

2. Это различие увеличивается с ростом темпа добычи угля. При добыче до 500 т/сут дебиты практически совпадают. С увеличением нагрузки до 4000 т/сут и более фактический дебит составляет около 30% от расчетного.

3. При увеличении среднесуточной добычи с 470 до 4180 т/сут удельный дебит метана на очистном участке уменьшается в 3 раза.

Было выполнено математическое моделирование геомеханических и фильтрационных процессов в слоистом газонасыщенном углепородном массиве, вмещающем выработки очистного участка, и теоретическое обоснование полученных экспериментальных данных [3].

Показано, что при разрушении углепородного массива в кровле лавы, которая движется со скоростью, превышающей 3-6 м/сут, происходит увеличение длины породной консоли, нависающей над выработанным пространством. Это приводит к замедлению процесса трещинообразования в породах кровли, увеличению крупноблочности разрушения, уменьшению размеров области фильтрации вблизи очистного забоя и значений коэффициентов проницаемости внутри нее. Уменьшение проницаемости, в свою очередь, вызывает замедление как процессов десорбции из подрабатываемых газоносных песчаников и угольных пропластков, так и фильтрации метана из источников метановыделения в очистной забой.

Таким образом, установлено явление снижения удельного дебита метана в очистную выработку из углепородной толщи с возрастанием нагрузки на лаву при отработке пологих угольных пластов, заключающееся в том, что при увеличении скорости подвигания фронта очистных работ замедляются процессы десорбции метана и фильтрации его в атмосферу очистной выработки, что обусловлено замедлением трещинообразования в углепородной толще, уменьшением размеров области фильтрации и проницаемости внутри нее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – К.: Основа, 1994. – 312 с.
2. Руководство по производству депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах. – М.: Недра, 1975. – 96 с.
3. Ильяшов М.А. Метанообильность очистных выработок при интенсивной разработке пологих угольных пластов / М.А. Ильяшов, А.В. Агафонов, В.Н. Кочерга, А.А. Боднар, С.И. Скипочка, В.В. Круковская // Геотехническая механика: Сб. научн. тр./НАН Украины ИГТМ. – Днепропетровск, 2009. – № 83. – С.14-25.

УДК 622.45.

Инж. А.Б. Бокий
(ДонНТУ)

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ УГЛЕДОБЫЧИ НА ДЕБИТ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ОЧИСТНУЮ ВЫРАБОТКУ

Встановлена залежність виділення метану від навантаження на очисний вибій та зроблений висновок про скорочення емісії в атмосферу парникових газів при підвищенні видобутку вугілля.

INFLUENCE OF LEVEL OF THE COAL MINING ON THE FLOW RATE OF HOTBED GASES IN A COAL FACE

The dependence of methane emission from a load on a stope is established. The conclusion about issue the cutback of emission in the atmosphere of hotbed gases is made.

При подземной разработке угольных месторождений парниковые газы поступают в атмосферу несколькими путями. Основная их часть содержится в выдаваемых на-гора потоках воздуха, горной массы и воды, некоторое количество забирают системы дегазации, частично газы проникают на поверхность через толщу подработанных пород.

Автором была поставлена задача исследования особенностей выделения метана в очистные горные выработки для обоснования возможных путей сокращения выноса парниковых газов в атмосферу с вентиляционными воздушными потоками.

В качестве объекта исследований были приняты одни из самых газообильных в Украине очистные выработки на пластах l_1 и m_3 шахты им. А.Ф.Засядько. Газоносность угольных пластов на шахте составляет от 19 до 23 м³/т. Общие запасы газа в месторождении оцениваются величиной 17,6 млрд. м³, при этом в угольных пластах сосредоточено 3,9 млрд. м³; пластах-спутниках – 0,8 млрд. м³; песчаниках – 12,9 млрд. м³.

Принимая во внимание крайне нестабильный режим работы выемочных участков, связанный с различного рода остановками работ по техническим, организационным и другим причинам, к анализу принимали среднесуточные в течение месяца показатели добычи угля (A , тыс. т/сут.). Это позволяло, с одной стороны, нивелировать остановки и рывки в работе очистного забоя, с другой – обеспечить надежность и достоверность показателей в течение сравнительно небольшого промежутка времени. Таким же образом подходили к оценке выделения газа в очистную выработку (I , м³/мин) и расхода воздуха на вентиляционном участке (Q , тыс. м³/мин). Использовали среднесуточные в течение месяца показатели содержания метана в «окне» лавы. Для решения экологических проблем такой подход к оценке количества поступающих в вентиляционную сеть парниковых газов представляется вполне приемлемым.

В качестве иллюстрации исходных данных приведены графические показатели работы 9-й западной лавы по пласту l_1 (рис. 1).

Анализ оценки взаимосвязи нагрузок на принятые к анализу очистные забои и соответствующих им выделений метана в лаву (табл. 1) позволил сделать несколько следующих выводов.

В двух третях выборок установлена надежная связь между производительностью и метановыделением, при этом коэффициент тесноты связи составлял от 0,67 до 0,98, что для шахтных наблюдений является очень высоким показателем. Оценка статистических показателей экспериментальных данных подтвердила достаточное качество полученных результатов и свидетельствует о хорошем уровне методологии эксперимента.

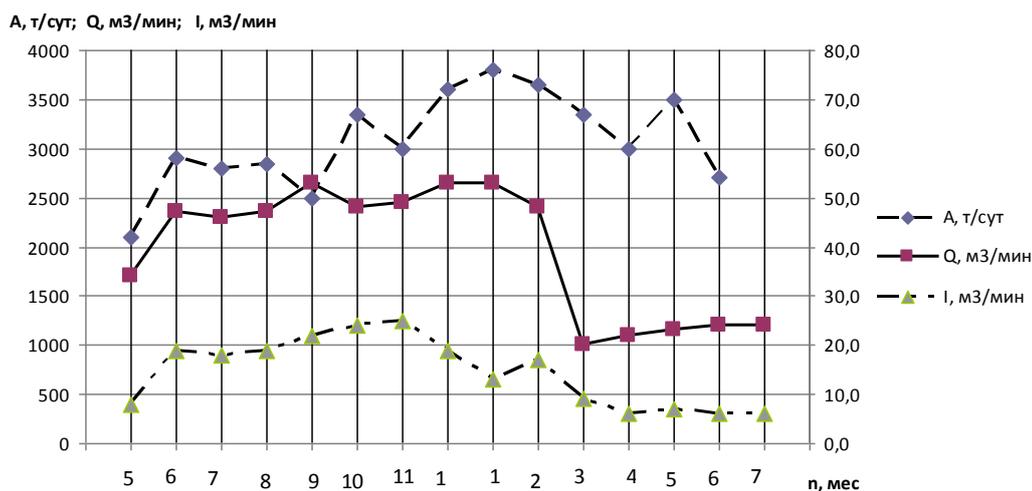


Рис. 1 – Динамика показателей работы 9-й западной лавы пласта l_1

Установлен зональный характер связи между производительностью забоев и метановыделением. Для диапазона суточной производительности менее 2500...3500 тонн наблюдали увеличение выделения метана с ростом нагрузки на очистной забой. Интервал дебита газа изменялся от 4...8 м³/сут., при производительности 200...1500 т/сут., до, соответственно, 8...18 м³/мин, при добыче 1200...3500 т/сут.

При уровне добычи более 2500...3500 т/сут. наблюдали снижение выделения метана при увеличении производительности. Дебит газа уменьшался от 15...13 м³/мин при производительности лав 2400...3000 т/сут. до 5...7 м³/мин при 2800...4000 т/сут. соответственно. Сокращение выделения метана в очистную выработку достигало 50 % и более.

В том случае, когда производительность очистного забоя варьировалась в диапазоне, включающем как зону малой производительности (до 3500 т/сут.), так и большой, тренд статистики вполне удовлетворительно отображала парабола, обращенная ветвями вниз (рис. 2, а). При этом экстремум находился в диапазоне производительности 3100...3200 т/сут., а максимальное выделение метана достигало 22...25 м³/мин.

Обобщение полученных результатов позволило сделать предположение о том, что для каждого горно-геологических и горнотехнических условий разработки угольных пластов существует определенная закономерность выделения метана в очистную горную выработку.

Она заключается в том, что при относительно малой интенсивности углевыемки увеличение нагрузки на очистной забой приводит к росту выделения газов в лаву. Такая тенденция сохраняется до определенного уровня, зависящего, по нашему мнению, от конкретных горно-геологических и горнотехнических условий разработки угольного пласта. Дальнейшее увеличение производительности очистного забоя сопровождается снижением метановыделения в лаву.

Таблица 1 – Оценка связи между производительностью очистного забоя и метановыделением в лаву

Название лавы*	Диапазон производительности лавы, тыс. т/сут.	Связь между метановыделением (I , м ³ /мин) и добычей (A , т/сут.)	Коэффициент тесноты связи	Характер изменения (I) с ростом добычи
Пласт I_1 , схема проветривания 2-В-Н-в-пт				
9-я W	1.0...2,0	$I = 0,0086A - 3,7658$	R2 = 0,9841	Рост
10-я W	2,5...4,0	$I = -0,007 A + 32,241$	R2 = 0,9394	Снижение
11-я O	3,0...4,0	$I = -0,0107 A + 48,292$	R2 = 0,9134	Снижение
12-я O	1,8...2,9	$I = 0,0067 A - 2,4172$	R2 = 0,8695	Рост
Пласт I_1 , схема проветривания 1-К-Н-в-вт				
9-я W	2,0...4,0	$I = -1E-05A^2 + 0,0889A - 114,14$	R2 = 0,716	Снижение
10-я W	0,5...3,5	$I = 0,0036 A + 4,9307$	R2 = 0,8574	Рост
Пласт I_1 , схема проветривания 1-М-Н-в-вт				
10-я O	2,4...2,9	$I = -0,0095 A + 35,344$	R2 = 0,6694	Снижение
11-я O	2,0...4,0	$I = -1E-06 A^2 + 0,0082 A + 0,0405$	R2 = 0,1796	нет связи
12-я O	1.3...3,9	$I = -3E-06 A^2 + 0,0135 A + 1,2523$	R2 = 0,5445	нет связи
Пласт m_3 схема проветривания 1-К**				
14-я W	0,5...2,5	$I = 0,0022 A + 7,0435$	R2 = 0,7065	Рост
15-я W	1,8...2,8	$I = -0,0052 A + 22,403$	R2 = 0,5533	нет связи
15-я O	0,2...1,2	$I = 0,0035 A + 3,0531$	R2 = 0,7481	Рост
Пласт m_3 схема проветривания 1-М-Н-в-вт				
16-я W	1,8...3,3	$I = 0,0007 A + 7,6392$	R2 = 0,0718	нет связи
16-я O	1,6...2,2	$I = -0,0059 A + 24,05$	R2 = 0,0996	нет связи
Пласт m_3 схема проветривания 1-К-Н-в-вт				
16-я O	0,5...2,5	$I = -3E-06 A^2 + 0,0106 A - 0,3642$	R2 = 0,8874	Рост - Снижение

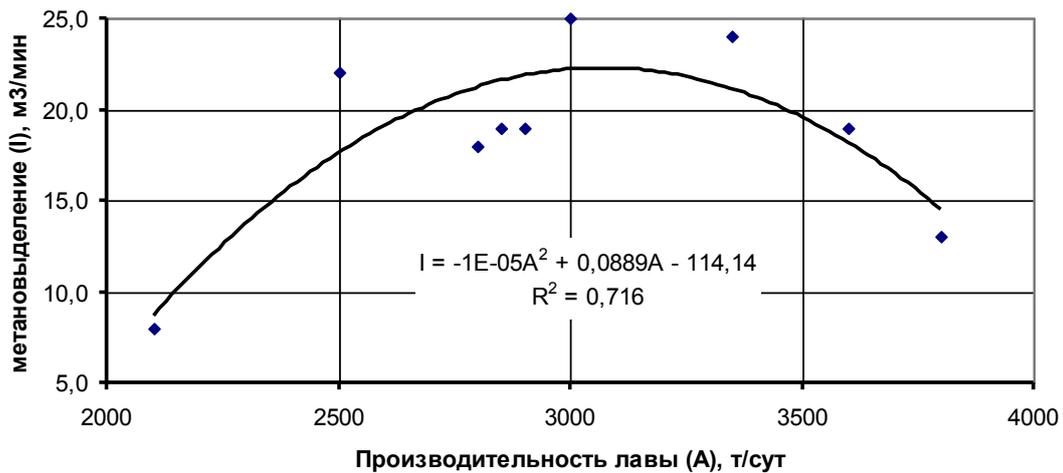
Примечание: * O – восточная, W – западная;

** – использовали несколько вариантов схемы проветривания.

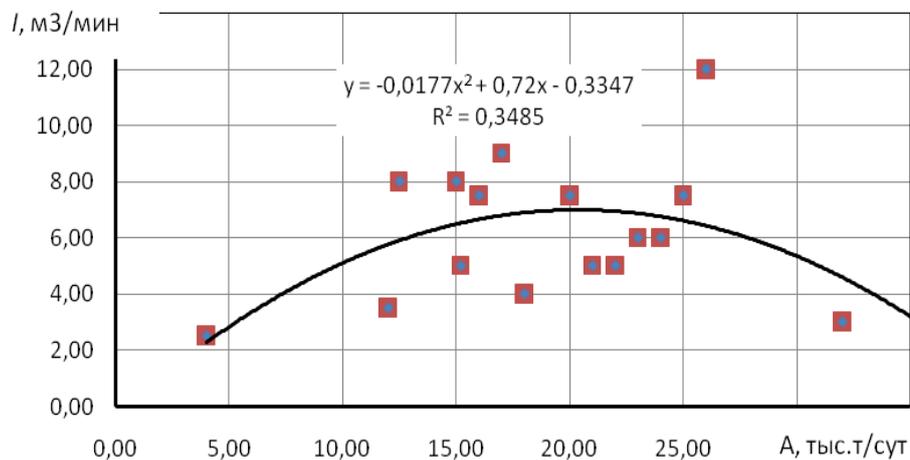
Подтверждением данного утверждения являются полученные независимо от авторов данные МГГУ [1] по выделению метана в очистную выработку российской шахты «Котинская» ОАО «СУЭК-Кузбасс», отрабатывавшей мощный пласт каменного угля (рис.2, б). Наилучшие показатели для данной статистики имел тренд, представляющий собою параболу, обращенную ветвями вниз.

Как показали выполненные ДонНТУ исследования, фракционный состав отбитого угля существенно зависит от скорости подачи комбайна вдоль забоя. Например, с увеличением скорости подачи комбайна типа 2К-52 от одного до

а)



б)



а – 9-я западная лава пласта I_1 при схеме проветривания 1-К-Н-в-вт;
 б – лава №5203 шахты «Котинская»

Рис. 2 – Связь между метановыделением (I) и производительностью (A)

шести метров в минуту с 46 до 24 % сокращается содержание мелких фракций (менее 6 мм) из которых наиболее интенсивно диффундирует газ, а содержание крупных фракции, наоборот, увеличивается с 3 до 15 % (рис. 3). Такая динамика сортности угля способствует сокращению метановыделения из отбитого угля в очистную выработку при интенсификации углевыемки.

Оценить количественно изменение выделения метана из отбитого угля можно на основе критерия Фурье, который характеризует соотношение между скоростью изменения термодинамических условий в окружающей среде и скоростью перестройки поля внутри рассматриваемого тела (безразмерное время). В самом общем виде число, или критерий Фурье (F_0) — один из критериев подобия нестационарных термодинамических процессов, он

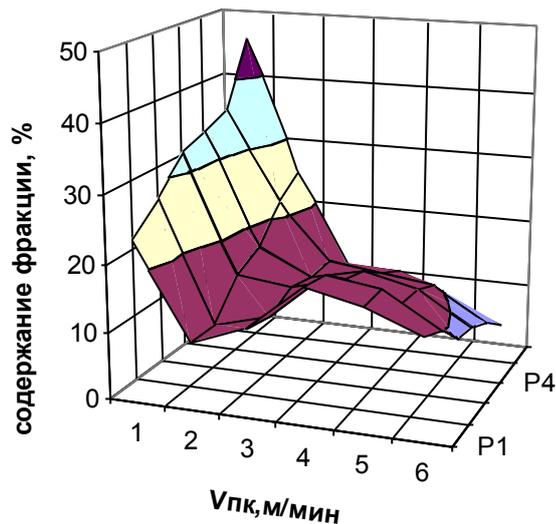


Рис. 3 – Изменение фракционного состава (%) отбитого угля при изменении скорости подачи ($V_{пк}$) комбайна вдоль забоя: $P_1 - P_6$ – размер фракции, соответственно, P_1 – более 100; P_2 – 50...100; P_3 – 25...50; P_4 – 13...25; P_5 – 6...12; P_6 – менее 6 мм

существенно зависит от размеров тела:

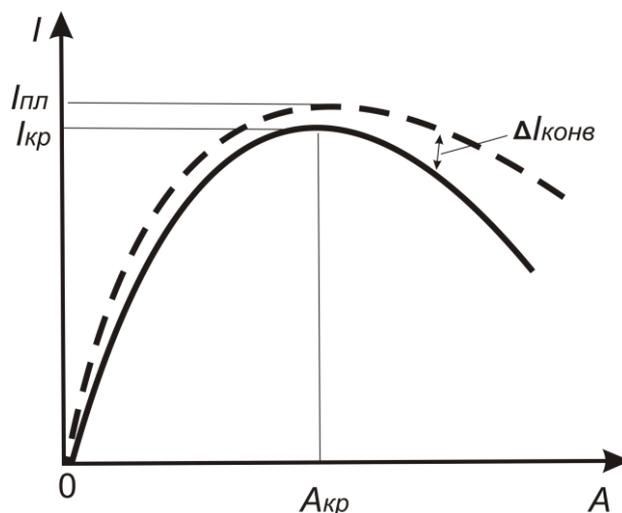
$$F_0 = \frac{\alpha \cdot \tau}{L^2},$$

где: α – коэффициент температуропроводности, m^2/c ; t – характерное время изменения внешних условий, с; L – характерный размер тела, м.

Из выражения следует, что с увеличением размера куска угля величина F_0 , а, следовательно, диффузионное выделение газа уменьшается по гиперболическому закону. Следовательно, с улучшением сортности отбитого угля, при интенсивной его отбойке исполнительным органом машины, существенно замедляется вынос метана из транспортируемой по лаве горной массы. Дальнейшее предотвращение поступления метана в выработки из доставляемой горной массы можно обеспечить применением трубчатых конвейеров или обособленным проветриванием конвейерных выработок.

В самом общем виде процесс выделения метана в очистную выработку выглядит следующим образом (рис. 4). При относительно невысоких нагрузках на очистной забой ($A < A_{кр}$) рост производительности сопровождается увеличением поступления метана в лаву. С достижением определенного, относительно высокого, темпа отработки пласта ($A = A_{кр}$) наблюдается максимальное выделение метана ($I_{пл}$). В этот период наступает динамическое равновесие между количеством выделяющегося в выработку газа и остающегося в отбитом и выносимом за пределы свежей воздушной струи угле. Дальнейшее увеличение скорости подвигания очистного забоя приводит к

сокращению размеров области дренирования метана и увеличению фракционных характеристик отбитого угля, после чего наблюдается сокращение выделения метана в очистную выработку.



$A_{кр}$ – критический уровень добычи, определяющий реальный $I_{кр}$ максимум метановыделения;
 $I_{пл}$ – максимальное выделение метана без учета выноса газа с транспортируемым углем;
 $\Delta I_{конв}$ – доля выносимого с транспортируемым углем метана

Рис. 4 – Влияние производительности (A) добычи угля на процесс поступления метана (I) в очистную выработку

Дополнительное снижение метановыделения в очистную выработку можно объяснить улучшением сортности отбиваемого угля при значительном повышении нагрузки на очистной забой, что, безусловно, приводит к увеличению скорости подачи комбайна. При этом увеличивается по гиперболической зависимости продолжительность диффузии газа из кусков угля, поэтому при достижении нагрузки $A_{кр}$ реальное метановыделение составляет не $I_{пл}$, а $I_{кр}$, уменьшенное на величину выносимого с отбитым углем метана $\Delta I_{конв}$.

Следующим источником поступления метана в очистную выработку является массоперенос между нею и выработанным пространством. Основным видом массообмена является турбулентная диффузия, которая зависит от скорости движения газоздушных потоков в лаве и ближайшей к ей части выработанного пространства, концентрации метана в них, плотности стенки (ограждения) разделяющей очистную выработку и выработанное пространство, типа околострековых сооружений и т.п. При отработке пластов l_1 и m_3 на шахте им. А.Ф. Засядько преимущественно использовали механизированные крепи типа КД, что определяло однородный характер влияющего разделяющего ограждения. Скорость движения потоков зависела от параметров аэродинамического сопротивления выработки и выработанного пространства и участковой депрессии. Надежного соотношения между метановыделением в

очистную выработку и расходом воздуха на участке в большинстве рассматриваемых случаев нами не установлено. Газовоздушные съемки [4], выполненные службой ВТБ шахты и ИГТМ показали, что при прямоточных схемах проветривания, с отводом исходящей струи воздуха в сторону выработанного пространства, из него поступает в очистную выработку не более 7 % метановоздушной смеси.

Наибольшее взаимодействие лавы и выработанного пространства проявляется при возвратноточном проветривании на угольный массив. Об этом же свидетельствуют низкие, сравнительно с другими схемами проветривания, статистические показатели связи между производительностью лавы и метановыделением в лаву (см.табл.1). Однако в подавляющем большинстве ситуаций существует техническая возможность вентиляционными и геомеханическими средствами управлять соотношением между воздушными потоками в очистном забое и примыкающем к нему выработанном пространстве. Этим сократить доступ метана из выработанного пространства в очистную выработку.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально, на основании шахтных наблюдений, установлена нелинейная зависимость между нагрузкой на очистной забой (A) и метановыделением в очистную выработку (I) в условиях отработки пластов l_1 и m_3 на шахте им. А.Ф. Засядько. При производительности в интервале $500 < A > 2500$ т/сут. наблюдали увеличение метановыделения с $I = 4...8$ до $11...20$ м³/мин. Дальнейший рост производительности лавы до 3500 т/сут. и более приводил к уменьшению I до значений $5...15$ м³/мин.

2. Нелинейный характер метановыделения в очистную выработку можно объяснить совместным действием геомеханических и газодинамических факторов. При небольших скоростях подвигания забоя создаются благоприятные условия для формирования фильтрующей среды в окружающем лаву горном массиве и истечения газов в очистную выработку. Размер области дренирования максимальный, число и раскрытие трещин максимальные, они ориентированы как параллельно плоскости напластования, так и нормально к ней. Значительная часть свободного метана успевает выделяться из угольного пласта, пород почвы и кровли в полость выработки. В этих условиях увеличение темпов углевыемки определяет рост метановыделения в очистную выработку. Такая динамика может существовать до определенного уровня, зависящего от соотношения реальных горно-геологических, горнотехнических и организационных условий ведения горных работ. После достижения определенного темпа отработки пласта наблюдается максимальное метановыделение. Дальнейшее увеличение скорости подвигания очистного забоя приводит к сокращению размеров области дренирования метана из-за уменьшения времени на развитие хронологических деформаций в окружающем горную выработку массиве, что, проявляется в виде снижения конвергенции почвы и кровли. Кроме того, трещины горного давления приобретают ориентацию преимущественно вдоль напластования, что способствует

перетеканию метана в выработанное пространство. В итоге, после превышения максимума скорости подвигания забоя будет происходить сокращение выделения метана в очистную выработку.

3. Дополнительное снижение метановыделения в очистную выработку можно объяснить улучшением сортности отбиваемого угля при значительном повышении нагрузки на очистной забой, что, безусловно, приводит к увеличению скорости подачи комбайна. При этом увеличивается по гиперболической зависимости продолжительность диффузии газа из кусков угля.

4. Проведенные исследования позволили сделать вывод о том, что одним из перспективных способов сокращения эмиссии в атмосферу парниковых газов является интенсификация углевыемки выше индивидуального для каждого шахтопласта уровня, что позволяет сократить выделение метана в очистную выработку на 50 % и более.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лупий М. Г. Обоснование технологии комплексной дегазации выемочных участков при высокоинтенсивной разработке газоносных угольных пластов: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность» / М. Г. Лупий. – Москва, 2010. – 21 с.
2. Афендіков М. Г. Вибір раціональних параметрів очисних комбайнів зі шнековими виконавчими органами для роботи у складних умовах по зарубаємості: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.06 «Гірничі машини» / М. Г. Афендіков. – Донецьк, 1980. – 202 с.
3. Проветривание и газовый режим шахты имени А.Ф. Засядько: состояние и пути совершенствования. / [Е. Л. Звягильский, А. Ф. Булат, И. А. Ефремов. и др.] – Донецк – Днепропетровск, 2003. – 228 с.
4. Назімко І. В. Обґрунтування параметрів інтенсивної технології виїмки вугільних пластів на великій глибині : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.15.02 «Підземна розробка родовищ корисних копалин» / І. В. Назімко – Дніпропетровськ, 2009. – 18 с.

УДК 622.817.47

Абакумова О.В., н.с., Денисенко В.П.,
к.т.н., Денисенко Н.О., ст. н.с., Єгоров І.М., м.н.с., ДонДТУ,
Ангеловський О.А., інж., Бандурін О.О., інж., ВАТ Краснодонвугілля
МЕТАНОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ ШАХТИ „САМСОНІВСЬКА-ЗАХІДНА”
ВАТ „КРАСНОДОНВУГІЛЛЯ” – СУЧАСНИЙ СТАН,
ПЕРСПЕКТИВИ СУМІСНОГО ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ ТА МЕТАНУ

Приведены результаты анализа ресурсного потенциала угольного метана на поле шахты, количественных и качественных параметров метановых смесей, которые извлекаются шахтными системами дегазации. Предложены мероприятия по повышению полноты извлечения метана и качества метановой смеси для дальнейшей утилизации.

POTENTIAL OF METHANE OF „SAMSONOVSKAY-WESTERN”
MINE OF „CRASNODONCOAL” – THE MODERN STATE, PROSPECTS
OF THE JOINT EXTRACTION OF COAL AND METHANE

The results of analysis of resource potential of coal methane on the field of mine are resulted, parameters of methane mixtures which are extracted by the mine systems of degassing quantitative