

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТАНООБИЛЬНОСТИ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕГАЗАЦИИ ПРИ ОСТАВЛЕНИИ ДЕГАЗАЦИОННЫХ СКВАЖИН В НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ ВЫРАБОТКАХ

¹Минеев С.П., ¹Кочерга В.Н., ²Корнеев Ю.А., ³Янжула А.С., ³Гулай А.А.,
⁴Самопаленко П.М.

¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, ²ГП «Мирноградуголь»,
³Шахтоуправление «Покровское», ⁴10 отряд ГВГСС (г. Мирноград)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕТАНООБИЛЬНОСТІ ВИЙМКОВОЇ ДІЛЬНИЦІ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ДЕГАЗАЦІЇ ПРИ ЗАЛИШЕННІ ДЕГАЗАЦІЙНИХ СВЕРДЛОВИН У НЕКОНТРОЛЬОВАНИХ ВИРОБКАХ

¹Мінієєв С.П., ¹Кочерга В.М., ²Корнієєв Ю.О., ³Янжула О.С., ³Гулай О.О.,
⁴Самопаленко П.М.

¹Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, ²ДП «Мирноградвугілля»,
³Шахтоуправління «Покровське», ⁴10 загін ДВГРС (м. Мирноград)

RESEARCH OF THE METHAN CONTENT EFFECTING ON GAS-DRAINE EFFICIENCY IN THE STOPE WHEN BOREHOLES ARE LEFT IN UNCONTROLLABLE WORKINGS

¹Minieiev S.P., ¹Kocherha V.M., ²Kornieiev Yu.A., ³Yanzhula O. S., ³Hulai O.O.,
⁴Samopalenko P.M.

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine, ²SE «Myrnogradvugillya», ³MM «Pokrovskoye», ⁴10 detachment of SMMRS (Mirnograd)

Аннотация. Большинство высокопродуктивных лав в угольных шахтах на Украине обрабатывается по столбовой системе разработки, причем основные из них проветриваются по схемам типа 1-М, когда исходящая вентиляционная струя направляется в сторону угольного массива и вентиляционная выработка за очистным забоем не поддерживается и не контролируется. Поэтому дегазационные скважины бурятся впереди очистного забоя навстречу его движению. Количество скважин, работающих одновременно до подработки их устьев, обычно не превышает три. Такие скважины сообщаются с породами кровли, разгруженными от горного давления, в непосредственной близости от забоя, где метановыделение из подработанных угольных пластов и пород не достигает максимума. Это ограничивает дебит скважин и их эффективность, как правило, не превышает 30%. Для повышения эффективности дегазации оставляются скважины, соединенные с газопроводом в неконтролируемой части вентиляционной выработки за очистным забоем. В некоторых случаях применение этого мероприятия дало возможность повысить эффективность скважин в 1,5-2,0 раза и достичь 75%. В ряде случаев скважины и трубопроводы разрушались, содержание метана в каптируемом газе падало и нужный эффект не достигался. Для достижения эффективности дегазации выполнена оценка влияния смещения пород на аэродинамическое сопротивление путей движения метана к скважине в зависимости от способов её охраны для условий пласта d₄ блока №3 ШУ «Покровское». В результате исследований установленная реальность обеспечения эффективности дегазации кровли скважинами, пробуренными навстречу очистному забою на уровне 60-75% при условии обеспечения их охраны от разрушения. Надежная охрана скважин и неконтролируемой части вентиляционной выработки, а также снижение утечек воздуха через выработанное пространство за счет периодической укладки сплошных чурочных перемычек дополнительно увеличивает эффективность дегазации. Таким образом, охрана скважин в неконтролируемой части вентиляционной выработки позволяет существенно увеличить эффективность дегазации не только скважинами, но и «свечами». Повышение эффективности дегазации кровли скважинами приводит к увеличению перетока метана из разрабатываемого пласта, минуя очистную выработку, в выработанное пространство за счет разрежения, создаваемого вакуум-насосом в скважинах.

Ключевые слова: угольный пласт, очистной забой., дегазационные скважины, дегазация, выработка.

Основная часть высокопродуктивных лав в Донбассе обрабатывается по столбовой системе разработки, причем большинство из них проветривается по схемам типа 1-М, когда исходящая вентиляционная струя направляется в сторону угольного массива и вентиляционная выработка за очистным забоем не поддерживается и не контролируется. В этих условиях дегазационные скважины можно бурить только впереди очистного забоя навстречу его движению. Количество скважин, работающих одновременно до подработки их устьев, обычно не превышает три. Такие скважины сообщаются с породами кровли, разгруженными от горного давления, в непосредственной близости от забоя, где метановыделение из подработанных угольных пластов и пород не достигает максимума. Это, в конечном счете, ограничивает дебит скважин и их эффективность, как правило, не превышает 30% [1 -3], что не позволяет в полной мере использовать технические возможности современной техники выемки.

Для повышения эффективности дегазации по специальным рекомендациям ИГТМ НАН Украины оставляют скважины, соединенные с газопроводом в неконтролируемой части вентиляционной выработки за очистным забоем. В некоторых случаях это мероприятие дало возможность повысить эффективность скважин в 1,5-2,0 раза и достичь 75%. В ряде случаев скважины и трубопроводы разрушались, содержание метана в каптируемом газе падало и нужный эффект не достигался. Таким образом, для достижения эффективности дегазации кровли скважинами, пробуренными навстречу очистному забою, уровня 60-75%, необходимо обеспечить их охрану от разрушения в неконтролируемой части вентиляционной выработки на расстоянии не менее, чем 200 м от лавы.

Кроме дегазации пород кровли скважинами на шахтах применяется дегазация выработанного пространства отрогками («свечами») от газопровода, оставляемого в неконтролируемой части вентиляционного штрека. Эффективность дегазации в этом случае зависит от расхода каптируемой газовой смеси, сохранения «свечей» и трубопровода в выработанном пространстве. В случае одновременного применения дегазации скважинами и «свечами» (комплексная дегазация) эффективность дегазации выработанного пространства может достигать 95,0%. Однако нормативной базы для проектирования настолько эффективной дегазации нет, поскольку отсутствовали рекомендации по обеспечению сохранения газопроводов и скважин в выработанном пространстве.

Цель данной статьи изучить связь между деформациями пород вблизи ствола дегазационной скважины, оставленной в неконтролируемой выработке, за счет способа ее охраны и ее аэродинамического сопротивления в углепородном массиве.

Состояние скважин и трубопроводов неразрывно связано с состоянием выработки, из которой они пробурены. Необходимо выбрать такие способы и средства охраны, при которых деформации поперечного сечения выработки будут минимальны на расстоянии не менее 200 м от забоя лав, а скважины и

трубопроводы на этом участке будут не нарушены.

Опыт ведения горных работ на шахтах Донбасса [1- 5] показал, что в тех случаях, когда дегазационные скважины бурятся позади очистного забоя, из выработки, поддерживаемой за лавой, эффективность дегазации кровли при соблюдении технологии ведения дегазационных работ может достигать 75%. Такая эффективность достигается при работе 8-12 скважин, находящихся на расстоянии до 200 м от очистного забоя. На расстоянии более 200 м такие скважины, как правило, прекращают работать и их отключают от дегазационного газопровода. Высокая эффективность дегазации в этом случае обусловлена тем, что в результате охраны скважины от разрушения ее ствол над выработанным пространством остается целостным. Это подтверждено неоднократным зондированием скважин и исследованием притоков метана по ее длине [4. Среднее расчетное аэродинамическое сопротивление путей движения метана к охраняемой скважине не нарушается ($R_{c.p}$, мм рт.ст.мин²/м⁶), рассчитывается в этом случае по формуле [6, 7]:

$$R_{c.p} = 5,0 \cdot 10^4 \cdot I_{кр}^{-1,5} \cdot n_c^{0,82} \left(\frac{h_{cp}}{m_8} \right)^{-1,1} \exp(-30 \cdot d_c), \quad (1)$$

где $I_{кр}$ - метановыделение из подрабатываемых пластов и пород, м³/мин; n_c - количество одновременно работающих скважин; h_{cp} - расстояние от кровли разрабатываемого пласта до конца ненарушенной части скважин, м; d_c - диаметр скважины, м

$$h_{cp} = l_2 \cdot \sin(\beta' + \alpha), \quad (2)$$

где l_2 - глубина обсадки скважины, м; α - угол залегания пласта град.; β' - проекция угла наклона скважины на вертикальную плоскость, проходящую перпендикулярно выработке, из которой она пробурена, град.

$$\beta' = \arctg \left(\frac{tg\beta}{\cos(90 - \varphi)} \right), \quad (3)$$

где β - угол наклона скважины к горизонту град.; φ - угол поворота скважины от оси выработки, град.

От аэродинамического сопротивления путей движения метана к скважинам и разрежение в их устьях в основном и зависит дебит каптируемого метана, а, следовательно, и эффективность дегазации. Расход метана, который может быть каптирован ненарушенными скважинами ($I_{c.общ}$, м³/мин), определяется по эмпирической формуле:

$$I_{c.общ} = \frac{\sqrt{R_{c.p} \cdot B_y \cdot n_c}}{R_{c.p}}, \quad (4)$$

где B_y - разрежение в скважинах, мм рт.ст.

Как известно [2, 3], если скважины бурятся впереди очистного забоя, то после прохода лавы под их устьями они разрушаются в выработанном пространстве. При этом аэродинамическое сопротивление путей движения метана к скважинам увеличивается, что приводит к снижению эффективности дегазации, которая в таких случаях составляет 5-30%. В неконтролируемой части вентиляционного штрека нет доступа к скважинам, потому нет возможности определить количество работающих скважин, измерять дебит метана по каждой отдельной скважине и провести её зондирование. В связи с этим в настоящей работе исследовалась связь между деформацией пород вокруг ствола дегазационной скважины в зависимости от способа ее охраны и её аэродинамическим сопротивлением. Эта связь оценивалась по суммарному дебиту скважин и фактической эффективности дегазации. Среднее сопротивление одной скважины будем рассчитывать из условия, что в работе находится десять скважин. Общее фактическое аэродинамическое сопротивление путей движения метана к скважине ($R_{с.общ.ф}$) определяется по формуле:

$$R_{с.общ.ф} = \frac{V_{у.ф}}{I_{с.общ.ф}^2}, \quad (5)$$

где $I_{с.общ.ф}$ - фактический суммарный дебит скважин, м³/хв.; $V_{у.ф}$ - фактическое разрежение, мм рт.ст.

Среднее фактическое сопротивление ($R_{с.ф}$) определяется по формуле:

$$R_{с.ф} = \frac{V_{у.ф} \cdot n_c^2}{I_{с.общ.ф}^2}. \quad (6)$$

Объектом для проведения исследований была выбрана 1-я северная лава блока №3 угольного пласта d₄ ПАО «ШУ «Покровское». Выемочный участок 1-й северной лавы блока №3 пласта d₄ (лава коренная) расположен в северо-западной части шахтного поля. Конвейерный штрек пройден на глубине 580 м, вентиляционный – на глубине 550 м. Угол падения пласта 3-5°. Свойства угольного пласта d₄ в 1-й северной лаве приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сведения о разрабатываемом угольном пласте d₄ в условиях ШУ «Покровское»

Средняя вынимаемая мощность, м	Плотность угля, т/м ³	Зольность угля, %	Влажность угля, %	Выход летучих, %	Природная метаноносность, м ³ /т с.б.м.
1,45	1,34	5,4-34,6	3,0-3,5	29,1-31,0	16,0

Система разработки – столбовая. Лава отрабатывается по простиранию угольного пласта d₄. Управление кровлей – полное обрушение. Длина выемочного поля 910 м. Длина лавы – 256 м. Выемка угля производится комбайном РКУ-13 с механизированным комплексом ЗКД-90. Минимальная

площадь поперечного сечения призабойного пространства лавы в свету - 3,1 м². Схема проветривания выемочного участка возвратноточная с выдачей исходящей струи на массив угля – типа 1-М-Н-в-вт. Анализ расположения сближенных угольных пластов относительно разрабатываемого угольного пласта d₄ приведен табл. 2.

Таблица 2 - Расположение сближенных пластов относительно пласта d₄

Символ	Скважина №2864	
	мощность, м	расстояние от пласта d ₄ , м
б/с	0,3	196,8
б/с	0,3	186,8
б/с	0,35	127,6
б/с	0,3	49,0
d ₄ ²	0,3	39,6
d ₄ ¹	0,35	17,3
d ₄	1,5	0,0

Непосредственная кровля пласта представлена газоносным песчаником d₄sd₄¹ мощностью 13,8-15,1 м. На части выемочного поля между угольным пластом d₄ и песчаником залегает глинистый сланец мощностью до 2,2 м. В почве пласта залегает глинистый сланец мощностью 1,4-1,7 м и песчаник d₃1sd₄ мощностью 3,0-6,3 м.

Для обеспечения газовой безопасности на выемочном участке применялась дегазация пород кровли скважинами, пробуренными из вентиляционного штрека навстречу очистному забою, и выработанного пространства отрогками газопровода, оставляемыми в неконтролируемой части вентиляционного штрека («свечами»). После прохода лавы под устьями скважин их было рекомендовано не отключать, как предусмотрено, а оставлять работать в неконтролируемой части штрека [5]. Отсасывание газа из скважин осуществляется по газопроводу диаметром 325 мм на поверхностную вакуум-насосную станцию, а из выработанного пространства газ каптируется подземной дегазационной установкой по трубопроводу диаметром 325 мм. Дополнительно к дегазации, для ликвидации местных скоплений метана на сопряжении лавы с вентиляционным штреком осуществляется изолированный отвод его за пределы выемочного участка газоотсасывающей установкой с вентилятором ВМЦГ-7М.

Метанообильность выемочного участка 1-й северной лавы блока №3 угольного пласта d₄ и достигнутая фактическая эффективность дегазации оценивались по результатам наблюдений шахты и газовых съемок [7]. Измерениями определялись: средний расход газовой смеси, дебит и содержание метана в горных выработках и газопроводах. В очистной выработке поперечные газовые съемки проводились при работе комбайна. Наблюдения выполнялись по методике [8]: скорость движения воздуха в выработках измерялась анемометрами АПР-2, содержание метана - шахтными интерферометрами ШИ-11, автоматическими газоанализаторами «Сигнал-7»,

стационарными датчиками АКМ и лабораторным анализом проб газа на хроматографах «Газохром 3101» и ЛХМ-85. Кроме того, в дегазационных трубопроводах измеряли: скорость движения газовой смеси прибором LUGA, содержание метана шахтным интерферометром ШИ-12 и разрежение U-образным ртутным манометром.

В газоотсасывающем трубопроводе измеряли: скорость движения газовой смеси анемометром АПР-2, содержание метана шахтным интерферометром ШИ-11 и отбирали контрольные пробы газа для лабораторного анализа.

Эффективность дегазации кровли скважинами ($k_{д.с}$) рассчитывались по формуле:

$$k_{д.с} = \frac{\sum I_{скв}}{I_{кр}}, \quad (7)$$

где $I_{скв}$ - сумма дебитов метана, капируемого скважинами, м³/мин; $I_{кр}$ - метановыделение из кровли, м³/мин.

$$I_{кр} = I_{в.н} \cdot d_{кр} = (I_{уч} - I_{оч}) \cdot d_{кр}, \quad (8)$$

где $I_{в.н}$ - метановыделение из пластов-спутников и пород в выработанное пространство, м³/мин; $I_{уч}$ - общий дебит метана на участке, м³/мин; $I_{оч}$ - метановыделение в очистной выработке, м³/мин; $d_{кр} = 0,852$ - доля дебита метана из кровли в общем метановыделении из пластов-спутников и пород, доли ед.

Эффективность дегазации выработанного пространства ($k_{св}$) по отросткам газопровода («свечах») определялась как отношение дебита капируемого метана ($I_{св}$) к метановыделению в выработанное пространство после дегазации кровли скважинами ($I'_{в.н}$):

$$k_{св} = \frac{I_{св}}{I'_{в.н}} = \frac{I_{св}}{I_{уч} - I_{оч} - \sum I_{скв}}. \quad (9)$$

Эффективность изолированного отвода метана ($k_{з.о}$) из выработанного пространства за пределы выемочного участка по жесткому трубопроводу при помощи вентилятора ВМЦГ-7М рассчитывалась по формуле:

$$k_{з.о} = \frac{I_{з.о}}{I''_{в.н}} = \frac{I_{з.о}}{I_{уч} - I_{оч} - I_{скв} - I_{св}}, \quad (10)$$

где $I_{з.о}$ - дебит метана на всасе газоотводящего трубопровода, м³/мин; $I''_{в.н}$ - метановыделение в выработанное пространство после дегазации кровли скважинами и выработанного пространства «свечами».

Общую метанообильность выемочного участка определяли, как сумму

дебитов метана в исходящей струе ($I_{исх}$) и в газопроводах:

$$I_{уч} = I_{исх} + I_{скв} + I_{св} + I_{з.о}. \quad (11)$$

Общая эффективность дегазации участка ($k_{дег.уч}$) рассчитывалась по формуле:

$$k_{дег.уч} = \frac{I_{скв} + I_{св} + I_{з.о}}{I_{уч}}. \quad (12)$$

Далее были проведены исследования метанообильности выемочного участка и оценка аэродинамического сопротивления путей движения метана в углепородном массиве к скважине. Исследования были начаты, когда лава отошла от монтажной камеры на расстояние 185 м. В выработанном пространстве в это время находилось 20 скважин (10 кустов по две скважины), пробуренных в кровлю до пересечения с пластом-спутником d_4^2 (см. табл. 3). Неконтролируемая часть вентиляционного штрека охранялась деревянными кострами размером 1,4×1,4 м, установленными вплотную. Стояки под верхняки рам не устанавливались.

Таблица 3 – Параметры бурения скважин

Параметры	Единица измерения	Скв. №1	Скв. №2
Наклон к горизонту, β	град.	49	45
Разворот от оси штрека, φ	град.	35	0
Длина скважин, l_c	м	48	45
Конечный диаметр, d_c	мм	93	93
Диаметр обсадной трубы	мм	76	76
Глубина герметизации, l_2	м	10	10
Интервал между скважинами	м	15	

Расположение пунктов наблюдений в выработках 1-й северной лавы показано на рис. 1. Результаты наблюдений за дебитом метана в этой лаве представлены в табл. 4, а распределение дебитов метана по источникам выделения и способам дегазации - в табл. 5.

Первая газовая съемка, выполненная при отходе лавы на расстояние 185 м от монтажной камеры, показала, что при разрежении в трубопроводе $V_{у.ф} = 26$ мм рт.ст. дебит каптируемого метана составлял всего 1,1 м³/мин, а эффективность дегазации кровли скважинами - 4,4% (табл. 6). Содержание метана в каптируемом газе составляло всего 13,0%.

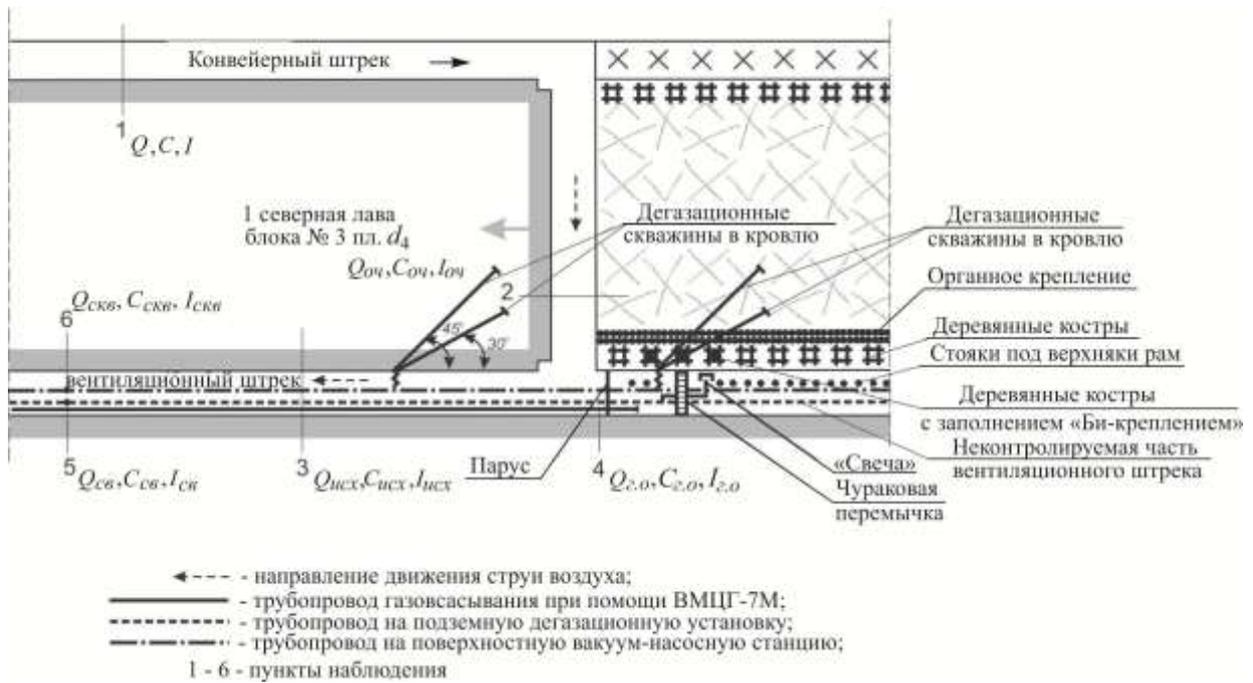


Рисунок 1 – Схема расположения пунктов наблюдений в 1-й северной лаве блока №3 пласта d_4 ШУ «Покровское»

Таблица 4 – Результаты наблюдений за дебитом метана на участке 1-й северной лавы пласта d_4 блока №3

Отход лавы от монтажной камеры, м	Средняя добыча, A_{ϕ} , т/сут	Дебит метана, м ³ /мин					общий на участке, $I_{уч}$
		в очистной выработке, $I_{оч}$	в исходящей струе, $I_{исх}$	в скважинах, $\sum I_{скв}$	в «свече», $I_{св}$	в газоотсосе, $I_{г.о}$	
185	4180	8,14	25,0	1,1	3,2	8,4	37,7
250	4156	6,42	18,8	7,8	4,5	6,5	37,6
460	3880	2,95	8,4	16,8	4,3	5,4	34,6
560	3000	2,4	4,0	23,4	6,3	5,1	38,8

Таблица 5 – Распределение дебитов метана по источникам выделения и способам дегазации

Отход лавы от монтажной камеры, м	Дебит метана, м ³ /мин								
	$I_{уч}$	$I_{оч}$	$I_{в.п}$	$I_{кр}$	$I_{скв}$	$I'_{в.п}$	$I_{св}$	$I''_{в.п}$	$I_{г.о}$
185	37,7	8,14	29,56	25,2	1,1	28,5	3,2	25,3	8,4
250	37,6	6,42	31,18	26,6	7,8	23,4	4,5	18,9	6,5
460	34,6	2,95	31,65	27,0	16,8	14,8	4,3	10,5	5,4
560	38,8	2,4	36,4	31,0	23,4	13,0	6,3	6,7	5,1

Таблица 6 – Эффективность скважин, «свечей» и газоотсоса с помощью Вентилятора ВМЦГ-7М

Отход лавы от монтажной камеры, м	Эффективность дегазации, %							
	кровли и скважинами, $k_{д.с}$	выработанного пространства			выемочного участка			
		«свечам и», $k_{св}$	ВМЦГ, $k_{г.о}$	общая	скважинами, $k_{д.с}$	«свечи», $k_{св}$	ВМЦГ, $k_{г.о}$	общая
185	4,4	11,3	33,2	43,0	2,9	8,5	22,3	33,7
250	29,3	19,2	34,4	60,3	20,7	12,0	17,3	50,0
460	62,2	29,1	51,4	83,7	48,0	12,0	15,6	76,6
560	75,5	48,5	76,1	95,6	60,3	16,2	13,1	89,7

Расчетное среднее аэродинамическое сопротивление скважин, рассчитанное по формуле (1), составляет:

$$R_{cp} = 5 \cdot 10^4 \cdot 25,2^{-1,5} 10^{0,82} \left(\frac{9,24}{1,45} \right)^{-1,1} \cdot \exp(-30 \cdot 0,093) = 20,91, \text{ мм. рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6,$$

$$h_{cp} = 10 \cdot \sin(63,5^\circ + 4^\circ) = 9,24 \text{ м},$$

$$\beta' = \arctg \left(\frac{tg 49^\circ}{\cos(90 - 35)} \right) = 63,5^\circ.$$

Фактическое общее сопротивление скважин равняется:

$$R_{с.общ.ф} = \frac{26}{1,1^2} = 21,49 \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Фактическое среднее сопротивление одной скважины равняется:

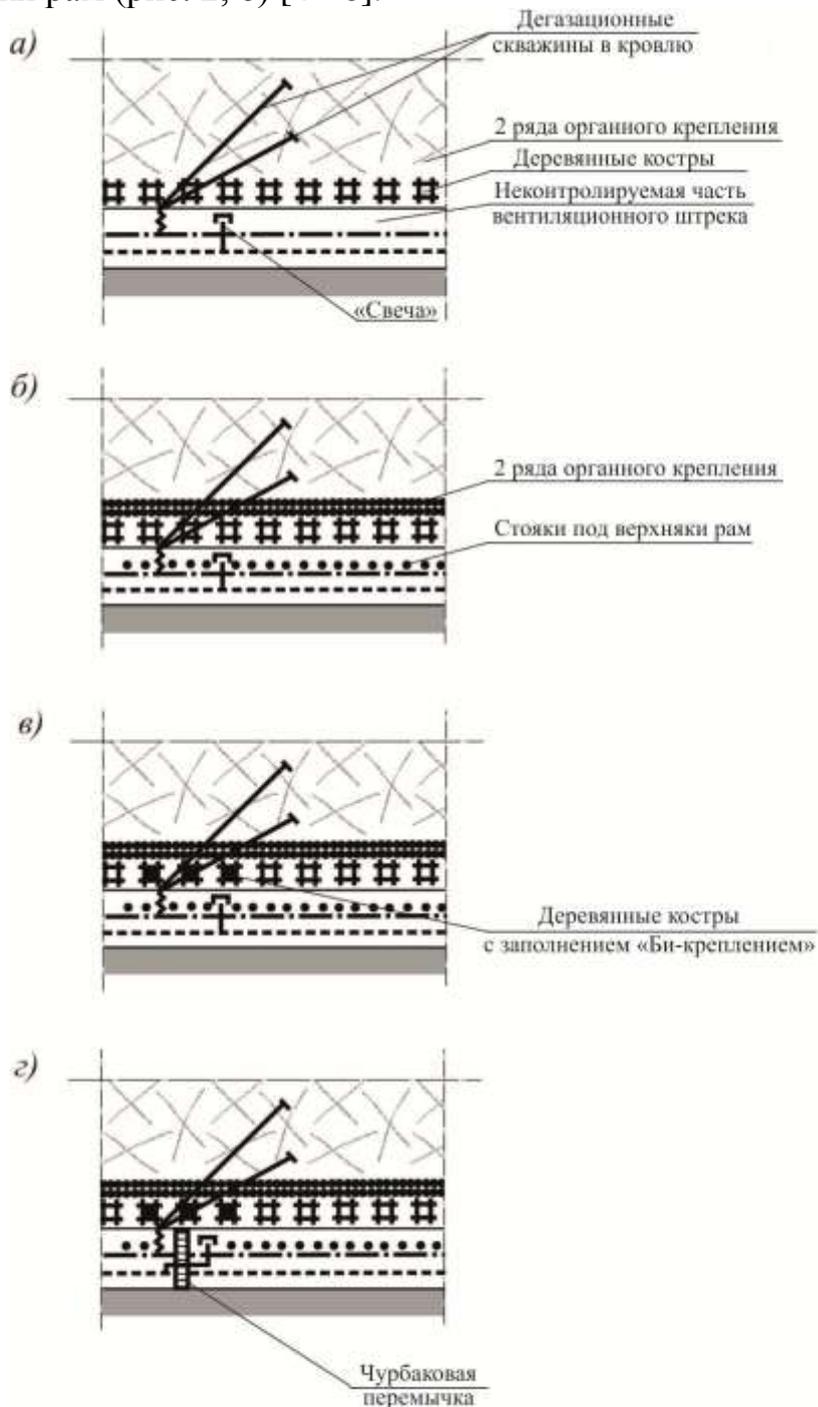
$$R_{с.ф} = \frac{46 \cdot 10^2}{1,1^2} = 2148,8 \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Фактическое среднее аэродинамическое сопротивление скважин превышает расчетное в 102,7 раза в результате их разрушения в выработанном пространстве. Этим и обусловлена низкая эффективность дегазации.

В неконтролируемой части вентиляционного штрека «свечи» также как и скважины разрушались, содержание метана в каптируемом газе было низким – 5,0%. Поэтому, соответственно, эффективность дегазации выработанного пространства составляла 11,3% (см. табл. 6).

Для повышения эффективности работы дегазационных скважин шахте было рекомендовано усилить охрану их устьев от разрушения, путем оборудования

двух рядов органной крепи дополнительно к деревянным кострам (рис. 2, а). А для повышения эффективности «свечей» рекомендовано усилить охрану неконтролируемой части вентиляционного штрека путем установки стояков под верхняки рам (рис. 2, б) [4 - 6].



- а) - в период отработки 185 м выемочного столба;
- б) - в период работы лавы от 185 м до 250 м отхода лавы от монтажной камеры;
- в) - в период работы лавы от 250 м до 460 м отхода лавы от монтажной камеры;
- з) - в период работы лавы после 460 м отхода лавы от монтажной камеры

Рисунок 2 – Схема охраны скважин и неконтролируемой части вентиляционного штрека ШУ «Покровское»

Влияние охраны скважин на их эффективность оценивалось, когда лава подвинулась еще на 65 м. В выработанном пространстве работали 8 защищенных от разрушения скважин (четыре куста). Дополнительная защита скважин и неконтролируемой части вентиляционного штрека двумя рядами органной крепи и стояками под верхняки рам позволила при разрежении в трубопроводе 34 мм рт.ст. поднять содержание метана в скважинах до 20,0% и увеличить его дебит до 7,8 м³/мин. Дебит каптируемого метана по «свечам» возрос до 4,5 м³/мин (см. табл. 4).

Эффективность дегазации скважинами и «свечами» при этом увеличилась до 29,3% и 19,2% соответственно (см. табл. 6).

Расчетное среднее аэродинамическое сопротивление скважин, рассчитанное по формуле (1), составляет:

$$R_{cp} = 5 \cdot 10^4 \cdot 26,6^{-1,5} 8^{0,82} \left(\frac{9,24}{1,45} \right)^{-1,1} \cdot \exp(-30 \cdot 0,093) = 16,06 \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Фактическое общее сопротивление скважин равняется:

$$R_{c.общ.ф} = \frac{34}{7,8^2} = 55,9 \cdot 10^{-2} \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Фактическое среднее сопротивление одной скважины равняется:

$$R_{c.ф} = \frac{34 \cdot 8^2}{7,8^2} = 35,8 \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Фактическое среднее аэродинамическое сопротивление скважин превышает расчетное в 2,2 раза. Следовательно, это существенный резерв для увеличения эффективности дегазации.

Для дальнейшего повышения эффективности дегазации углепородного массива в лаве было рекомендовано перейти на бурение скважин диаметром 114 мм, а под их устьями не менее трёх деревянных костров заполнять быстротвердеющим материалом, типа «Би-крепь» (рис. 2, в).

Эффективность этих мероприятий (по изменению диаметра дегазационных скважин) оценивалась, когда лава подвинулась еще на 210 м. В выработанном пространстве уже находились 24 скважины (12 кустов). Каждый куст скважин был защищен тремя деревянными кострами, заполненными быстротвердеющим материалом «Би-крепь» и двумя рядами органной крепи. Наблюдения показали, что при разрежении в трубопроводе 41 мм рт.ст. дебит метана в скважинах вырос к 16,8 м³/мин (табл. 4), а его содержание в каптируемом газе увеличилось до 42,0%. Это позволило начать утилизацию каптируемого метана в шахтной котельной. Эффективность дегазации кровли составила 62,2% (табл. 5). При схеме проветривания типа 1-М такая эффективность дегазации кровли скважинами была достигнута на шахте впервые.

За счет снижения деформаций неконтролируемой части вентиляционного

штрека существенно (на 10,1%) поднялась и эффективность «свечей» (табл. 5). Расчетное среднее аэродинамическое сопротивление скважин, рассчитанное по формуле (1), составляет:

$$R_{cp} = 5 \cdot 10^4 \cdot 27,0^{-1,5} \cdot 10^{0,82} \left(\frac{9,24}{1,45} \right)^{-1,1} \cdot \exp(-30 \cdot 0,114) = 10,04 \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Фактическое общее сопротивление скважин равняется:

$$R_{c.общ.ф} = \frac{41}{16,8^2} = 14,5 \cdot 10^{-2} \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Фактическое среднее сопротивление одной скважины равняется:

$$R_{c.ф} = \frac{41 \cdot 10^2}{16,8^2} = 14,5 \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

За счет снижения деформаций неконтролируемой части вентиляционного штрека существенно (на 10,1%) поднялась и эффективность «свечей» (табл. 5). Расчетное среднее аэродинамическое сопротивление скважин, рассчитанное по формуле (1), составляет:

$$R_{cp} = 5 \cdot 10^4 \cdot 27,0^{-1,5} \cdot 10^{0,82} \left(\frac{9,24}{1,45} \right)^{-1,1} \cdot \exp(-30 \cdot 0,114) = 10,04 \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Фактическое общее сопротивление скважин равняется:

$$R_{c.общ.ф} = \frac{41}{16,8^2} = 14,5 \cdot 10^{-2} \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Фактическое среднее сопротивление одной скважины равняется:

$$R_{c.ф} = \frac{41 \cdot 10^2}{16,8^2} = 14,5 \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Фактическое среднее аэродинамическое сопротивление скважин больше расчетного в 1,44 раза. Поэтому на последующий период работы лавы для снижения утечек воздуха через выработанное пространство и повышения эффективности охраны скважин и неконтролируемой части вентиляционного штрека, шахте было рекомендовано через каждые 30 м подвигания лавы перед кустами скважин на сопряжении лавы с вентиляционным штреком выкладывать чураковые перемычки и заводить за них «свечи» (см. рис. 2, г). Эффективность всего комплекса мер была оценена, когда лава отработала еще 100 м выемочного столба. За это время было пробурено семь кустов скважин (14 скважин). Перед четырьмя кустами были выложены чураковые перемычки.

Наблюдения показали, что при разрежении в трубопроводе 44 мм рт.ст. суммарный дебит метана в скважинах увеличился до 23,4 м³/мин, что составило 75,5% метановыделения из кровли. Дебит метана, каптируемого «свечами», увеличился до 6,3 м³/мин, а их эффективность поднялась до 48,5% (см. таблицы 4 и 6).

Расчетное среднее аэродинамическое сопротивление скважин, рассчитанное по формуле (1), составляет:

$$R_{cp} = 5 \cdot 10^4 \cdot 31,0^{-1,5} \cdot 10^{0,82} \left(\frac{9,24}{1,45} \right)^{-1,1} \cdot \exp(-30 \cdot 0,114) = 8,16 \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Фактическое общее сопротивление скважин равняется:

$$R_{c.общ.ф} = \frac{44}{23,4^2} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Фактическое среднее сопротивление одной скважины равняется:

$$R_{c.ф} = \frac{44 \cdot 10^2}{23,4^2} = 8,0 \text{ мм рт.ст.} \cdot \text{мин}^2/\text{м}^6.$$

Анализ выполненных исследований показывает, что качественная охрана устьев скважин и неконтролируемой части вентиляционной выработки от разрушения позволяет существенно снизить аэродинамическое сопротивление путей движения метана в массиве к скважинам и за счет этого повысить эффективность дегазации кровли до уровня 60-75%. При этом увеличивается и эффективность дегазации выработанного пространства «свечами».

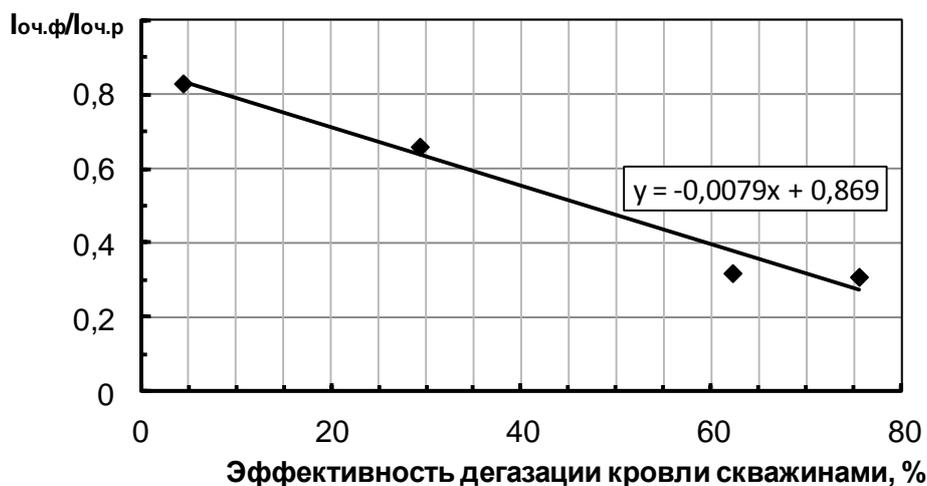
По мере повышения эффективности дегазации скважинами и «свечами» дебит метана в изолированном отводе снижался с 8,4 до 5,1 м³/мин (см. табл. 4). При этом его эффективность увеличилась с 32,2 до 76,1 %, а значимость в обеспечении газовой безопасности выемочного участка уменьшилась с 22,3 до 13,1 % (см. табл. 6).

Обращает на себя внимание тот факт, что с ростом эффективности дегазации скважинами выделение метана в очистную выработку при работе комбайна снизилось с 8,14 до 2,4 м³/мин, а метановыделение в выработанное пространство увеличилось с 29,56 м³/мин до 36,4 м³/мин. Общий дебит метана на участке оставался, практически, неизменным (см. таблицы 4 и 5). Такой газовый баланс свидетельствует о перетоке метана из разрабатываемого угольного пласта, минуя очистную выработку, в выработанное пространство за счет разрежения, создаваемого вакуум-насосом в скважинах. Зависимость величины такого перетока от горно-геологических условий требует дополнительных специальных исследований.

В условиях 1-й северной лавы пласта d₄ сравнение фактического метановыделения в очистную выработку с рассчитанным по нормативному документу [7] показало существенное его отличие (табл. 7), особенно при эффективности дегазации более 60% (рис. 3).

Таблица 7 – Фактический дебит метана в очистную выработку и эффективность дегазации кровли скважинами

Среднесуточная добыча, т	Скорость подвигания очистного забоя, м/сут	Дебит метана в очистной выработке, м ³ /мин		Отношение фактического дебита к расчетному, $I_{оч.ф}/I_{оч.р}$	Эффективность дегазации кровли скважинами, $k_{д.с}$
		фактический, $I_{оч.ф}$	расчетный, $I_{оч.р}$		
4180	8,6	8,14	9,82	0,83	4,4
4156	8,5	6,42	9,77	0,66	29,3
3880	8,0	2,95	9,29	0,32	62,2
3000	6,2	2,4	7,84	0,31	75,5

Рисунок 3 – Отношение фактического дебита метана в очистной выработке ($I_{оч.ф}$) к расчетному ($I_{оч.р}$) от эффективности дегазации кровли скважинами

Далее лава отработывалась с охраной скважин в неконтролируемой части вентиляционного штрека путем возведения двух рядов органной крепи, деревянных костров (под кустами скважин не менее трёх деревянных костров заполнялись быстротвердеющим материалом «Би-крепь») и чураковых перемычек, возводимых через каждые 30 м перед кустами скважин (см. рис. 2, г).

При этом, эффективность дегазации кровли скважинами составляла 70-75%, выработанного пространства «свечами» - от 45 до 50%, а изолированного отвода метана с помощью газоотсасывающего вентилятора ВМЦГ-7М – от 70 до 78%. Общая эффективность дегазации выемочного участка составляла 87 - 90% [3, 9].

Таким образом, выполненные исследования показали реальность обеспечения эффективности дегазации кровли скважинами, пробуренными навстречу очистному забою на уровне 60-75% при условии обеспечения их охраны от разрушения (см. рис. 2, в и г). Надежная охрана скважин в неконтролируемой части вентиляционной выработки, а также снижение утечек воздуха через выработанное пространство за счет периодического обустройства

сплошних чураковых перемычек (см. рис. 2, г), позволяет существенно увеличить эффективность дегазации не только скважинами, но и «свечами». Повышение эффективности дегазации кровли скважинами приводит к увеличению перетока метана из разрабатываемого пласта, минуя очистную выработку, в выработанное пространство за счет разрежения, создаваемого вакуум-насосом в скважинах.

Таким образом, выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Скорректированная зависимость для расчета аэродинамического сопротивления газоотводящей неконтролируемой выработки и выбора источника тяги при проектировании дегазации и изолированного отвода метана может быть в дальнейшем корректно использована. Кроме этого, используя расчетные значения аэродинамического сопротивления неконтролируемой выработки, можно будет рассчитать среднюю площадь поперечного сечения неконтролируемой выработки на разном расстоянии от очистного забоя, где остаются подключенными к газопроводу дегазационные скважины и установленные отростки газопровода («свечи»).

2. Оценка влияния смещения пород на аэродинамическое сопротивление путей движения метана к скважине в зависимости от способов её охраны и поддержки исследовалась в условиях 1-й северной лавы пласта d_4 блока №3 ШУ «Покровское». В результате исследований установленная реальность обеспечения эффективности дегазации кровли скважинами, пробуренными навстречу очистному забою на уровне 60-75% при условии обеспечения их охраны от разрушения (см. рис. 2, в, г).

3. Надежная охрана скважин и неконтролируемой части вентиляционной выработки, а также снижение утечек воздуха через выработанное пространство за счет периодической сводки сплошных чураковых перемычек (см. рис. 2, г), позволяет существенно увеличить эффективность дегазации не только скважинами, но и «свечами». Повышение эффективности дегазации кровли скважинами приводит к увеличению перетока метана из разрабатываемого пласта, минуя очистную выработку, в выработанное пространство за счет разрежения, создаваемого вакуум-насосом в скважинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ильяшов М.А., Агафонов А.В., Кочерга В.Н., Бондарь А.А. Особенности метановыделения в высоконагруженных очистных забоях. // Уголь. 2010. №7. С. 24.
2. Минеев С.П., Кочерга В.Н., Янжула А.С. Закономерности метановыделения при высоких скоростях подвигания очистного забоя // Уголь Украины. 2015. №7,8. С. 26-31.
3. Mineev S.P., Kocherga V.N., Narivskiy R.N., Yanzhula A.S. Questions of the analysis of the applicable schemes of conveying the moving sites on Ukrainian mines and effectiveness of degasation // The International Scientific Periodical Journal "Modern Scientific Researches". Minsk, Belarus, 2018. Issue №3, Vol. 1. Pp. 35-43.
4. Ильяшов М.А., Агафонов А.В., Бондарь А.А., Кочерга В.Н. О корректировке учета метанообильности выработок при интенсивной разработке тонких пологих угольных пластов. Материалы IV Международной научно-практической конференции 12-18 сентября 2010 года, Днепропетровск, НГУ. С.25.
5. Минеев С.П., Кочерга В.Н., Лыжков М.В. Вопросы комплексной дегазации добычных участков на примере шахты «Краснолиманская» // Вісті Донецького гірничого інституту. 2015. №1 (36) №2 (37). С. 58-63.
6. СОУ 10.1.00174088.001-2004. Дегазация угольных шахт. Требования к способам и схемы дегазации. Введ. 2005.01.08. Киев, 2005. 163 с.

7. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Киев: Основа, 1994. 307 с.
8. ДНАОП 10.1.30-5.19-96 Руководстве по производству депрессионных и газовых съемок в угольных шахтах. Том 1. Київ: Основа, 1996. С. 272-315.
9. Минеев С.П. Прогноз и способы борьбы с газодинамическими явлениями на шахтах Украины. Днепропетровск: Восточный издательский дом, 2016. 258 с.

REFERENCES

1. Iliashov M., Ahafonov A., Kocherha V., Bondar A. (2010), «Peculiarities of methane release in high-loaded working faces», *Coal*, no. 7, p. 24.
2. Mineev S., Kocherha V. and Yanzhula A. (2015), «Regularities of methane release at high speeds of moving stope face», *Coal of Ukraine*, no. 7,8, pp. 26- 31.
3. Mineev S., Kocherga V, Narivskiy R. and Yanzhula. A. (2018), «Questions of the analysis of the applicable schemes of conveying the moving sites on Ukrainian mines and effectiveness of degasation», *The International Scientific Periodical Journal "Modern Scientific Researches"*, Minsk, Belarus, Issue 3, Vol. 1, pp. 35-43.
4. Iliashov M., Ahafonov A., Bondar A. and Kocherga V. (2010), «On the adjustment of accounting methane abundance workings with the intensive development of thin flat coal seams», *Materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference], Dnipropetrovsk, UA, September 12-18. 2010., P. 25.
5. Mineev S., Kocherga V. and Lyzhkov M. (2015), «Issues of complex degassing of extractive plots on the example of the Krasnolimanskaya mine», *Visti Donetskoho hirnychoho instytutu*, no. 1(36) no. 2(37), pp. 58-63.
6. Ministry of Coal Industry of Ukraine (2005), *SOU 10.1.00174088.001-2004: Degazatsiya ugolnykh shakht. Yrebovaniya k sposobam i skhemy degazatsii* [SOU 10.1.00174088.001-2004: Degassing of coal mines. Requirements for methods and degassing schemes], Kiev, UA.
7. *Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyatsii ugolnykh shakht* [Guidelines for the design of the ventilation of coal mines] (1994), Osнова, Kiev, UA.
8. Register of Government Regulations on Labor Protection (1996), *DNAOP 10.1.30-5.19-96 Rukovodstvo po proizvodstvu depressiionnykh i gazovykh syemok v ugolnykh shakhtakh* [DNAOP 10.1.30-5.19-96 Guidelines for the production of depression and gas surveys in coal mines.], Vol. 1, Osнова, Kyiv, UA.
9. Mineev S. (2016), *Prognoz i sposoby borby s gazodynamicheskimi yavleniyamy* [Forecast and ways to combat gas-dynamic phenomena in the mines of Ukraine], Skhidnyi vidavnychy dim, Dnipropetrovsk, UA.

Об авторах

Минеев Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, sergminee@gmail.com,

Кочерга Виктор Николаевич, кандидат технических наук, главный технолог отдела управления динамическими проявлениями горного давления, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина

Корнеев Юрий Геннадьевич, магистр, генеральный директор ГП «Мирноградуголь», Покровск, Украина

Янжула Алексей Сергеевич, магистр, главный инженер ШУ «Покровское», Покровск, Украина

Гулай Алексей Александрович, магистр, ведущий инженер участка вентиляции и техники безопасности шахтоуправления «Покровское», Покровск, Украина

Самопаленко Петр Михайлович, магистр, заместитель начальника 10 отряда ГВГСС, Мирноград, Украина

About the authors:

Minieiev Serhii Pavlovych, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Head of the Department of Pressure Dynamics Control in Rocks of the Institute of Geotechnical Mechanics by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, sergminee@gmail.com,

Kocherha Viktor Mykolaiovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Chief Technologist sn the Department of Pressure Dynamics Control in Rocks of the Institute of Geotechnical Mechanics by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine

Kornieiev Yurii Hennadiiovych, Master of Science, General Director of the State Enterprise "Mironogradugol", Pokrovsk, Ukraine

Yanzhula Oleksii Serhiiovych, Master of Science, Chief Engineer of MM "Pokrovskoye", Pokrovsk, Ukraine

Hulay Oleksii Oleksandrovych, Master of Science, Principal Engineer in VTB Department of MM "Pokrovskoye", Pokrovsk, Ukraine

Samopalenko Petro Mykhailovych, Master of Science, Deputy Head of the 10th detachment of the State Militarized Mine Resque Parts, Mironograd, Ukraine

Анотація. Більшість високопродуктивних лав у вугільних шахтах на Україні відпрацьовується по стовповій системі розробки, причому основні з них провітрюється за схемами ти-па 1-М, коли виходить вентиляційна струмінь направляється в сторону вугільного масиву і вентиляційна вироблення за очисним забоем не підтримує і не контролюється. Тому дегазаційні свердловини буряться попереду очисного вибою назустріч його руху.

Кількість свердловин, що працюють одночасно до підробітку їх усть, зазвичай не перевищує три. Такі свердловини повідомляються з породами покрівлі, розвантаженими від гірського тиску, в безпосередній близькості від забою, де метановиділення з підроблених вугільних пластів і порід не досягає максимуму. Це обмежує дебіт свердловин і їх ефективність, як правило, не перевищує 30%. Для підвищення ефективності дегазації залишаються свердловини, з'єднані з газопроводом в неконтрольованій частині вентиляційної виробки за очисним забоєм. У деяких випадках застосування цього заходу дало можливість підвищити ефективність свердловин в 1,5-2,0 рази і досягти 75%. У ряді випадків свердловини і трубопроводи руйнувалися, вміст метану в каптованого газі падало і потрібний ефект не досягався. Для досягнення ефективності дегазації виконано оцінку впливу зміщення порід на аеродинамічний опір шляхів руху метану до свердловини в залежності від способів її охорони для умов пласта d_4 блоку №3 ШУ «Покровське». В результаті досліджень встановлена реальність забезпечення ефективності дегазації покрівлі свердловинами, пробурених назустріч очисному забою на рівні 60-75% за умови забезпечення їх охорони від зруйнування. Надійна охорона свердловин у неконтрольованій частині вентиляційної виробки, а також зниження витоків повітря через вироблений простір за рахунок періодичної укладання чуракових перемичок збільшує ефективність дегазації. Таким чином, охорона свердловин в неконтрольованій частині вентиляційної виробки дозволяє істотно збільшити ефективність дегазації не тільки свердловинами, а й «свічками». Підвищення ефективності дегазації покрівлі свердловинами призводить до збільшення перетоку метану з пласта, минаючи очисну виробку, в вироблений простір за рахунок розрідження, створюваного вакуумом в свердловинах.

Ключові слова: вугільний пласт, очисний вибій, дегазаційні свердловини, дегазація, виробка.

Abstract. Most of the highly productive lavas in coal mines in Ukraine are processed by a pillar-based development system, and most of them are ventilated according to the 1-M schemes, when the outgoing ventilation stream is directed towards the coal massif and the ventilation output is not maintained and is not controlled. Therefore, degassing wells are drilled ahead of the stope to meet its movement. The number of wells operating simultaneously until their mouths are completed, usually does not exceed three. Such wells communicate with the roof rocks unloaded from the rock pressure in the immediate vicinity of the face where the methane release from undermined coal beds and rocks does not reach a maximum. This limits the flow rate of wells and their efficiency, as a rule, does not exceed 30%. To increase the efficiency of degassing, wells are left that are connected to the gas pipeline in the uncontrolled part of the ventilation preparation after the cleaning face. In some cases, the use of this event made it possible to increase the efficiency of wells by 1.5-2.0 times and reach 75%. In some cases, the wells and pipelines were destroyed, the methane content in the gas being captured fell and the desired effect was not achieved. To achieve the efficiency of degassing, an assessment was made of the effect of rock displacement on the aerodynamic resistance of methane paths to the well, depending on the methods of its protection for reservoir conditions d_4 of unit No. 3 of the Shuv Pokrovskoe. As a result of the studies, the established reality of ensuring the effectiveness of roof degassing by wells drilled towards the face at a level of 60-75%, provided that they are protected from destruction. Reliable protection of the wells and the uncontrolled part of the ventilation output, as well as the reduction of air leaks through the worked out space due to the laying of solid churakov jumpers, additionally increases the degassing efficiency. Thus, the protection of wells in the uncontrolled part of the ventilation output can significantly increase the efficiency of degassing, not only wells, but also "candles". Improving the efficiency of roof drainage by wells leads to an increase in the flow of methane from the reservoir under development, bypassing the clearing generation into the developed space due to the vacuum created by the vacuum pump in the wells.

Keywords: coal seam, degassing wells, degassing, production, working out.

Стаття надійшла до редакції 26.07. 2018

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук С.А. Курносовим