

Д-р техн. наук **К.К. Софийский**, канд. техн. наук **Д.П. Силин**,
 канд. техн. наук **Э.И. Мучник**, инж. **Е.Г. Барадудин**,
 асп. **В.Г. Золотин** (ИГТМ НАН Украины),
 канд. техн. наук **Д.М. Житленок** (АО «Дзержинскуголь»),
 канд. техн. наук **А.В. Аксенов** (ОП «Шахта им. Ф.Э. Дзержинского»),
 канд. техн. наук **В.Н. Жмыхов** (ОП «Шахта «Северная»»)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Викладено аналіз основних факторів, що впливають на об'єм газовиділення в процесі гідродинамічної дії на газонасичений вугільний масив.

LAWS OF PROCESS OF GAS ALLOCATION FROM COAL LAYERS AT HYDRODYNAMICAL INFLUENCE

The analysis of major factors is stated which influence volume of allocation of gas during hydrodynamical influence on the coal file, satced with gas.

Известно, что угольные пласты содержат огромные количества сорбированного метана и его гомологов. В настоящее время во многих угледобывающих странах мира большое внимание уделяется вопросам освоения ресурсов метана из угольных пластов, являющегося наиболее доступным, дешевым и экологически чистым видом топлива из нетрадиционных источников горючих газов. В промышленных масштабах добыча метана из угольных пластов налажена в США и организуется во Франции, Польше, Австралии по технологии, разработанной в США. У нас такого промысла еще нет, осуществляется только попутный отбор метана через дегазационные системы для обеспечения безопасной добычи угля.

Угольные пласты Донбасса представляют собой пористую газонасыщенную среду, запасы газа в которой составляют более 20 трил. м³. Содержание метана в углях Донбасса в среднем колеблется от 8 до 25 м³/т. Максимальные значения достигают 100 м³/т добытого угля.

Высокая газонасыщенность угольных пластов создает целый ряд проблем производственного и экологического характера. Разработка таких пластов, залегающих на больших глубинах, связана с высокой опасностью ведения горных работ, обусловленной возможностью внезапных выбросов угля и газа, а также взрывов метана и пожаров.

Предварительное извлечение метана из угольных пластов позволяет снижать выбросо- и взрывоопасность в забоях, повысить нагрузку на забой, решить экологические проблемы, такие как охрана воздушного бассейна. К тому же, в условиях топливного дефицита в Украине может быть существенно пополнен запас экологически чистого топлива.

Одной из проблем извлечения метана из угольных пластов является недостаточно высокая продуктивность дегазационных скважин и снижение концентрации метана за счет подсоса воздуха при применении вакуумного способа его извлечения. Применение гидродинамического воздействия с целью

дегазации пластов позволяет решить проблему повышения дебита метана в дегазационный став.

Многократное повторение рабочих циклов при гидродинамическом воздействии нарушает механическое и газовое равновесие в массиве и создает условия для интенсивного трещинообразования, сопровождающегося значительным повышением скорости газовыделения из скважины, и соответственно, значительным снижением времени дегазации.

Многочисленными данными, полученными авторами при гидродинамическом воздействии на газонасыщенные угольные пласты установлено, что объем выделяющегося из пласта газа на порядок превосходит его количество, выделяющееся с поверхности извлеченного через скважины угля. Очевидно, что величина общей поверхности обнажения дезинтегрированного угля, образующегося при гидродинамическом воздействии на пласт превышает поверхность добытого угля в этой же пропорции.

Расчет поверхности разрушенного угля, находящегося в зоне гидродинамического воздействия производится исходя из следующих соображений.

Объем газа, выделившегося из угля, извлеченного через скважину в выработку равен произведению массы угля на природную газонасыщенность $v_1^y = q\chi$ (м^3), где q - масса добытого угля (т); χ - газонасыщенность угля ($\text{м}^3/\text{т}$).

Этот объем газа выделяется с поверхности добытого угля, равной $S_1 = S_0q$ (м^3), где S_0 - удельная поверхность добытого угля ($\text{м}^2/\text{т}$).

Удельная поверхность рассчитывается по данным ситового состава угля $S_0 = 6/d_{cp}\gamma$, где d_{cp} - средний диаметр частиц разрушенного угля, м ; γ - плотность угля, $\text{т}/\text{м}^3$.

Газ, извлеченный из скважины, выделяется с поверхности обнажения дезинтегрированного угля в зоне воздействия. Допустим, что дезинтегрированный уголь, заполняющий эту зону, имеет ту же удельную поверхность, что и добытый, поэтому $S_2 = S_1v_2^y/v_1^y$ (м^2), где v_2^y - общий объем газа, выделившегося при воздействии (м^3). Подставляя значения S_1 и v_1^y , получаем уравнение для расчета поверхности разрушенного угля, заполняющего участок пласта, подвергающийся гидродинамическому воздействию $S_2 = S_0v_2^y/\chi$ (м^2).

Расчет радиуса зоны дезинтегрированного угля при гидродинамическом воздействии производим, исходя из следующих положений. Объем извлеченного из скважины угля составляет $v_1^y = q/\gamma$. Этому объему соответствует поверхность S_1 . Объем угля, оставшегося в зоне дезинтеграции пласта, составляет ту же пропорцию по отношению к объему извлеченного угля, что и их поверхности обнажения, т.е.

$$\frac{v_1^y}{v_2^y} = \frac{S_1}{S_2},$$

где v_1^y – объем, извлеченного угля, м^3 ; v_2^y – объем дезинтегрированного угля, оставшегося в массиве, м^3 .

Таким образом $v_2^y = v_1^y S_2 / S_1$. Площадь части пласта, занимаемого дезинтегрированным углем, равна его объему, деленному на мощность пласта $S_{\text{пл}} = v_2^y / m$ (м^2). В то же время $S_{\text{пл}} = \pi R_{\text{пл}}^2$ (м^2), где $R_{\text{пл}}$ – радиус зоны пласта, занимаемой дезинтегрированным углем, т.е. $R_{\text{пл}} = \sqrt{v_2^y / \pi m}$ (м).

Был выполнен статистический анализ процессов дегазации угольных пластов при гидродинамическом воздействии на них.

Для анализа были выбраны данные гидродинамического воздействия на угольные пласты шахт Центрального района Донбасса, характеристики которых представляют достаточно широкий спектр свойств и условий залегания, характерных для данного региона, что позволяет объективно оценить особенности процессов дезинтеграции и дегазации угольных пластов, протекающих при гидродинамическом воздействии. Исходные данные и расчетные показатели указанных процессов представлены в табл. 1.

Значительный объем статистических данных, полученных при гидродинамической обработке газонасыщенных пластов перед их вскрытием позволяет определить условия дегазации, а следовательно и возможности повышения эффективности этого процесса.

С точки зрения применения способа гидродинамического воздействия для интенсификации процесса дегазации угольных пластов интерес представляют взаимосвязи объемов извлеченного газа с некоторыми параметрами пласта. Так прослеживается прямая зависимость объема добытого газа с природной газоносностью пласта, изображенная на рис. 1. Коэффициент корреляции, полученный при обработке данных сорока вскрытий угольных пластов составляет 0,58 при надежности 0,999. Учитывая большое число и разнообразие факторов, влияющих на поведение пластов в процессе гидродинамического воздействия, проводимого в шахтных условиях, такую степень корреляции можно считать вполне удовлетворительной.

Важным параметром для осуществления процесса газовыделения является длина дегазационной скважины, т.к. этим обеспечивается наибольшая площадь одновременной дегазации, а следовательно технологическая и экономическая целесообразность применения данного способа. Безусловно, данные вскрытий, при которых длина скважин в силу специфики этого способа менялась в небольших пределах (от 0,3 м до 3 м), не могут служить исходными для моделирования процесса дегазации скважинами длиной до 100 м, однако дают возможность проследить тенденции повышения объемов извлеченного газа при увеличении длины скважин (рис. 2). Ввиду существенного влияния природной газоносности пластов на объем газа, его зависимость от длины скважин были построены для пластов двух групп: первая – пласты с газоносностью 17 – 19 $\text{м}^3/\text{т}$ и вторая – с газоносностью 23 – 27 $\text{м}^3/\text{т}$. И в том и другом случае

Таблица 1 - Параметры дезинтеграции и дегазации угольных пластов при гидродинамическом воздействии

Пласта	Пласт	Газоносность $\chi, \text{м}^3/\text{т}$	Масса добытого угля $q, \text{т}$	Мощность пласта $m, \text{м}$	Объем добытого угля $V_1, \text{м}^3$	Объем добытого газа $V_2, \text{тыс. м}^3$	Внешняя удельная поверхность добытого угля $S_1 \cdot 10^4, \text{м}^2/\text{т}$	Общая поверхность добытого угля, $S_1 \cdot 10^5, \text{м}^2$	Объем газа выдвинутого с добытого угля $V_3, \text{м}^3$	Общая поверхность обожжения дезинтегрированного угля $S_2 \cdot 10^6, \text{м}^2$	Радиус зоны дезинтегрированного угля $R, \text{м}$	Объем дезинтегрированного угля $V_4, \text{м}^3$	Коэффициент извлечения угля, %
«Кочегарка»	k_5 - «Подняток»	15	14,0	1,30	10,0	2,7	0,80	1,2	210	1,5	5,5	125,0	8,0
		15	17,5	1,30	12,5	3,5	0,80	1,4	262	1,9	6,4	170,5	7,2
	l_1 - «Девятка»	20	7,5	1,60	5,4	3,9	0,80	0,6	150	1,6	5,3	144,0	3,8
		25	14,0	1,65	10,0	6,5	2,10	2,9	350	5,4	6,0	186,2	5,4
им. Гаворова	m_3 - «Толстый»	25	13,0	1,50	9,3	11,2	2,10	2,7	325	9,4	8,3	324,5	5,0
		25	10,5	1,30	7,5	5	2,10	2,2	262	4,2	5,9	143,1	5,3
	k_6 - «Анатольевский»	21	15,0	1,75	10,7	4	0,75	1,1	315	1,4	5,0	137,4	7,8
		17	21,0	1,27	15,0	5,4	0,80	1,8	357	2,7	7,5	224,3	6,7
k_7 - «Юльевский»	18	30,0	1,25	21,4	5	0,90	2,7	540	2,5	7,1	198,0	10,8	
	21	13,0	1,81	9,3	4,6	1,95	2,5	273	4,3	5,2	159,6	5,8	
	21	19,0	2,52	13,6	4,2	1,90	3,6	399	3,8	4,2	143,0	9,7	
l_3 - «Мазурка»	27	57,0	2,80	40,7	8,8	1,90	10,8	1539	15,5	8,2	591,0	17,6	
	18	25,0	3,10	17,8	6	1,90	4,8	450	4,8	4,8	233,7	7,6	
l_4 - «Девятка»	18	95,0	3,00	67,8	8	1,90	18,0	1710	1710	5,8	317,0	21,0	
	15	35,0	1,12	25,0	6300	2,10	7,4	525	525	8,8	297,7	8,4	
	15	24,0	0,86	17,0	6500	2,10	5,2	360	360	9,1 · 10 ⁶	10,6	309,1	5,5

Шахта	Пласт	Газоносность $K, \text{ м}^3/\text{т}$	Масса добытого угля $q, \text{ т}$	Мощность пласта $m, \text{ м}$	Объем добытого угля $V, \text{ м}^3$	Объем добытого газа $V_g, \text{ тыс. м}^3$	Внешняя дельтовая поверхность добытого угля $S_0, 10^4, \text{ м}^2/\text{т}$	Общая поверхность добытого угля, $S, 10^3, \text{ м}^2$	Объем газа выделенного с добытого угля $V', \text{ м}^3$	Общая поверхность обожжения дезинтегрированного угля $S_2, 10^6, \text{ м}^2$	Радиус зоны дезинтегрированного угля $R, \text{ м}$	Объем дезинтегрированного угля $V_d, \text{ м}^3$	Коэффициент извлечения угля, %
«Континентская»	K_5 – «Пята»	12	15,0	1,10	10,7	3,5	1,8	2,7	180	5,2	7,7	204,8	5,2
		21	20,0	1,15	14,3	5,8	1,8	3,6	450	5,0	7,4	197,7	7,2
		21	10,0	1,15	7,1	6	1,8	1,8	210	5,1	7,4	200,1	3,5
«Онком»	I_1 – «Мазур»	20	14,0	1,20	10,0	2500	1,75	1,7	280	2,6	6,3	152,9	9,8
		25	30,0	1,05	21,4	7700	1,5	4,5	750	5,5	8,9	261,5	8,2
		20	39,0	1,20	27,8	7000	1,25	4,9	780	4,4	8,1	247,2	11,2
им. Липкина	I_1 – «Мазур»	21	39,0	1,20	27,8	7000	1,75	6,8	819	5,8	8,1	247,2	11,8
		15	5,0	0,38	3,6	3200	1,8	0,9	75	3,8	11,2	152,0	2,3
		22	17,0	1,08	12,1	6000	2,0	3,46	374	5,4	7,5	191,0	6,3
им. Ар-Тсма	I_7 – «Пугачевка»	23	13,0	0,79	9,3	7500	2,0	2,6	299	6,5	9,7	232,5	3,4

прослеживается повышение объемов газовыделения с увеличением длины скважины. Значения объемов извлеченного газа соответствующие одной и той же длине скважины для пластов с газоносностью от 23 до 27 м³/т примерно в два раза превышают аналогичные величины для пластов, газоносность которых составляет от 17 до 19 м³/т. Прямые, отражающие взаимосвязь объема извлеченного газа и длины скважины в пределах от 0,3 до 3 м параллельны. Оба показателя связаны достаточно удовлетворительной корреляционной связью: коэффициент корреляции составляет 0,60 при надежности 0,999.

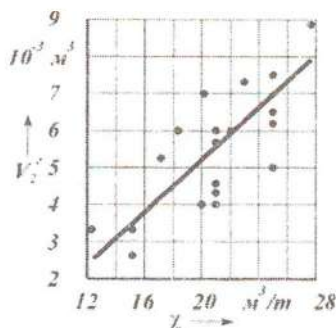
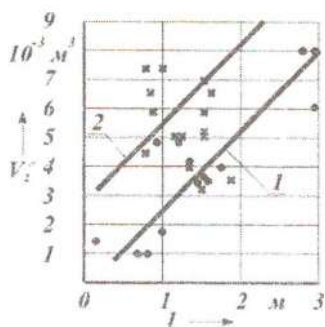


Рис. 1 – Зависимость объема извлеченного газа от природной газоносности



1 – газоносность 17 – 19 м³/т;
2 – газоносность 23 – 27 м³/т

Рис.2 – Зависимость объема извлеченного газа от длины скважины по углю

Тесная корреляционная связь объема извлекаемого газа с общей поверхностью обнажения (коэффициент корреляции $r = 0,79$ при надежности 0,999) является вполне логичной (рис. 3), так как метан содержится в виде слоя адсорбированного на поверхности угольного вещества, а также заполняет его весьма развитую поровую структуру. Разрушение этой структуры вследствие гидродинамического воздействия и образование обширной поверхности обнажения вызывает процессы бурной десорбции газа с поверхности угля, а также выход его из закрытых ранее пор. Поэтому наличие взаимосвязи между объемом извлеченного газа и величиной поверхности обнажения вполне естественно.

Менее ожидаемой оказалась взаимосвязь общей площади обнажения дезинтегрированного при гидродинамическом воздействии угля с массой извлеченного из скважины угля (рис. 4). Зависимость описывается уравнением $S_2 = (0,21q - 0,1) \cdot 10^6$ (м²). Коэффициент корреляции составляет 0,61 при надежности 0,999.

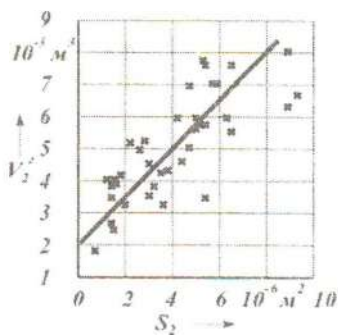


Рис. 3 – Зависимость объема извлеченного газа от общей поверхности обнажения угольного пласта

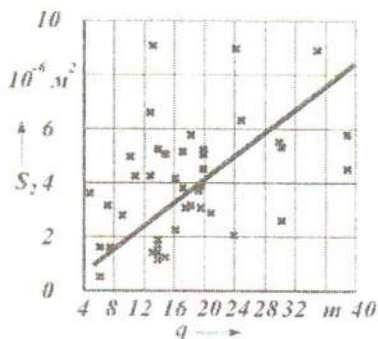


Рис. 4 – Зависимость общей поверхности дезинтегрированного угля от массы угля, извлеченного из скважины

Аналогичная взаимосвязь наблюдается между массой извлеченного из пласта угля и объемом добытого газа (рис. 5). Эта взаимосвязь вполне предсказуема, т.к. уже была установлена зависимость объема добытого газа от величины поверхности обнажения угля. Зависимость объема добытого газа от массы извлеченного из пласта угля при гидродинамическом воздействии описывается уравнением

$$v_2^2 = (0,33q - 0,48) \cdot 10^3.$$

Коэффициент корреляции составляет 0,56 при надежности 0,999. Таким образом, очевидно, что масса извлеченного из пласта угля позволяет прогнозировать, а также определять в ходе проведения процесса гидродинамического воздействия объемы добываемого газа.

Более тесная корреляционная связь наблюдается между общим объемом извлеченного газа и объемом газа, выделившегося с извлеченного угля, так как в данном случае разброс данных уменьшается за счет учета газонасыщенности пластов (рис. 6). Коэффициент корреляции при этом составляет 0,76 при надежности 0,999.

И, наконец, объем извлеченного из массива газа зависит от объема дезинтегрированного при гидродинамическом воздействии угля внутри массива (рис. 7). Коэффициент корреляции этой взаимосвязи достаточно высок и составляет 0,82 при надежности 0,999.

При гидродинамическом воздействии на выбросоопасные газонасыщенные пласты объем извлеченного из угольного массива газа составлял для разных пластов и условий воздействия от 1500 м³ до 11200 м³.

Таким образом, очевидно, что применение гидродинамического воздействия на газонасыщенные пласты весьма эффективно.

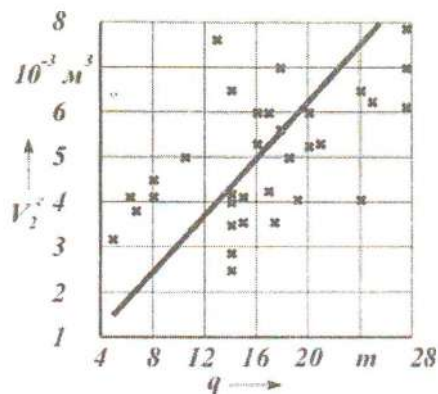


Рис. 5 – Зависимость объема извлеченного газа от массы извлеченного из пласта угля

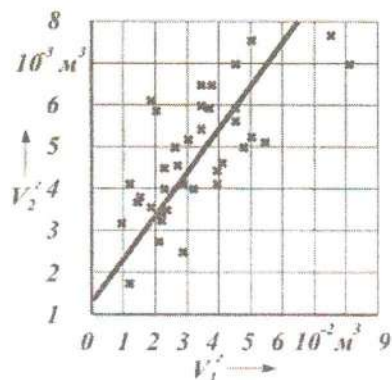


Рис. 6 – Зависимость общего объема выделившегося газа от объема газа, выделившегося с извлеченного угля

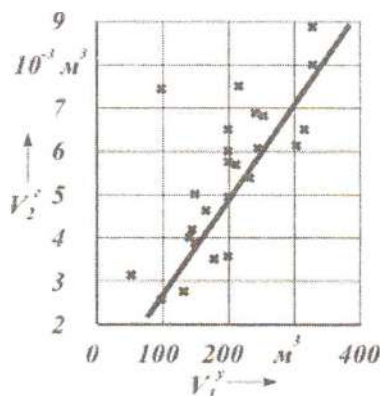


Рис. 7 – Зависимость объема извлеченного газа от объема дезинтегрированного угля

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф. О фундаментальных проблемах разработки угольных месторождений Украины. // Уголь Украины. – 1997. - №1. – С. 14 - 17.
2. Софийский К.К., Калфакчян А.П., Воробьев Е.А. Нетрадиционные способы предотвращения выбросов и добычи угля. – М.: Недр. 1994. – 192 с.