

О ПРИЧИНАХ УМЕНЬШЕНИЯ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ ПЛАСТА ПРИ ВЫСОКИХ СКОРОСТЯХ ПОДВИГАНИЯ ЗАБОЯ

В журнале «Уголь» №7 за 2010 год опубликована статья «Особенности метановыделения в высоконагруженных очистных забоях» [8], авторы которой доктора техн. наук М.А. Ильяшов, А.В. Агафонов, канд. техн. наук В.Н. Кочерга и инж. А.А. Бондарь приводят данные об особенностях метановыделения в 1 северной лаве блока №3 шахты «Красноармейская-Западная №1». Ниже приводятся данные, свидетельствующие о том, что так называемые «особенности» являются физическими закономерностями.

В настоящее время расчеты метановыделения в очистные выработки осуществляются согласно «Руководства по проектированию вентиляции угольных шахт» [1] по эмпирическим формулам, которые были получены для скоростей подвигания забоя, характерных для нагрузок на очистной забой не более 2000 т/сут. Для высокогазоносных пластов коэффициент эффективности дегазации более 70% при современной технологии считался невозможным, а потому невозможны и более высокие нагрузки.

Исходя из того, что метан в горном массиве находится в основном в свободном состоянии, метановыделение связывалось с фильтрационными процессами, скорость которых даже для слабопроницаемых пород до 10 м/сут.[2].

Однако, как показано в работах ИФГП НАН Украины [3-6], свободный метан составляет лишь около 30% общего его содержания в угле и выделяется в первые секунды. Большая же часть метана в угольном пласте находится в физически- и химически связанном состоянии в микроблоках угля (в виде твердого раствора), а процесс метановыделения связан с твердотельной диффузией. Коэффициент твердотельной диффузии составляет $(10^{-14} - 10^{-16})$ м/с, поэтому даже для измельченного угля процесс выхода метана растягивается на десятки суток, а наступление термодинамического равновесия наступает спустя месяц. Выделение метана из груди забоя по механизму твердотельной диффузии происходит гораздо медленнее, чем скорости подвигания забоя, достигнутые в 1-й северной лаве блока №3 шахты «Красноармейская – Западная №1», поэтому отмеченное уменьшение метановыделения из угольного пласта является вполне закономерным. В работе [7] приведены данные о газовыделении из угольных пластов на шахтах Австралии и Германии при скоростях подвигания забоя в пределах от 1 до 25 м/сут. Согласно приведенным данным, с ростом скорости подвигания лавы степень дегазации пласта (газовыделение) значительно снижается (до 7 раз), а остаточная газоносность возрастает. Функция регрессии для дегазации (газовыделения) из подрабатываемого угольного пласта имеет вид:

$$D(V_{O_2}) = 2,86 \ln^2(V_{O_2} - 2) - 0,53 \ln(V_{O_2} - 2) + 3,9 ;$$

С увеличением скорости подвигания забоя возрастает также неравномерность газоаіделения.

Метановыделение в выработанное пространство из пластов-спутников и вмещающих пород практически не зависит от скорости подвигания забоя, поскольку время метановыделения (до наступления термодинамического равновесия) не ограничено.

С другой стороны, выводы, полученные в [8], являются не совсем корректными, поскольку получены по одной лаве и, всего лишь, по четырем точкам.

Ниже приведены данные об изменении газообильности участков, метановыделения из пласта и количества капируемого метана в зависимости от нагрузки на очистной забой (что равносильно зависимости от скорости подвигания) и от глубины ведения работ

шахты «Красноармейская-Западная №1». Данные приведены отдельно для южной и северной части отработанных запасов, а также для западного (блоки 2-3) и восточного крыла купола (блоки 4-10), поскольку мощность пласта, его тектоническая нарушенность и условия залегания в выделенных блоках существенно отличаются. (рис.1). На рис.2 линиями 1-1 и 2-2 показана схема изучения зависимости метанообильности выемочных участков от глубины разработки.

В таблице 1 приведены данные о средней метанообильности по лавам, лежащих на этих линиях.

Как показано на рис.3, общая метанообильность участков и на южном, и на северном крыльях с ростом добычи возрастают, причем закономерность практически одна и та же. Коэффициент корреляции очень высокий, что свидетельствует о практически функциональной зависимости метанообильности от величины суточной добычи (или суточного подвигания лавы).

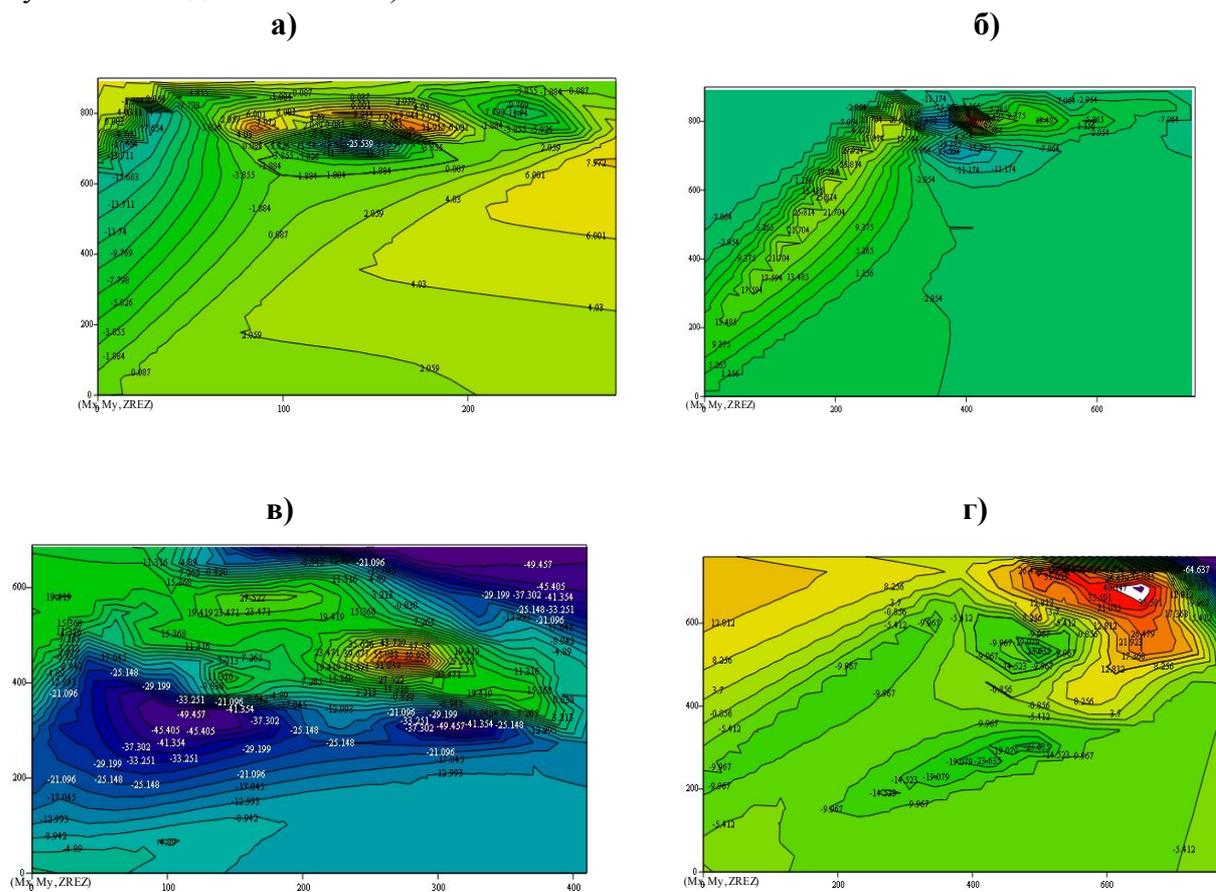


Рисунок 1 – Карты локальных структур
 а) блок №2; б) блок №3; в) блоки №4-8; г) блок №10

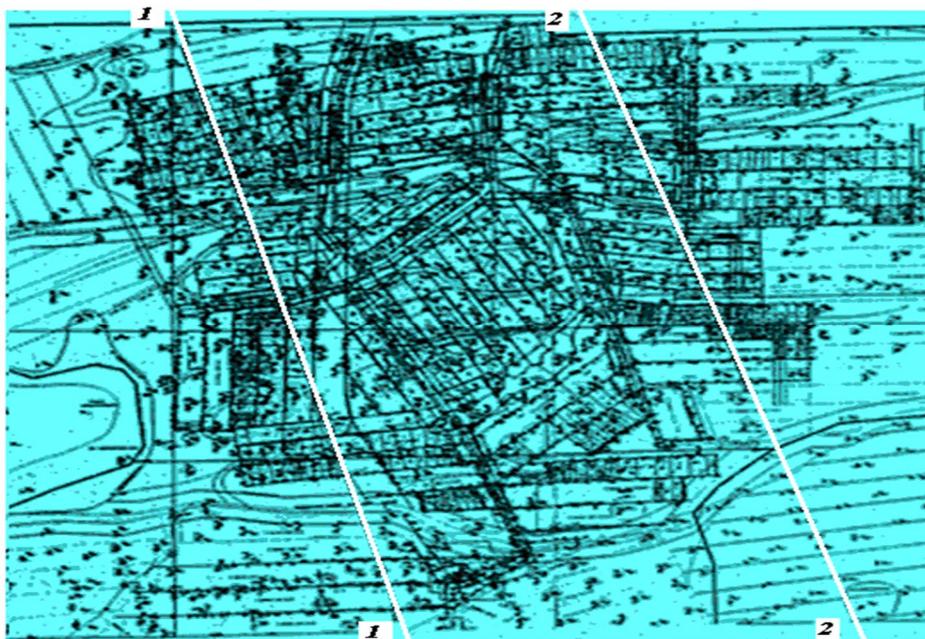


Рисунок 2 - Выкопировка из плана горных пород пласта d₄

Таблица 1

Данные о метановыделении на выемочных участках

Наименование лавы	Глубина расположения транспортного штрека, м	Газообильность участка, м ³ /итн.	Газовыделение из пласта, м ³ /мин..	Количество каптированного газа, м ³ /мин..	Нагрузка на очистной забой, т/сут.	Механизация
Южное крыло						
5-я южная лава блока 2	590	17,93	3,72	11,2	3255	ЗКД-90Т, 2РКУ-13, СПЦ-230.11
4-я южная лава блока 2	578	20,67	3,81	8,5	3155	ЗКД-90Т, 2РКУ-13, СПЦ-230.05
3-я южная лава блока 2	513	11,83	3,02	10,6	3418	ЗКД-90Т, 2РКУ-13, СПЦ-230.07

Продолжение таблицы 1

Наименование лавы	Глубина расположения транспортного штрека, м	Газообильность участка, м ³ /итн.	Газовыделение из пласта, м ³ /мин..	Количество каптированного газа, м ³ /мин..	Нагрузка на очистной забой, т/сут.	Механизация
4-я южная лава блока 4	513	12,58	2,49	3,5	1415	2КМТ, 2РКУ-13, СПЦ-230.11
3-я южная лава блока 4	530	11,34	2,38	3,05	1376	2КМТ, 2РКУ-13, СПЦ-230.11
2-я южная лава блока 4	545	11,54	2,59	2,75	1350	2КМТ, 2РКУ-13, СПЦ-230.11
1-я южная лава блока 4	566,4	11,58	2,19	3,25	1465	2КМТ, 2РКУ-13,

Разгрузочная лава	590,1	9,2	2,83	2,47	987	СПЦ-230.11 2КМТ, 2РКУ-13, СПЦ-230.11
5-я южная лава блока 6	659,8	13,62	3,78	7,9	3693	3КД-90Т, 2РКУ-13, СЗК-228/732
Южная коренная лава гор. 708м	685,2	10,2	3,12	2,07	1907	2КМТ, 2РКУ-13, СП-67М
1-я лава южной панели блока 8	708,2	12,74	4,19	4,93	2190	3КД-90Т, 2РКУ-13, СПЦ-230.05
2-я лава южной панели блока 8	730	25,45	3,72	7,5	2568	МВРО-2800, 2РКУ-13, СПЦ-230.05
4-я южная лава блока 10	815,3	22,9	5,35	8,3	3100	МКЮ09/23, JOY, JOY.
Северное крыло						
5-я южная лава блока 3	637	21,49	3,1	10,9	3489	3КД-90Т, 2РКУ-13, СПЦ-230.03.05
4-я южная лава блока 3	630	25,78	3,75	11,5	3737	3КД-90Т, 2РКУ-13, СПЦ-230.05
3-я южная лава блока 3	580	23,14	3,92	10,6	3365	3КД-90Т, МВ-12, СЗК-228/732
2-я южная лава блока 3	570	20,48	2,34	6,07	3050	МВРО-2800, МВ-12, СЗК-228/732
1-я южная лава блока 3	550	12,58	2,49	3,5	1415	3КД-90Т, 2РКУ-13, СПЦ-230.05
3-я южная лава бр-га блока 5	509	20,81	2,85	12,5	3725	3КД-90Т, МВ-450Е, СЗК-228/800

Продолжение таблицы 1

Наименование лавы	Глубина расположения транспортного штрека, м	Газообильность участка, м ³ /итн.	Газовыделение из пласта, м ³ /мин..	Количество капированного газа, м ³ /мин..	Нагрузка на очистной забой, т/сут.	Механизация
2-я южная лава бр-га блока 5	522	17,06	2,6	11,5	2618	3КД-90Т, 2РКУ-13, СЗК-228/800
1-я южная лава бр-га блока 5	560	17,96	2,78	12,4	2735	3КД-90Т, МВ-450Е, СЗК-228/800
1-я южная лава уклонного поля блока 5	617	8,7	1,7	4,7	820	Глінік, ГШ-200, СП-250
2-я южная лава уклонного поля блока 5	664	11,2	2,1	5,9	987	ДМ, 1К-101УД, СП-250
3-я южная лава						Глінік,

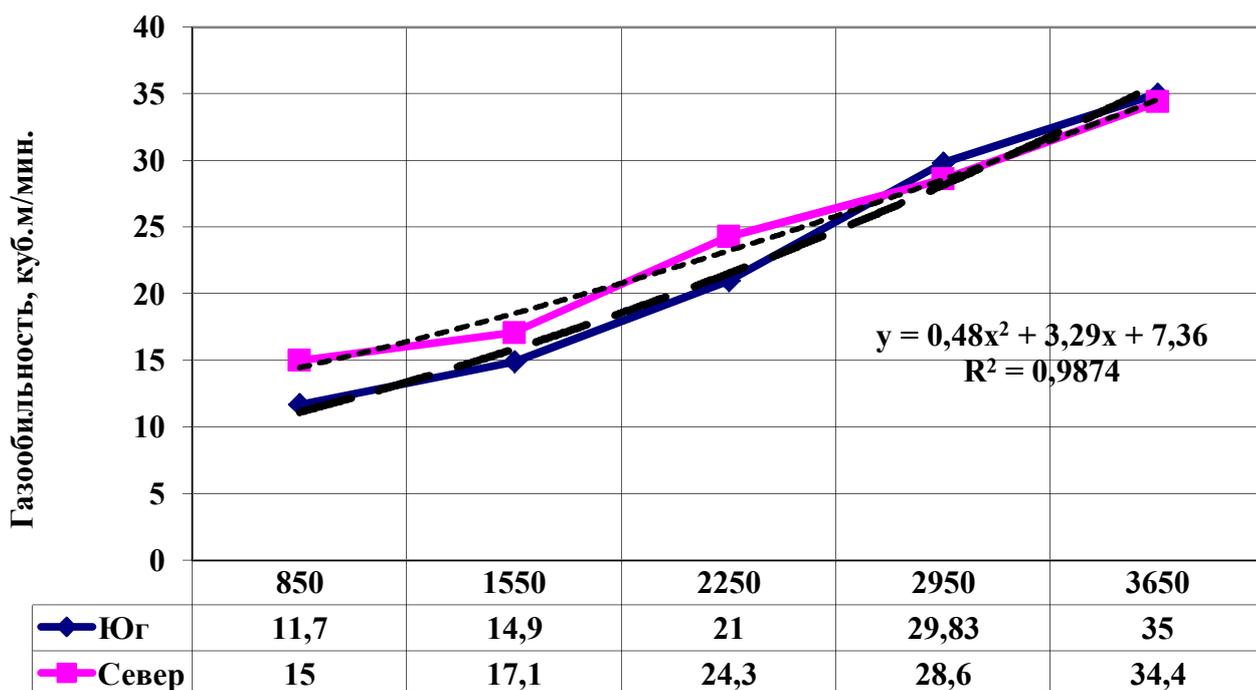
уклонного поля блока 5	674	10,91	1,9	6,1	1408	ГШ-200, СП-250
4-я южная лава уклонного поля блока 5	698	14,4	2,2	9,9	2258	ДМ, 1К-101УД, СП-250
1-я южная лава ЦП блока 8	693	12,36	1,7	5,9	1355	ДМ, УКД-200/250 СП-251
2-я южная лава ЦП блока 8	704,3	9,33	1,14	2,72	500	МVPO-3200X, 1К-101УД, СП-251
3-я южная лава ЦП блока 8	706	33,24	2,72	11,83	2058	ДВТ, РНН-42
4-я южная лава ЦП блока 8	719	28,69	2,83	6,8	4000	ДВТ, РНН-42

Необходимо отметить, что исходные данные проверены на однородность для выявления аномальных (явно выделяющихся) результатов, а также для определения возможности объединения двух совокупностей данных (по южному и северному крыльям) в одну. Для выявления аномальных значений результата произведено группирование всех данных по факторному признаку (по суточной нагрузке). Полученная длина интервала составила:

$$\ell_x = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{1 + 3,2 \lg n} = 700 \text{ т/сут.}$$

На графиках рис.3 и 4 приведены средние значения этих интервалов.

На рис.4 приведены данные по зависимости метановыделения из пласта от суточной нагрузки на забой. При учете всех данных без проверки на однородность графики для северного и южного крыла существенно отличаются. Если для северного крыла зависимость метановыделения от нагрузки на забой привычная (чем больше нагрузка, тем больше метановыделение), то для южного крыла наблюдается ряд экстремумов. Кривая для южного крыла хорошо описывается полиномом четвертой степени при коэффициенте корреляции равном 1 (функциональная зависимость). Можно предположить, что при увеличении нагрузки на очистной забой с 850 т/сут.



Среднесуточная добыча, т/сут.

Рисунок 3 – Диаграмма зависимости газообильности выемочных участков от суточной добычи для шахты «Красноармейская-Западная №1»

до 1550 т/сут. наблюдается уменьшение газовыделения из пласта, затем метановыделение снова начинает возрастать, а при нагрузках свыше 3000 т/сут. снова начинает уменьшаться.

Проверка данных на однородность показывает, что все данные относятся к одной совокупности. Вместе с тем, в северном крыле метановыделение из пласта заметно ниже, чем в южном, а в южном крыле аномально высокие значения фиксировались в блоках № 2, 8 и 10, что может быть обусловлено влиянием иных факторов: близостью крупных тектонических разрывов, глубиной и пр.

На рис. 5 и 6 представлены данные зависимости метановыделения в очистных забоях от глубины. Общее метановыделение на участках с ростом глубины закономерно возрастает, однако по-разному на восточном и западном склоне купола, и в северном и южном крыльях восточного склона. В блоках № 2 и 3 (западный склон купола) газообильность очень быстро растет с глубиной и, несмотря на то, что глубина не превышает 650 м, абсолютная газообильность достигает 35 м³/мин. На восточном склоне газообильность растет менее интенсивно, однако разница между северным и южным крылом достигает 15 м³/мин., причем в северном крыле газообильность больше. Складывается впечатление, что приближение песчаника к пласту в блоке №5 и в центральной панели блока №8 существенно влияет на газообильность участков. Подтверждением тому являются данные о метановыделении из пласта. С глубины 625 м выделение газа из пласта в блоках 5 и 8 уменьшается.

Объединяя все данные, в силу их однородности, в одну совокупность получаем несколько иную зависимость газовыделения из пласта от суточной нагрузки (рис.7). Минимум при 1550 т//сут., обусловленный влиянием малой глубины в блоке №4, исчез, однако тенденция к уменьшению метановыделения из пласта при нагрузках на лаву свыше 3000 т/сут. осталась.

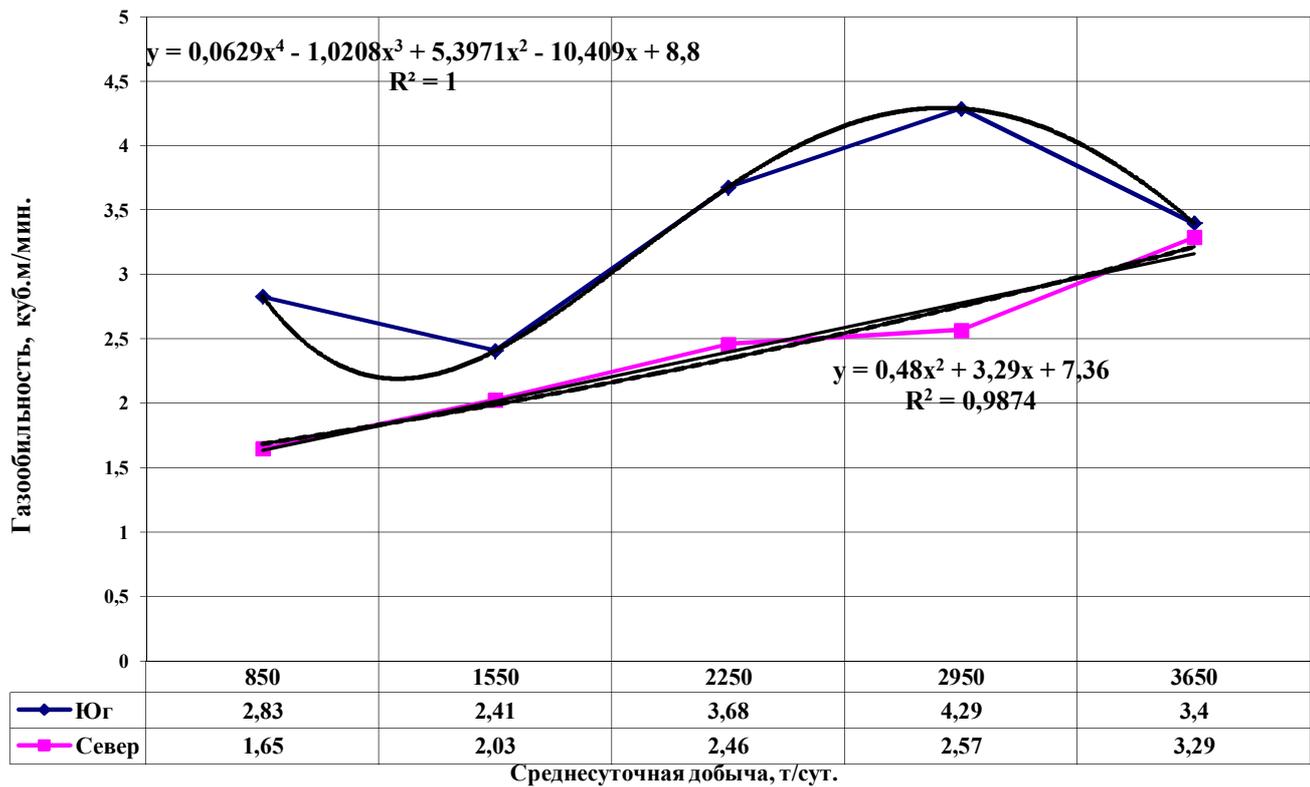


Рисунок 4 – Зависимость метановыделения из пласта от суточной добычи лавы

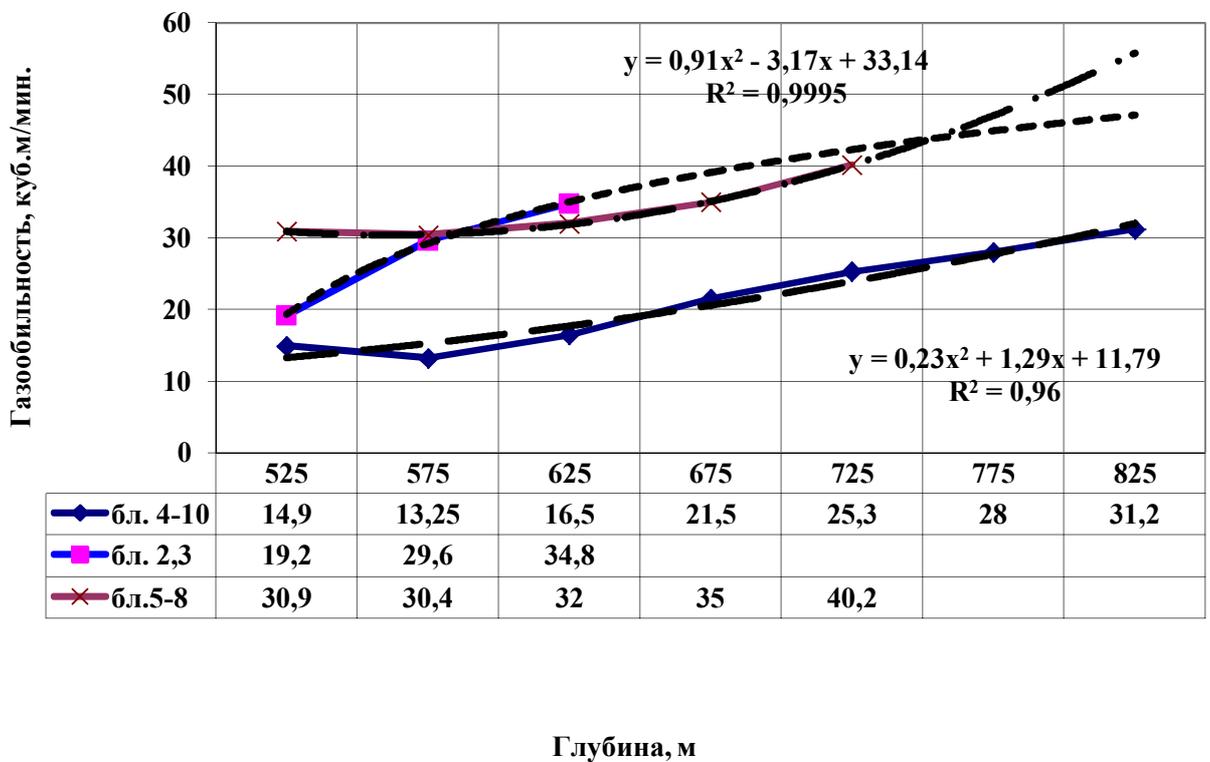


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости газообильности выемочных участков от глубины разработки

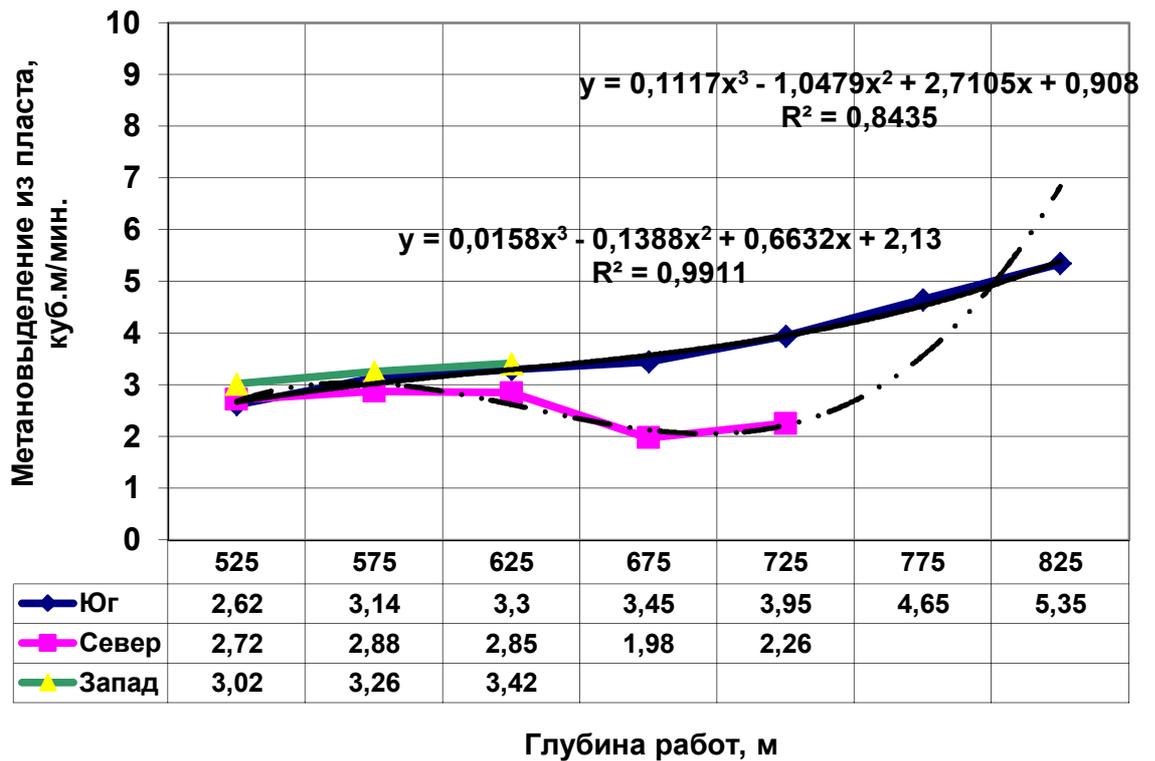


Рисунок 6 – Зависимость метановыделения из пласта от глубины ведения работ

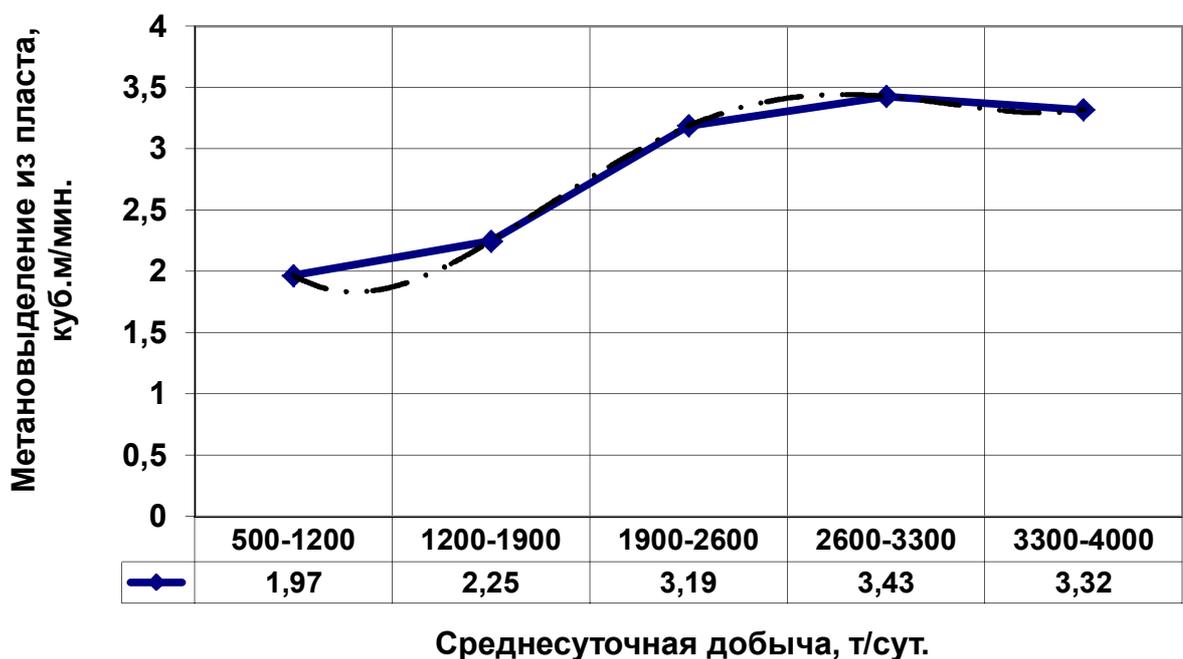


Рисунок 7 – Зависимость метановыделения из пласта от величины нагрузки на очистной забой для всей совокупности данных

Приведенные результаты можно считать достоверными, поскольку получены практически по всей совокупности лав. Коэффициент корреляции равный 1 свидетельствует о почти функциональной зависимости, поэтому вывод о снижении метановыделения из пласта при больших скоростях подвигания (при нагрузках на очистной забой более 3000 т/сут.) следует считать закономерным фактом, который

обусловлен превышением скорости подвигания забоя над скоростью метановыделения. Для южного крыла шахтного поля это снижение превышает 20%.

Вместе с тем, отсутствие такой выраженной зависимости для северного крыла свидетельствует о существенном влиянии на процесс метановыделения горно-геологических условий. Как показано в [9], относительная метанообильность изменяется волнообразно по длине разрабатываемого выемочного столба. При отходе от разрезной печи с увеличением объема выработанного пространства расстояние между максимумами метановыделения увеличивается. Учитывая, что для разных условий вид зависимости и коэффициенты корреляции оказываются разными, устанавливаемые закономерности нельзя считать детерминированными, то есть уравнения нельзя применять в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических параметров.

В этой связи, установление зависимости параметров метановыделения при неравномерном движении очистного забоя в широком диапазоне горно-геологических и горно-технических условий, является актуальной научно-практической задачей.

Литература:

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Киев: Основа, 1994.- 311с.
2. Рязанцев Н.А., Носач А.К. Физика горных пород и процессов в вопросах и ответах. Учебн.пособие. Красноармейск: КФ ДонГТУ, 1999.- 174с.
3. Василенко Т.А., Алексеев А.Д., Фельдман Э.П., Калугина Н.А., Молчанов А.Н. Массоперенос метана в угле, обусловленный совместной фильтрацией и диффузией. Физика и техника высоких давлений.- 2004.-Т.14, №3.- С.107-118.
4. Алексеев А.Д., Васильковский В.А., Калугина Н.А. Кинетика и механизмы десорбции метана из угля. Физико-технические проблемы горного производства.- Донецк, 2005.- Вып.8. -С.1-21.
5. Васильковский В.А., Калугина Н.А., Молчанов А.Н. Фазовые состояния и механизмы десорбции метана из угля. Физико-технические проблемы горного производства.- Донецк, 2006.- Вып.9. -С.62-70.
6. Алексеев А.Д., Васильковский В.А., Шажко Я.В. О распределении метана в каменном угле. Физико-технические проблемы горного производства.- Донецк, 2007.- Вып.10.- С.29-38.
7. Круковская В.В. Влияние скорости подвигания лавы на параметры фильтрации в подработанном углепородном массиве. /Межвед.сб.трудов ИГТМ НАН Украины.- Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2007.-С.84-92
8. Ильяшов М.А., Агафонов А.В., Кочерга В.А., Бондарь А.А. Особенности метановыделения в высоконагруженных очистных забоях. //Уголь, 2010.-№7.-С.24-26.
9. Фрянов В.Н., Павлова Л.Д., Ногих С.Р. Влияние скорости подвигания очистного забоя на характер проявления геомеханических и газодинамических процессов. //Сб.трудов XII междунар.конф. «Нетрадиционные и интенсивные технологии разработки месторождений полезных ископаемых».- Новокузнецк: СГИУ, 2007.- С.17-20.