украины. — 2011. — № 1. — С. 50–53.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. — К.: Основа, 1994. — 312 с.