

УДК 622.411

В.К. КОСТЕНКО (д-р техн. наук, проф.)
А.Б. БОКИЙ (аспирант),
Донецкий национальный технический университет

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИРОДНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ ПУТЕМ СОКРАЩЕНИЯ ЭМИССИИ МЕТАНА

Представлены исследования по уточнению механизма эмиссии газов из угленосного массива в процессе интенсивного ведения горных работ. Проведены экспериментальные исследования метановыделения из породной толщи под влиянием очистной выемки. Обоснованы технические предложения по сокращению эмиссии парниковых газов из интенсивно разрабатываемого горного массива. Оценена эколого-экономическая эффективность предлагаемых способов увеличения каптажа парниковых газов при интенсивной подземной разработке углегазовых месторождений.

Ключевые слова: шахтный метан, природно-промышленная система, эмиссия парниковых газов, усиление дегазации разрабатываемого массива, эколого-экономическая эффективность

Введение. Природно-промышленные системы (ППС) угольных шахт характеризуются тем, что в дополнение к обычным они включают подземные горные выработки, а также прилегающие горные массивы, в которых кроме полезного ископаемого содержится метан.

В Донбассе 145 шахт отрабатывают газоносные пласты, годовое метановыделение которых составляет 1500...1900 млн.м³ при средней относительной метанообильности 35 м³/т. Из этого количества улавливается системами дегазации 200...250 млн.м³, а утилизируется около 100 млн.м³. На 86 действующих шахтах годовое метановыделение превышает 5 млн.м³, а общее составляет 1,5 млрд.м³. Запасы метана составляют около 600 млрд.м³ только в пластах рабочей мощности, а общие, с учетом - нерабочих, вмещающих пород, газовых ловушек и свободных скоплений оценивают от 14 до 25 трлн.м³.

Метан угольных пластов, попадая в атмосферу, с одной стороны, представляет собой источник экологической вредности, с другой, — источник возможного существенного пополнения энергетических ресурсов страны, а с третьей - опасность для людей, занятых в шахтах. Учитывая особенности связи метана с углями, основным средством его извлечения являются системы шахт, дегазирующие угленосную толщу в зоне влияния горных работ. Обильная неуправляемая эмиссия метана в атмосферу создает экологическую опасность для природно-промышленных экосистем. Изменение по сравнению с фоновыми параметрами климата в период работы шахты, составляющем 50...100 лет, приводит к деградации, как абиотических компонентов среды, так и биоты.

Наиболее эффективным способом утилизации шахтного метана в настоящее время является его утилизация в когенерационных установках, что позволяет существенно снизить эмиссию парниковых газов путем превращения метана в диоксид углерода. А также, утилизируя выделяющуюся теплоту и отказавшись от внешних источников энергии, сократить тепловое загрязнение окружающей среды.

Широкое применение когенерационных энергостанций (КГЭС) на современных украинских высокопроизводительных шахтах сдерживается низкими показателями дегазационных систем: малым объемом каптируемой смеси и ее качеством и стабильностью.

Постановка задачи, формулировка целей статьи и методов проведения исследований. Таким образом, раскрытие особенностей эмиссии шахтного метана из интенсивно разрабатываемых газоносных горных массивов, его улавливания и переработки в менее вредные виды парниковых газов является важной научно-технической задачей, которая обусловила актуальность темы данной работы.

Основная часть известных экспериментальных данных и базирующихся на них расчетных моделей была получена для темпов выемки угольных пластов до 1000...1500

m/cym. В связи с появлением современных технологий и средств угледобычи не выясненными являются особенности выделения и миграции газов при интенсивной отработке (более 2500 *m/cym*) и их экологические последствия. Поэтому авторами избран преимущественно экспериментальный характер, направленный на изучение особенностей газовой выделения при интенсивной выемке превалирующих в Украине газоносных пластов малой мощности.

Значительная глубина ведения горных работ и низкие фильтрационные характеристики украинских углей и пород делают, зачастую, экономически невыгодным улавливание (каптаж) метана поверхностными скважинами.

Генеральным направлением сокращения негативного влияния шахтных парниковых газов на окружающую природную среду является их каптаж с использованием в качестве энергетического ресурса для когенерационных энергостанций (КГЭС). При этом метан перерабатывают в такое же количество гораздо менее вредного диоксида углерода, попутно сокращая расходование исчерпаемых энергоносителей, и снижая экологический риск в ППС (рис. 1).

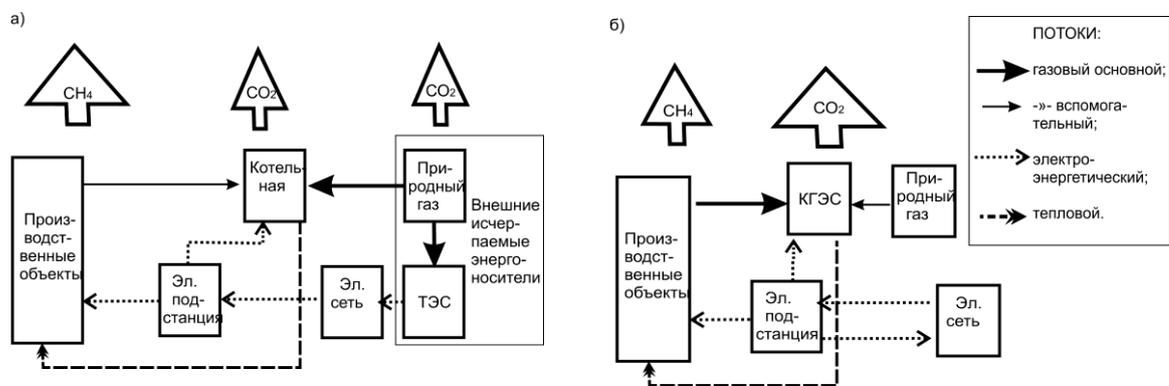


Рисунок 1- Выбросы парниковых газов при традиционной (а) и усовершенствованной (б) схемах энергоснабжения шахты

Масштаб экологического ущерба от выделившегося в шахтах метана определяется степенью его переработки. Абсолютная величина экологического риска ($R, м^3$), связанного с выбросом метана в биосферу может быть оценена, в первом приближении, как произведение относительного метановыделения из горных выработок шахты ($q, м^3/т$) ее реальной производительности ($A_{ф}, т/год$) и продолжительности ($t, лет$) ведения горных работ. Уменьшение экологического риска возможно только путем сокращения относительного метановыделения (q) из горных выработок.

Обобщена информация о состоянии дегазационных установок на угольных шахтах Украины и эффективности дегазационных систем [1]. Широкое применение когенерационных установок на украинских высокопроизводительных шахтах сдерживается низкими показателями (объемом каптируемой смеси и ее качеством) извлечения метана. Современные способы и системы дегазации технически не обеспечивают высокого уровня улавливания метана и подачи его в утилизационные устройства. Качество отсасываемой газовой смеси нестабильно и невысокого качества, содержание метана в ней часто ниже требуемого по техническим условиям уровня 25%.

Важной особенностью украинских месторождений является низкая проницаемость слоев горных пород и угольных пластов, что существенно затрудняет предварительную их дегазацию или применение экранирующих скважин. Вследствие этого сегодня отсутствуют эффективные способы и технические средства заблаговременного улавливания пластового метана. Низкая эффективность шахтных дегазационных установок и ничтожная часть

утилизации уловленного ими метана определяют основные направления научных исследований

Результаты. Теоретически обосновано, что деформирование горного массива под влиянием внешних усилий, например изменяющегося вблизи горной выработки напряженно-деформированного состояния горных пород приводит нарушению казистационарного состояния содержащихся в газоносной толще сорбированных и растворенных газов [2,3]. Любой вид механических деформаций, нормальные, касательные, изгибающие и т.п., определяет активацию содержащегося в массиве метана и способствует выходу молекул газа из «энергетической ямы» и переходу их из связанных форм в свободное состояние. Обоснована связь между деформациями породной толщи в зоне влияния на нее очистных выработок и возможностью извлечения метана из газоносных структур.

Пути фильтрации парниковых газов в подработанном и надработанном горном массиве преимущественно привязаны к областям трещиноватой разгруженной от горного давления углепородной среды.

На основании обобщения результатов шахтных экспериментов установлены параметры L_i кривой вертикальных сдвижений, превалирующего вида деформаций массива. Они определяются, преимущественно, глубиной ведения горных работ H , m , и с достаточной для практического использования точностью могут быть определены из уравнения вида [4,5]:

$$L_i = a \cdot H - b, m \quad (1)$$

где a и b эмпирические коэффициенты.

В средней части лавы параметры (коэффициенты уравнения 1) процесса вертикальных сдвижений пород почвы пласта имеют следующие значения (табл.1). Следует учитывать, что для краевых частей лавы значения коэффициентов a и b следует скорректировать. Если рассматривается примыкающая к нетронутому массиву часть лавы, то их значения следует уменьшить в полтора – два с половиной раза, а если лава примыкает к выработанному пространству, то – увеличить в два-три раза.

Таблица 1 – Коэффициенты уравнения (1)

Параметр	Обозначение	Значение коэффициентов	
		a	b
Начало влияния очистных работ	$L_{вл}$	0,1	20
Максимум опорного давления	$L_{од}$	0,05	10
Начало разгрузки массива	L_p	0,01	30
Максималь-ная разгрузка	L_{pn}	0,14	30

Значения параметров L_i следует использовать для прогнозирования режимов газовыделения при сопутствующей дегазации углепородной толщи, как с применением ее гидроневморазрыва или других способов увеличения проницаемости неразгруженного от горного давления массива, так и без них.

Значительная часть метана не успевшего диффундировать в выработки и скважины за период ведения дегазационных технологических операций остается в межблочных полостях. Эти газы, либо навсегда консервируются в породах, либо мигрируют к поверхности, по образовавшимся в результате горных работ полостям и зонам геологической нарушенности массива. Значительная доля газов выносится в горной массе из шахты не успев диффундировать из отбитых угля и пород.

Путем обобщения собственных шахтных наблюдений автора с добавлением известной информации, установлены численные значения трещиноватости и блочности массива вблизи очистной выработки (табл. 2).

Таблица 2 – Изменение характеристик породного массива под влиянием очистных работ

Тип и параметры трещин: (Γ - частота, m^{-1} ; L и δ – протяженность и ширина раскрытия, m),	Число Кнудсена $K_n = \lambda / \delta$	Отношение L / δ	Коэффициенты		
			Проницаемости		Массовой нагрузки, (форма блока)
			трещины, D	среды, m^2	
В нетронутом массиве					
Слоевые, $\Gamma=0,3 \dots 30$, $l=1 \dots 10$, $\delta=10^{-8} \dots 10^{-10}$	$10^2 \dots 10^4$	$10^8 \dots 10^{10}$	$8 \cdot 10^{-12} \dots$ $8 \cdot 10^{-16}$	$2,5 \cdot 10^{-24}$ $\dots 3 \cdot 10^{-33}$	1...4 (пласти- на...балка)
Кливажные и торцовые, $\Gamma=0,3 \dots 50$, $l=0,05 \dots 10$ $\delta=10^3 \dots 10^9$	$10^3 \dots 10^3$	$10^4 \dots 5 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^{-2} \dots$ $8 \cdot 10^{-14}$	$2,5 \cdot 10^{-9}$ $\dots 4 \cdot 10^{-27}$	
В местах геологической нарушенности пласта					
Хаотические, $\Gamma=100 \dots 1000$, $l=10^{-2} \dots 10^{-4}$, $\delta=10^{-3}$	$-\infty \dots 10^{-4}$	$10^8 \dots 10^{10}$	0...80	$0 \dots 8 \cdot 10^{-2}$	6 и более (куб, призма)
В зоне влияния горных работ					
Дополнительное расслоение, $\Gamma=0,3 \dots 100$, $l=10 \dots 10^2$, $\delta=0 \dots 10^{-1}$	$-\infty \dots 10^{-5}$	$1 \dots 10^3$	$0 \dots 8 \cdot 10^2$	$0 \dots 8 \cdot 10^{-1}$	3...6 (призма... куб)
Трещины давления, $\Gamma=2 \dots 200$, $l=5 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^2$, $\delta=0 \dots 10^{-1}$	$-\infty \dots 10^{-5}$	$1 \dots 10^3$	$0 \dots 8 \cdot 10^2$	$0 \dots 17 \cdot 10^{-2}$	

Диффузионные и фильтрационные характеристики деформированной среды определяются ее трещиноватостью и блочностью, при этом под влиянием изменяющегося вблизи очистной выработки напряженно-деформированного состояния горного массива количество трещин возрастает, размеры блоков соответственно уменьшаются, а их форма приближается к призматической или кубической. Под влиянием очистных работ происходит уменьшение в 3...10 и более раз размеров породных блоков, и увеличение в 1,5...6 раз коэффициента их массовой нагрузки. Увеличение частоты трещин вблизи очистной горной выработки и связанное с этим уменьшение размеров породных или угольных блоков способствует интенсификации процесса диффузии газов [6].

Результаты расчетов показывают (рис. 2), что при частоте трещин менее $50 \dots 100 m^{-1}$, что соответствует характерному размеру блока более 1...2 мм, длительность истечения всего метана из блока составляет десятки и сотни суток.

Были проведены экспериментальные исследования газовыделения из породной толщи под влиянием очистной выемки. При проведении шахтных наблюдений измеряли метановыделения в горные выработки и скважины, фиксировали показатели работы очистных забоев, анализировали конфигурацию развития горных работ в шахтопластах а также вентиляционные режимы.

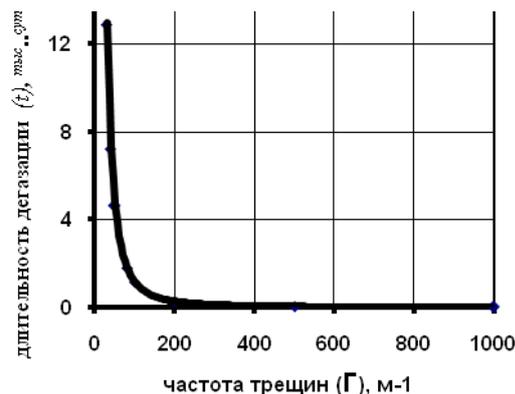


Рисунок 2 – Продолжительность дегазации блочного горного массива с различной трещиноватостью

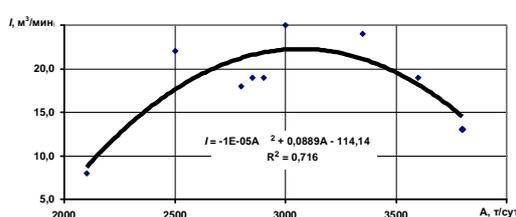
В качестве экспериментальных участков выбраны интенсивно обрабатываемые поля газообильных шахт им. А.Ф. Засядько, «Южнодонецкая» №3, «Западнодонецкая» [7,8].

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.

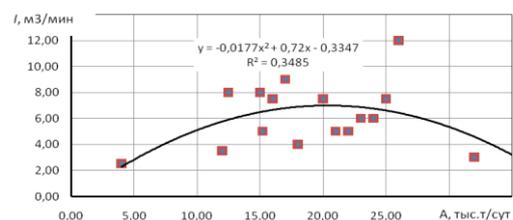
При нагрузке в интервале $500 < A < 2500 \text{ т/сут}$ наблюдали увеличение метановыделения с $I = 4 \dots 8$ до $11 \dots 20 \text{ м}^3/\text{мин}$. Дальнейший рост производительности лавы до 3500 т/сут и более приводил к уменьшению I до значений $5 \dots 15 \text{ м}^3/\text{мин}$. Обобщенная зависимость метановыделения из пласта в очистную выработку представляет собою параболу, обращенную ветвями вниз.

Обработка экспериментальных данных подтвердила достаточное качество полученных статистик. Теснота связи между нагрузкой на очистной забой и выделением метана в очистную выработку в большинстве выборок характеризовалась коэффициентом R^2 не менее 0,7.

Подтверждением установленной закономерности являются экспериментальные данные, полученные МГГУ на шахте «Котинская» в условиях отработки мощного угольного пласта, где метановыделение в очистную выработку в зависимости от нагрузки на очистной забой также описывается параболой с ветвями, направленными вниз (рис. 3).



а)



б)

Рисунок 3 – Связь между метановыделением (I) и производительностью (A) очистного забоя: а) 9-я западная лава пласта l_1 шахты им.А.Ф. Засядько; б) лава № 5203 шахты «Котинская»

Нелинейный характер метановыделения в очистную выработку можно объяснить совместным действием геомеханических и газодинамических факторов. При небольших скоростях продвижения 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 наибольшие, 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. При достижении определенного темпа отработки пласта наблюдается максимальное выделение метана. 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, подтверждается снижением конвергенции почвы и кровли. Кроме того, трещины расслоения и 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.

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.

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 из пласта в очистную выработку на 50% и более.

Анализ аварийных ситуаций, связанных с взаимным влиянием горных работ позволил получить практическое подтверждение гипотезы о влиянии техногенных деформаций газоносных пластов и пород на переход в свободную форму содержащегося в них газа.

В качестве подтверждения динамики метановыделения из пласта под влиянием горных работ приведена чрезвычайная ситуация (пожар), которая произошла на шахте «Западнодонецкая» производственного объединения «Павлоградуголь» в мае-июле 2009 года. Выемочный столб лавы №1021 был оконтурен ранее отработанными лавами и представлял собой целик угля, часть которого была подработана лавами пласта c_8 (рис. 4).

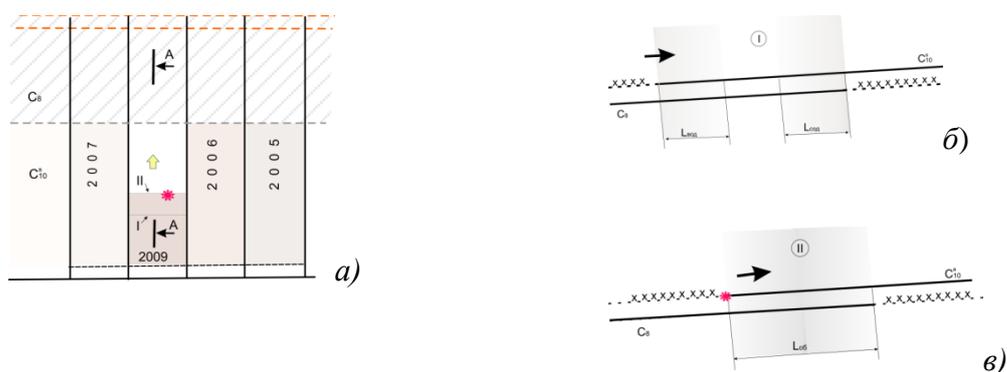


Рисунок 4 – Конфигурация горных работ при пожаре в лаве № 1021 шахты «Западнодонецкая» объединения «Павлоградуголь»: а) – совмещенная по пластам c_8 (выработанное пространство заштриховано) и c_{10}^6 схема развития горных работ на горизонте; б) и в) сечение А-А при положениях очистного забоя I и II; L_{cod} , $L_{вод}$, $L_{об}$ – протяженность зон опорного давления, соответственно, стационарной, временной и объединенной

Ретроспективный анализ горнотехнической ситуации, приведшей к аварии, показал следующее. По периметру границы ранее отработанного нижележащего пласта c_8 в пласте c_{10}^6 существовала область свободного метана вследствие изменения напряженно-деформированного состояния среды. Продолжительность существования этой области была достаточна для выравнивания вследствие диффузии химических потенциалов метана в твердой фазе (угле) и газообразной (полости трещин). Отсутствие коллекторов определяло высокое давление свободного метана в пласте c_8 . Когда забой лавы №1021 приблизился к участку горного массива с повышенным содержанием свободного метана, произошла скачкообразная интенсификация газовыделения в очистную выработку, которая привела к опрокидыванию вентиляционной струи, загазированию очистной выработки и воспламенению метановоздушной смеси в ней.

Анализ горно-геологических и горнотехнических условий подобных чрезвычайных ситуаций, связанных с накоплением свободного газа в пласте и его последующей миграцией позволил установить следующее. Отсутствие каналов-коллекторов определяет высокий уровень газового давления в деформированных пластах и породных слоях. Такие скопления свободного метана при вскрытии горными выработками представляют производственную и экологическую угрозу. Проведенные автором исследования являются научной основой для перспективного прогнозирования опасных ситуаций.

На основании обобщения результатов собственных исследований, дополненных полученной из литературных источников информации, предложена классификация технологий снижения негативного влияния на атмосферу парниковых газов, выделяющихся при выемке угля. Классификация предусматривает этап воздействия на газопородный массив для перевода связанных газов в свободное состояние, а также организацию каптажа метана (табл. 3). Технические решения, направленные на сокращение выбросов углеводородов из горных выработок, а также расходования традиционных видов топлива или замену их альтернативными видами энергии позволят улучшить экологическую обстановку на прилегающей к шахте территории и снизить парниковые риски.

На основе результатов проведенных исследований, с учетом особенностей десорбции и фильтрации метана из подрабатываемой угленосной толщи, предложены технологии повышения эффективности улавливания метана дегазационными скважинами, пробуренными из подготавливающих выработок [9-12].

Способ дегазации газугольных месторождений (рис.5,а), отличается тем, что путем измерения деформаций горного массива устанавливаются параметры зоны локальной разгрузки массива впереди зоны опорного давления и силовое воздействие на продуктивный участок скважины (гидроразрыв) осуществляют в период нахождения ее в зоне локальной разгрузки на расстоянии $L_{вл}+20$ м (см. табл. 1).

Согласно другому способу (рис.5,б) силовое воздействие на продуктивный участок скважины с одновременной подачей дисперсного наполнителя осуществляют в период нахождения ее на участке разгрузки массива впереди очистного забоя L_p-L_{mp} (см. табл. 1).

Эти технологические приемы позволяют увеличить величину зон разрушенных пород вокруг скважин и повысить продуктивность дегазационных скважин по сравнению с традиционными технологиями на 20...40%..

Величину экологического риска R^l за период выполнения работ по утилизации метана выражение можно представить в следующем виде:

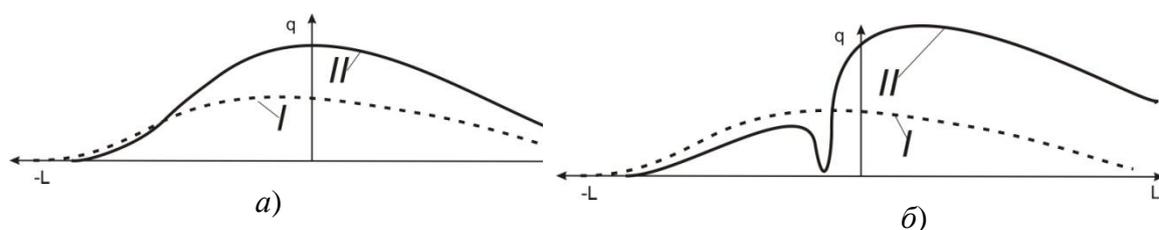
$$R^l = (q - 0,95 \cdot q_y) \cdot A_{\phi} \cdot t_o \cdot M^3, \quad (2)$$

где: q_y – относительное количество утилизированного метана, m^3/m ;

t_o – период выполнения работ по утилизации газа, лет.

Таблица 3 – Технологические приемы усиления дегазации разрабатываемого горного массива и сокращения эмиссии метана

Способ дегазации	Места и технологии воздействия			
	Угольный пласт	Подрабатываемая толща пород	Выработанное пространство	Надработанная толща пород
Выемка угля	Вынос метана с горной массой при интенсивной выемке	-	-	-
Дегазация поверхностными скважинами	Частичная дегазация пласта через трещины давления	Расклинивание трещин наполнителем при гидровоздействии	Расположение ПДС над зонами разгрузки, длительная дегазация	Длительная дегазация через выработанное пространство
Дегазация подземными скважинами	Бурение пластовых и экранящих скважин Измельчение угольных и породных блоков	Расклинивание трещин при гидровоздействии Использование барьерных скважин	Охрана устьев скважин Бурение и эксплуатация барьерных скважин	Использование барьерных скважин
Откачка метана из полостей в выработанном пространстве	-	Создание каналов для миграции газа в полости	Создание полостей для сбора метана	Осушение и создание каналов для миграции газа в полости
Управление газовыми потоками	Обеспечение разряжения в скважинах	Обеспечение депрессии в полостях для сбора газа, Ограничение утечек метана в выработки		

Рисунок 5 – Продуктивность (q) дегазационных скважин при использовании соответственно: традиционной (I) и предлагаемых (II) технологий:

а) гидрорасчленение пласта-спутника в области локальной разгрузки массива; б) силовое воздействие и подача дисперсного наполнителя в область разгрузки пород

Экологическая эффективность проведения мероприятий по каптажу и сжиганию метана оценивается как разница единицы и отношения разницы рисков полного и от выполнения работ по утилизации метана к полному экологическому риску:

$$\mathcal{E}_s = 1 - \frac{R - R'}{R} = 1 - \frac{q \cdot t - (q - 0,95 \cdot q_y) \cdot t_0}{q \cdot t} \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что максимальная эффективность, в том случае, когда $t_o=t$, а $q_y=q$ составляет $\mathcal{E}_y=1-1/21=0,95$, а когда утилизация не производится совсем - $\mathcal{E}_y=0$. Важно заметить, что эффективность не зависит от производительности шахты, а определяется ее относительными метановыделением и количеством каптированного метана, а также продолжительностью выполнения мероприятий по его утилизации.

В том случае, когда шахта, подобная АП им. А.Ф. Засядько, имеющая относительное метановыделение около $q=33$, m^3/m проработала от момента пуска $t=50$, лет, а утилизационные мероприятия проводятся в течение последних $t_o=8$ лет, при этом $q_y=18$, m^3/m , (54%), то экологическая эффективность этих мероприятий составит:

$$\mathcal{E}_y = 1 - \frac{q \cdot t - (q - 0,95 \cdot q_y) \cdot t_o}{q \cdot t} = 1 - \frac{33 \cdot 50 - (33 - 0,95 \cdot 18) \cdot 8}{33 \cdot 50} = 0,077$$

Технический эффект от использования разработанных способов, состоящий в получении дополнительного количества газа обеспечивается за счет выбора рациональных параметров бурения и силового воздействия на газоносные участки горного массива. Это упрощает определение экономического эффекта, который в такой ситуации можно рассматривать как производство количества дополнительно добытого газа на его цену:

$$\mathcal{E}_{экон} = \Delta D \cdot C \quad (4)$$

«Куст» дегазационных скважин за период своего функционирования по существующим технологиям обеспечивает дебит $D=250000 \dots 650000$, m^3 метана. Применение предлагаемых способов позволяет увеличить этот показатель на 20...40,% т.е. до $D=300000 \dots 910000$, m^3 . Прирост дебита составляет $\Delta D=50000 \dots 260000$, m^3 .

В 2010г, для предприятий Донецкой области природный газ отпускали по цене $C=2200$ грн/1000 m^3 . Следовательно, замена приобретаемого природного газа собственным шахтным метаном, с учетом увеличения его расхода в 1,1 раза из-за меньшей теплоты сгорания, позволяет ожидать экономический эффект с одного куста скважин:

$$\mathcal{E}_{экон} = \Delta D / 1,1 \cdot C = 100000 \dots 520000 \text{ грн.}$$

При интенсивной обработке угольного пласта продолжительность эффективной эксплуатации «куста» скважин составляет $t_{эфф}=20 \dots 30$ суток. Использование предлагаемой технологии в течение года, при условии, что в работе постоянно находится один «куст», позволит обеспечить экономический эффект:

$$\mathcal{E}_{экон}^{год} = \Delta D / 1,1 \cdot C \cdot 365 / t_{эфф} = 1216 \dots 9490 \text{ тыс. грн.}$$

Выводы и перспективы дальнейших исследований.

1. Дальнейшее развитие получили представления о нарушении метастабильного состояния углегазовой среды под воздействием горных работ, теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что переход содержащихся в массиве газов из связанного в свободное состояние, даже без образования дополнительных полостей в пласте, происходит при деформациях любого вида: сжатии, растяжении, изгибе, кручении. Экспериментально установлена линейная зависимость размеров области деформирования горного массива от глубины, на которой ведут очистные работы, это послужило основанием для совершенствования способов дегазации и улучшения экологической обстановки при интенсивной разработке угольных месторождений.

2. Впервые экспериментально установлена параболическая зависимость между производительностью очистного забоя и количеством выделяющегося из него метана. Для каждого шахтопласта существует экстремум производительности превышение, которого приводит к сокращению выделения метана из забоя. В условиях отработки пластов m_3 и l_1 шахты им. А.Ф. Засядько величина экстремума составляет 2500...3000 тонн/сут. Это позволило обосновать новый технологический прием снижения эмиссии парниковых газов из пласта в атмосферу.

3. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена гиперболическая зависимость длительности дегазации угленосного массива от размера слагающих его блоков, при характерном размере блока более 2...3 м, продолжительность истечения метана из блока исчисляется тысячами суток, что значительно превышает период отработки запасов выемочного участка. Интенсификация углевыемки приводит к уменьшению дробления блоков и увеличению эмиссии «медленного метана» в выработанные пространства. Что определило необходимость для повышения экологической безопасности ППС шахты обосновать способы длительной дегазации отработанного массива.

4. Разработана научно обоснованная классификация технологических приемов повышающих эффективность дегазации горного массива и сокращающих поступление метана в атмосферу, что способствует сохранению и восстановлению окружающей среды в ППС угольных шахт.

5. Разработаны способы позволяющие без дополнительных капитальных и эксплуатационных затрат повысить на 20...40,% повысить дебит подземных дегазационных скважин. Сущность этих решений состоит в выборе параметров мест заложения подземных дегазационных скважин и силового воздействия на газоносные участки горного массива. Новизна представленных способов защищена патентами Украины.

6. Впервые установлено, что экологическая эффективность выполнения работ по комплексной дегазации может находиться в диапазоне $0 < \mathcal{E}_g < 0,95$, она не зависит от производительности шахт, определяется их относительными метановыделением и количеством каптированного метана, а также продолжительностью выполнения мероприятий по его утилизации.

7. Экологическая эффективность разработанных предложений заключается в сокращении потребления шахтой исчерпаемых природных энергетических ресурсов и сопутствующего их сжиганию негативному воздействию на окружающую среду. Утилизация шахтного метана в когенерационных энергостанциях обеспечивает возможность полностью отказаться от использования электроэнергии, получаемой из: угля, природного газа, мазута, урана.

8. Ожидаемый экономический эффект от применения разработанных способов повышения дебита подземных дегазационных скважин в условиях ш. им. А.Ф. Засядько составляет от 1216 до 9490 тыс. грн.

Список литературы

1. Анализ фактического состояния дегазационных систем угольных шахт Украины / [В.К.Костенко, А.Б.Бокий, В.С.Бригада, Н.Н.Зинченко] / Проблемы екології: Загальнодержавний науково-технічний журнал. - 2010. - №1-2. - С. 7-15.
2. Костенко В.К. Влияние очистных работ на процесс выделения метана из породного массива / В.К.Костенко, А.Б.Бокий, Е.В.Шевченко / Известия Донецкого горного института. - 2007. - №2. - С. 36-43.
3. Костенко В.К. Перераспределение метана в горном массиве под влиянием очистных работ / В.К.Костенко, А.Б.Бокий, Е.В.Шевченко / Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський науково-технічний журнал гірничого профілю. - 2008. - №2. - С. 64-69.
4. Костенко В.К. Уточнение параметров попутной дегазации угольных пластов / В.К.Костенко, А.Б.Бокий, Е.В.Шевченко / Метан: Отдельный выпуск Горно-аналитического бюллетеня. - М.: «Мир горной книги», 2008. - С. 239-247.
5. Костенко В.К. О совершенствовании дегазации углегазового массива / В.К. Костенко, А.Б. Бокий //

- Проблеми екології: Загальнодержавний науково-технічний журнал. - 2008. - №1-2. – С. 50-55.
6. Бокий А.Б. Изменение физических свойств углегазового массива под влиянием очистных работ / А.Б.Бокий, В.К.Костенко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. ін-т Геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – 2008. - Вип. 80. – С. 90-97.
 7. Исследование целесообразности утилизации шахтного метана, каптируемого системами дегазации / [В.К.Костенко, А.Б.Бокий, В.С.Бригада, Н.Н.Зинченко] / Проблеми екології: Загальнодержавний науково-технічний журнал. - 2010. - №1-2. – С. 90-99.
 8. Kostenko V. Influence of level of coal mining on the discharge of greenhouse gases / V.Kostenko, A.Bokiy, Ye.Shevchenko // Aktualne problemy zwalczania zagrozen gorniczych. Polytechnika Slaska. - Gliwice - Brenna, 2011. - S. 202-212.
 9. Спосіб каптажу метану вуглегазових родовищ: патент на корисну модель №37303 МПК E21B 43/25 / В.К.Костенко, А.Б.Бокий, Е.В.Шевченко, Л.Г.Бордюгов; заявник і патентовласник Донецький національний технічний університет МОН України. - № u200807202; заявл. 26.05/08; опубл. 25.11. 2008, бюл. №22.
 10. Спосіб дегазації газувугільних родовищ: патент на корисну модель №36900 МПК C05D 11/00 / В.К.Костенко, А.Б.Бокий, Е.В.Шевченко, Л.Г.Бордюгов; заявник і патентовласник Донецький національний технічний університет МОН України. - № u200807232; заявл. 26.05/08; опубл. 10.11. 2008, бюл. №21.
 11. Костенко В.К. О совершенствовании процесса дегазации углегазоносного массива / В.К.Костенко, А.Б. Бокий / Горно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2009. - Т.11, №12. - С. 129-137.
 12. Перспектива сокращения эмиссии парниковых газов в горные выработки / В.К.Костенко, Е.В.Шевченко, А.Б.Бокий / Проблеми екології: Загальнодержавний науково-технічний журнал. - 2010. - №1-2. – С. 15-24.

Надійшла до редакції 05.04.2013

В.К. КОСТЕНКО, О.Б. БОКІЙ

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИРОДНО-ПРОМИСЛОВОЇ СИСТЕМИ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ ШЛЯХОМ СКОРОЧЕННЯ ЕМІСІЇ МЕТАНУ

Представлені дослідження по уточненню механізму емісії газів з вуглепородного масиву в процесі інтенсивного ведення гірничих робіт. Проведено експериментальні дослідження метановиділення з породної товщі під впливом очисної виїмки. Обґрунтовані технічні пропозиції зі скорочення емісії парникових газів з гірського масиву, що інтенсивно розробляється. Оцінена еколого-економічна ефективність запропонованих способів збільшення каптажу парникових газів при інтенсивній підземній розробці вуглегазових родовищ.

Ключові слова: шахтний метан, природно-промислова система, емісія парникових газів, посилення дегазації розроблюваного масиву, еколого-економічна ефективність.

V. KOSTENKO, A. BOKY,

INCREASING THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF NATURAL AND INDUSTRIAL SYSTEMS OF COAL MINES BY REDUCING METHANE EMISSIONS

The paper specifies the mechanism of gas emission from coal rock mass in the process of intensive mining works. An experimental study of methane emission from rock strata under the influence of stoping has been carried out. Draft proposals for reducing gases emission from the intensively mined rock mass are justified. Environmental and economical efficiency of the suggested methods of increasing gas captation during intensive mining of coal and gas fields has been estimated.

Keywords: mine methane, natural and industrial system, greenhouse gas emissions, increase of degassing, economic efficiency.

© Костенко В.К., Бокий А.Б., 2013