

ИЗВЛЕКАЕМЫЕ ЗАПАСЫ МЕТАНА В ПОДРАБАТЫВАЕМОМ УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ИЗВЛЕЧЕНИЯ

Наведено відомості про експериментальні та теоретичні дослідження, виконані авторами з метою визначення економічної доцільності видобутку метану з вуглепородного масиву, який підроблюється.

THE EXTRACTED STOCKS OF METHANE IN WORKING COAL-ROCK MASSIVE AND EFFECTIVITY OF ITS EXTRACTION

The information about experimental and theoretical investigations, which carried out by authors with the aim definition of economical aim-conformability of extraction methane from the working coal-rock massif, was bring.

Недостаток энергетических ресурсов в Украине вызвал интерес к расширению добычи и использованию шахтного газа. Дебит метана, каптируемого дегазационными системами шахт в процессе добычи угля, зависит от темпов добычи, поэтому возможности увеличения его ограничены. Такого ограничения нет при добыче метана из подработанного массива, так как в Донбассе угольные пласты отработаны на огромной площади. О возможности добычи метана из подработанных пластов и пород свидетельствуют случаи выделения метана в разведочные скважины, пересекающие выработанные пространства.

Для определения экономической целесообразности добычи метана на отработанных участках шахт необходимо знать возможные объемы и темпы его извлечения. Нами предпринята попытка определить их методами экспериментальных и аналитических исследований.

Под извлекаемыми запасами метана условимся понимать объем его, который может выделиться из угольных пластов и пород при дегазации их до атмосферного давления. Практически это предельный объем газа, который может быть извлечен из массива, так как извлечение оставшейся части возможно только при условии измельчения, нагревания и вакуумирования угля.

Известно [1], что дегазирующее влияние выработанных пространств ограничено в кровле и почве некоторым расстоянием (M_p), на котором газовое давление изменяется от атмосферного до природного. Извлекаемый объем метана, содержащегося в этой части массива, можно определить как сумму объемов, содержащихся в угольных пластах (V_y) и в породах (V_n)

$$V_y = \sum_1^{\kappa} S_i \cdot m_i \cdot \gamma_i (X_i - X_0) \quad (1)$$

$$V_n = \sum_1^{\kappa_1} S_j \cdot m_j \cdot \gamma_j \cdot X_j \quad (2)$$

где k и k_l - количество угольных и газоносных породных пластов, залегающих в кровле не далее M_p (11) и в почве не далее 60 м от разрабатываемого пласта; S_i и S_j - площади разгруженных от горного давления угольных и породных слоев, из которых может быть извлечен метан, м³; m_i и m_j - средние в пределах выемочного поля мощности соответственно угольных и породных слоев, м; γ_i и γ_j - плотности угля и пород, т/м³; X_i и X_j - природная газоносность соответственно угля и пород, м³/т; X_0 - остаточная газоносность угля, м³/т.

Данные о мощностях и природной газоносности принимались по результатам геологической разведки. Газоносность подработанных угольных пластов, для которых она не определялась при разведке месторождения, рассчитывалась по [2] и корректировалась с учетом фактической газоносности ближайших пластов рабочей мощности

$$X_i = X_{ip} \frac{X_\phi^1}{X_p^1} \cdot \frac{100 - W - A_z}{100} \quad (3)$$

где X_{ip} , X_p^1 - расчетные газоносности пластов, для которых она не определялась и определялась при геологической разведке, м³/т с.б.м.; X_ϕ^1 - фактическая газоносность пласта, м³/т с.б.м.; W и A_z - влажность и зольность данного пласта, %.

Значения S_i и S_j - определяли в пределах площади выработанного пространства конкретного выемочного участка.

Остаточная газоносность угля в массиве недостаточно изучена. Имеющиеся результаты исследований [3, 4] свидетельствуют о существенном влиянии дегазационных скважин на остаточную газоносность и газовое давление. Следовательно, при достаточно большом количестве скважин, пересекающих дегазируемую толщу пород, возможно снижение газового давления до атмосферного. При расчетах значение X_0 определяли по [1]. Доля метана, выделившегося в процессе выемки угля, равна

$$d_g = \frac{V_g + V_d + \sum_{i=1}^n I_{c.g_i}}{V_y + V_n} \quad (4)$$

где V_g - объем метана, выделившегося в горные выработки за период работы лавы, демонтажа оборудования и погашения выработок после окончания очистных работ, м³; V_d - объем метана, каптированного подземной дегазационной системой на данном выемочном участке в течение всего периода её функционирования; $V_{c.g_i}$ - объем метана, каптированного i -й скважиной, пробуренной с поверхности, за все время её работы, м³; n - количество вертикальных скважин, действовавших на поле данного выемочного участка.

Значения V_g V_d определены методом графического интегрирования. Для этого в течение всего периода работы лавы измеряли с интервалом от 10 до 30 суток дебит метана в исходящей вентиляционной струе выемочного участка, в

участковом газопроводе и в скважинах, пробуренных с поверхности. Дополнительно использовали результаты измерений, выполненные службами ВТБ и ПРТБ.

Наблюдения и расчеты выполнены в условиях пяти выемочных участков (табл.1).

Сравнение извлекаемых запасов метана с выделившимися объемами, показывает (табл.2 и 3), что при дегазации подработанного массива скважинами, пробуренными с поверхности, с интервалом 100-150 м, извлекается от 83 до 95% метана, содержащегося в объеме пород, подверженных влиянию очистных работ.

Достоверность полученных результатов, по-видимому, невелика в связи с низкой надежностью определения газоносности пород и принятыми допущениями. Однако большие объемы извлеченного метана позволяют, по нашему мнению, сделать вывод о низкой эффективности добычи метана из подработанного массива, который подвергался дегазации скважинами, пробуренными с поверхности и подключенными к вакуум-насосам, создававшим разрежение в устьях до 400 гПа. Без учета объема метана, извлеченного вертикальными скважинами, доля оставшихся извлекаемых запасов составляет 26-49%.

Опыта добычи метана из отработанных лав и горизонтов нет. Отдельные скважины, сообщающиеся с подработанными пластами, функционируют длительное время, но дебиты их редко превышают 1,0 м³/мин.

Определение зависимостей объемов извлекаемого метана и дебитов скважин требует выполнения большого количества сложных и трудоемких экспериментов в натуральных условиях. Возможности осуществить их нет, поэтому нами предпринята попытка решить задачу методом компьютерного моделирования с использованием экспериментальных зависимостей, полученных МакНИИ для скважин, пробуренных с поверхности для дегазации действующих выемочных участков. При этом исходили из следующих представлений.

1. Движение метана к скважине определяется, в основном, двумя факторами:

- газоносностью подработанного массива, из которого газ поступает в подрабатываемые выработки;
- проницаемостью массива (аэродинамическим сопротивлением путей движения метана к скважине).

2. От момента подработки массива до сооружения скважины для добычи метана проходит не менее года. Такие выработанные пространства будем называть “старыми”.

3. “Старые” выработанные пространства отличаются от образующихся в процессе влияния выемки угля меньшей газонасыщенностью и большим аэродинамическим сопротивлением.

Таблица 1 - Характеристика выемочных участков

П а р а м е т р ы	Единица измерения	“Хрустальская” 1-я восточная	“Цайкино		“Коммунист” 48-бис	“Зуевская”, 9-я восточная
			3-я северная	4-я северная		
Символ разрабатываемого пласта		l_2^6	m_3	m_3	q_2	k_3
Мощность угольных пачек	м	0,8	1,5	1,5	1,5	1,4
Вынимаемая мощность	м	0,9	1,7	1,7	1,7	1,6
Угол залегания	град.	3	9	14	4	21
Глубина горных работ	м	400	600	624	500	410
Содержание летучих	%	5,5	31,3	31,3	3,5	7,1
Газоносность	м ³ /т с.б.м.	30	20,0	20,0	25,0	27,2
Зольность	%	14,5	16,5	16,5	19,0	12
Влажность	%	2,6	2,0	2,0	3,0	3,7
Средняя длина лавы	м	170	200	175	250	185
Длина выемочного поля	м	690	780	470	1050	925
Количество подработанных пластов		10	15	15	8	6
Суммарная мощность подработанных пластов	м	5,15	5,80	5,80	2,9	2,4
Количество надработанных пластов		2	1	1	-	-
Суммарная мощность надработанных пластов	м	1,35	0,2	0,2	-	-
Средняя добыча угля	т/сут	700	660	800	600	400
Глубина метановой зоны	м	75	150	150	110	150

Таблица 2 - Сравнение объемов выделенного метана с извлекаемыми запасами

Шахта, лава	Объемы выделенного метана, млн. м ³				Извлекаемые запасы, млн. м ³		
	в горные выработки	в подземные скважины	в вертикальные скважины	всего на участке	в угольных пластах	в породах	всего
“Хрустальная” 1-я-восточная лава, пл.1 ⁶	3,42	7,75	5,99	17,16	18,3	2,4	20,7
“Чайкино” 3-я и 4-я северные лавы, пл.тз	20,5	5,5	7,4	33,4	25,5	9,7	35,2
“Коммунист” Лава №48-бис, пл.г ₂ ^н	11,7	-	4,2	15,9	9,2	8,3	17,5
“Зуевская” 1-я восточная лава	22,6	-	18,2	40,8	30,1	14,1	44,2

Таблица 3 - Доля извлечения метана выработками и скважинами

Шахта, лава	Доля извлеченного метана, %				Осталось в недрах	
	общая	горными выработками	подземными скважинами	вертикальными скважинами	%	млн.м ³
“Хрустальская” 1-я-восточная	82,9	16,5	37,4	29,0	17,1	3,54
“Чайкино” 3-я и 4-я северные	94,8	58,2	15,6	21,0	5,2	1,8
“Коммунист” Лавы №48-бис	90,8	66,8	-	24,0	9,1	1,6
“Зуевская” 9-я восточная	92,3	51,1	-	41,2	7,7	3,4

Через год после подработки скважины дебит её длительное время (более года) сохраняется, примерно, одинаковым (рис.1). Можно полагать, что к этому времени уплотнение пород в зоне влияния скважины в основном завершено и дебит изменяется за счет уменьшения газоносности, а следовательно и давления газа в массиве. Этот процесс протекает медленно, поэтому дебит скважины в течение нескольких лет остается, примерно, одинаковым.

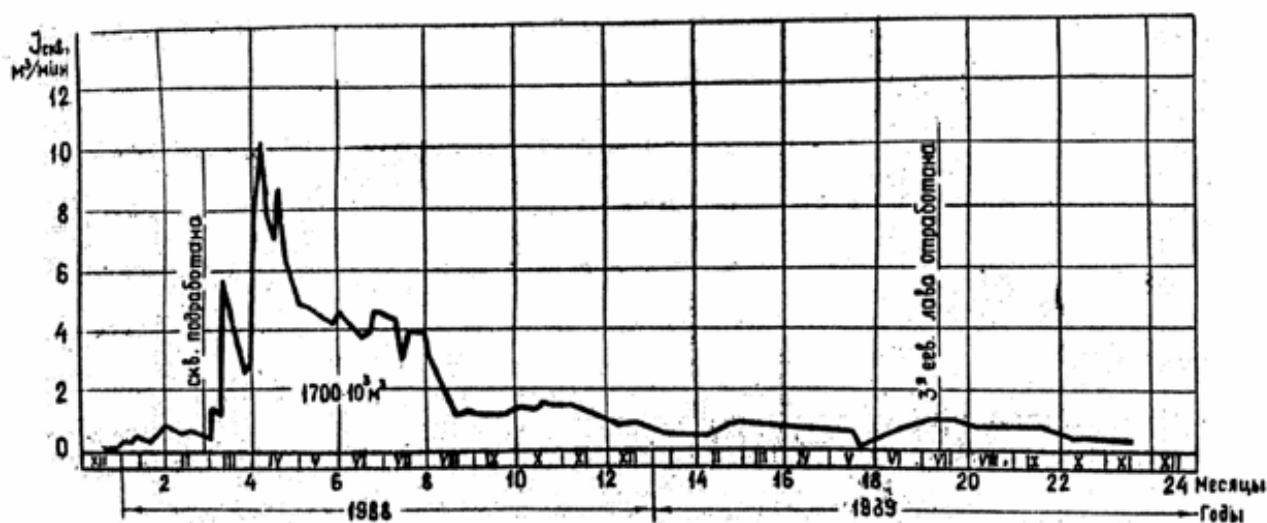


Рис.1 – Изменение дебита скважины №201 от времени (Шахта «Чайкино», разрабатываемый пласт m₃)

Расчеты коэффициентов извлечения выполнены на ПЭВМ по программе “Скважина”, разработанной МакНИИ на основе алгоритма, приведенного в “Руководстве по дегазации угольных шахт” [5].

При этом учтено, что максимальный экспериментально установленный радиус влияния скважины равен 150 м.

Расчеты выполнены для следующих условий:

- Интервал между скважинами - 300 м.

- Конечный диаметр скважины - 0,1 м.
- Длина газоприемной части (фильтра) - 60 м.
- Разрежение в скважине (у забоя) - до 100 мм рт.ст (134 ГПа).
- Геологические условия приняты аналогичными имеющимся на шахте “Краснолиманская” при отработке пласта l_3 .

Анализ результатов расчетов показал, что при указанных параметрах коэффициент извлечения зависит от запасов метана, оставшихся в массиве, подверженном влиянию очистных работ после выемки угольного пласта, и разрежения у забоя скважины.

$$K_u = 0,188 \cdot \exp(-8,1 \cdot 10^{-8} \cdot V_{oc}) \cdot \exp(5,6 \cdot 10^{-3} \cdot B) \quad (5)$$

Объем метана, извлекаемого скважиной, равен

$$V_{скв} = K_u \cdot V_{oc}, \text{ м}^3, \quad (6)$$

где V_{oc} - объем метана, оставшегося в массиве после выемки угольного пласта в зоне влияния скважины, м^3 ; B - разрежение у забоя скважины, мм рт.ст

$$V_{oc} = S_{скв} \cdot V_{yd} \quad (7)$$

где V_{yd} - объем метана, оставшегося в массиве, приходящийся на единицу площади, $\text{м}^3/\text{м}^2$; S - площадь влияния скважины, м^2

$$V_{oc} = 3,14 \cdot r^2 \frac{V_y + V_n - V_v - V_d}{l_o \cdot l_n} \quad (8)$$

где V_v и V_d - объемы метана, выделившегося из выработанного пространства в выработки выемочного участка и каптированного средствами дегазации за время от начала работы выемочного участка до изоляции его перемычками, м^3 ; l_n и l_{oc} - длины выемочного поля и очистного забоя, м; r_c - радиус влияния скважины (не более 150 м).

Формула (5) эмпирическая, поэтому может применяться при следующих ограничениях

$$1,5 \cdot 10^6 \leq V_{oc} \leq 7,0 \cdot 10^6 \text{ м}^3; \quad 20 \leq B \leq 100 \text{ мм рт.ст}$$

Предлагаемый метод расчета нуждается в экспериментальной проверке. Его можно использовать лишь для ориентировочной оценки ожидаемого дебита скважин. При этом следует иметь в виду, что метан продолжает выделяться из отработанных лав в течение длительного времени после их изоляции. Объем выделившегося при этом метана не может быть учтен, поэтому результаты расчетов будут несколько завышенными. Превышение возрастает с увеличением

времени, прошедшего от изоляции лавы до начала извлечения метана из выработанного пространства скважинами.

Исследования показали, что через год после выемки угля сопротивление путей метана к скважине стабилизируется, закон движения газа близок к ламинарному. Начальный дебит скважины может быть рассчитан по формуле.

$$I_{скв} = 5,2 \cdot 10^{-3} \cdot B^{0,74} \cdot V_{уд}^{0,5}, \text{ м}^3/\text{мин} \quad (9)$$
$$20 \geq V_{уд} \geq 100 \text{ м}^3/\text{м}^2; \quad 25 \leq B \leq 134 \text{ гПа}$$

Если предположить, что начальный дебит скважины сохранится в течение всего срока её работы, то минимальная продолжительность работы скважины равна

$$t_{скв.min} = \frac{V_{скв}}{43,2 \cdot 10^3 \cdot I_{скв}}, \text{ мес.} \quad (10)$$

В действительности скважина будет работать дольше, так как дебит её постепенно уменьшаться.

В качестве примера рассчитали возможные объемы извлечения метана из “старых” выработанных пространств 10-й южной лавы шахты “Краснолиманская” и 2-й южной лавы шахты им. А.Г. Стаханова, для которых имеются все исходные данные и не применялась дегазация скважинами, пробуренными с поверхности. При расчетах принято разрежение в скважине 100 мм рт.ст. и интервал между скважинами 300 м (табл.4).

При цене природного газа не менее 0,32 грн/м³ и стоимости сооружения скважины не более 500 грн/м затраты на извлечение метана из “старых” выработанных пространств шахт “Краснолиманская” и им.А.Г.Стаханова в 1,6-3,7 раз превышают стоимость добытого газа.

Результаты расчетов показывают, что во многих случаях добыча метана из “старых” выработанных пространств путем бурения специальных скважин с поверхности не будет экономически оправдана. Более перспективной, по-видимому, является реанимация скважин, пробуренных для дегазации выемочных участков в процессе очистных работ.

Следует также иметь в виду наличие особых условий, в которых скважины функционируют длительное время и добывают большие количества метана.

Таковыми условиями являются границы выработанных пространств с угольным массивом, вершины антиклинальных и купольных структур.

Так, скважины № 5189 и № 5552, пробуренные на поле 2-й северной лавы пл.Із шахты им. А.Г. Стаханова у границы с угольным массивом продолжают выдавать метан под давлением с дебитом 0,2-0,5 м³/мин в течение пяти лет после прекращения очистных работ.

Скважина № У-4562, пробуренная для дегазации выработанного пространства отработанной 4-й южной лавы пл. І4 шахты “Комсомолец Донбасса”, рас-

положенная в районе демонтажной камеры, работала в течение восьми лет и каптировала 37,4 млн. м³ метана.

Таблица 4 - Расчет ожидаемых объемов извлечения метана из “старых” выработанных пространств

П а р а м е т р ы	“Краснолиманская”	им. А.Г. Стаханова
Объемы метана в части углепородного массива, подверженной влиянию очистных работ, V_3 , млн.м ³	27,2	42,5
Объем метана, выделившегося в выработки, $V_в$, млн.м ³	11,2	6,4
Объем метана, каптированного средствами дегазации, $V_д$, млн.м ³	9,6	18,7
Площадь выемочного поля лавы, тыс. м ²	242	250
Объем метана, оставшегося в массиве, млн. м ³	6,4	17,4
Удельный объем метана, оставшегося в массиве, $V_{уд.}$, м ³ /м ²	26,4	69,6
Объем метана, оставшегося в зоне влияния скважины, $V_{ос}$, млн.м ³	1,87	4,92
Коэффициент извлечения	0,256	0,2
Объем метана, извлекаемого скважиной, $V_{скв.}$, млн.м ³	0,48	0,98
Начальный дебит скважины, м ³ /мин при $B=134$ мм рт..ст	0,80	1,3
Минимальная продолжительность работы скважины, мес.	13,9	17,5

При реализации плана добычи метана из отработанных горизонтов шахты им. А.Ф. Засядько целесообразно начинать с бурения скважин в районе монтажных камер лав, отрабатывающих пласт m_3 . Представляет интерес также реанимация дегазационных скважин, расположенных у границ выработанного пространства с угольным массивом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт, Киев, 1994.
2. Методика определения природной газоносности угольных пластов действующих и строящихся шахт Донбасса, Макеевка, МакНИИ, 1987.
3. Морев А.М., Евсеев И.И. Дегазация сближенных пластов, М, «Недра». 1975.
4. Айруни А.Т. Теория и практика борьбы с рудничными газами на больших глубинах, М. «Недра», 1981.
5. Руководство по дегазации угольных шахт, М. ИГД им А.А.Скочинского, 1990.