

УДК 622.411.33

к.т.н. Павлов В. И.,
Кулакова С. И.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НОРМАТИВНОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ВЫСОКОМ УРОВНЕ УГЛЕДОБЫЧИ

Математический анализ результатов исследований МакНИИ метанообильности выемочных участков, оборудованных высокопроизводительными механизированными комплексами, выявил отклонение расчётных значений коэффициента неравномерности метановыделений по нормативной методике от фактических значений. Установлено, что для обеспечения газовой безопасности без снижения интенсивности отработки угольных пластов возможна корректировка нормативной методики на основе уточнения по данным шахтного мониторинга в используемых зависимостях влияния высоких нагрузок.

Ключевые слова: высокие нагрузки, очистной забой, метановыделение, мониторинг, максимальные значения, коэффициент неравномерности, расчёт, газовая безопасность, механизированный комплекс.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Экономически эффективная эксплуатация современного высокопроизводительного оборудования обеспечивается достаточно высокими нагрузками на механизированные комплексы. Однако на высокометаноносных угольных пластах добыча ограничивается пределом по газовому фактору. Вместе с тем на многих шахтах отмечена возможность превышения предельной нагрузки без снижения газовой безопасности, что убедительно свидетельствует о неточности нормативной методики прогноза метановыделения. Общеизвестно, что эта ситуация обусловлена недостаточным исследованием влияния высоких нагрузок, которые достигаются современными механизированными комплексами. В связи с этим актуальной научной задачей является изучение влияния высоких уровней нагрузки на процесс метановыделения.

В работе [1] была проведена специальная проверка влияния нагрузки на дебит метана в очистные выработки, оборудованные современными механизированными комплексами. Исследованием было охвачено 33 лавы на 6-ти шахтах Донбасса. Диапазон нагрузок на очистные забои со-

ставлял от 300 до 3980 т/сут, скорость подвигания — от 0,5 до 6,9 м/сут. Было установлено, что относительное отклонение фактического метановыделения от расчётного зависит от нагрузки на очистной забой:

$$\frac{I_{\text{ф}}}{I_{\text{р}}} = 61,4 A^{-0,637}, \quad (1)$$

где $I_{\text{ф}}$ — фактическое метановыделение, м³/мин; $I_{\text{р}}$ — расчётное метановыделение, м³/мин; A — нагрузка на очистной забой, т/сут.

Как следует из этого уравнения, фактическое метановыделение с увеличением нагрузки существенно снижается и при $A = 4000$ т/сут составляют около 30 % от расчётного значения. При этом не исследован вопрос, допустимо ли при высоких нагрузках снижение количества воздуха для проветривания очистного забоя, так как необходимое количество воздуха определяется из условия разбавления не среднего метановыделения, а максимального. Последнее определяется с учётом среднего метановыделения \bar{I} и коэффициента неравномерности $k_{\text{н}}$ по формуле

$$I_{\max} = \bar{I} \cdot k_{\text{н}}. \quad (2)$$

В анализируемой работе нет данных об изменении коэффициента неравномерности метановыделения $k_{\text{н}}$. Согласно нормативной методике [2] он определяется по формуле

$$k_{\text{н}} = 1,94 \cdot \bar{I}^{-0,14}. \quad (3)$$

При уменьшении среднего метановыделения коэффициент неравномерности должен увеличиваться и, следовательно, может расти максимальное метановыделение и, соответственно, необходимое количество воздуха.

Постановка задачи. Задачей данной работы является оценка точности нормативной методики расчёта максимальных метановыделений и возможности её корректировки для обеспечения газовой безопасности при отработке высокометаносных угольных пластов современными механизированными комплексами.

Изложение материала и его результаты. Если допустить, что зависимость (3) не изменяется при увеличении нагрузки, то можно установить, как изменяются относительные максимальные значения метановыделения $I_{\text{ф.макс}}/I_{\text{р.макс}}$ и отклоняются ли расчётные значения коэффициента неравномерности от фактических значений $k_{\text{н.ф}}/k_{\text{н.р}}$.

Выражая максимальные метановыделения через уравнение (2), а коэффициент неравномерности через (3), получим

$$\frac{I_{\text{ф.макс}}}{I_{\text{р.макс}}} = \frac{\bar{I}_{\text{ф}} \cdot 1,94 \cdot \bar{I}_{\text{ф}}^{-0,14}}{\bar{I}_{\text{р}} \cdot 1,94 \cdot \bar{I}_{\text{р}}^{-0,14}} = \left(\frac{\bar{I}_{\text{ф}}}{\bar{I}_{\text{р}}} \right)^{0,86}. \quad (4)$$

Из (1) следует, что

$$\bar{I}_{\text{ф}} = \bar{I}_{\text{р}} \cdot 61,4 A^{-0,637}. \quad (5)$$

Подставляя (5) в (4), после упрощения получим

$$\frac{I_{\text{ф.макс}}}{I_{\text{р.макс}}} = 34,5 A^{-0,548}. \quad (6)$$

Так как максимальные значения зависят не только от средних значений метановыделения, но и от коэффициента $k_{\text{н}}$, далее необходимо уточнить, как зависит отношение фактического значения коэффициента неравномерности к расчётному от нагрузки на очистной забой. Для этого выражение (6) представим в виде

$$\frac{\bar{I}_{\text{ф}} \cdot k_{\text{н.ф}}}{\bar{I}_{\text{р}} \cdot k_{\text{н.р}}} = 34,5 A^{-0,548}, \quad (7)$$

откуда с учётом (1) получаем

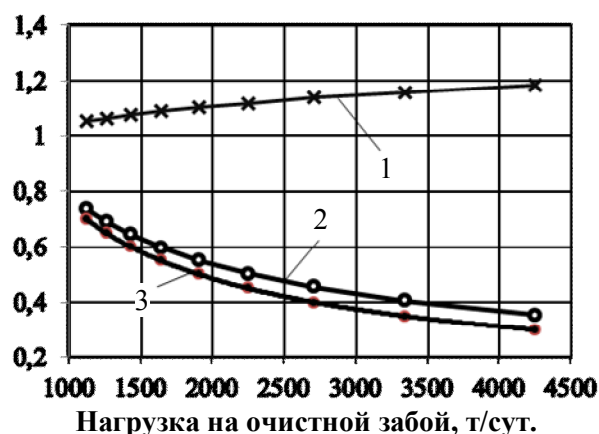
$$\frac{k_{\text{н.ф}}}{k_{\text{н.р}}} = \frac{\bar{I}_{\text{р}} \cdot 34,5 A^{-0,548}}{\bar{I}_{\text{ф}}} = \frac{34,5 \cdot A^{-0,548}}{61,4 \cdot A^{-0,637}}. \quad (8)$$

После преобразования искомое отношение будет иметь вид

$$\frac{k_{\text{н.ф}}}{k_{\text{н.р}}} = 0,562 A^{0,089}. \quad (9)$$

Из графического сравнения зависимостей (1) и (6), приведённых на рисунке 1, видно, что не только средние расчётные значения метановыделения больше фактических, но и их максимальные значения. Следовательно, без снижения уровня безопасности действительно возможно увеличение нагрузки на механизированный комплекс выше допустимого по газовому фактору, как отмечается в работе [1].

Из рисунка 1 также видно, что в расчётах по нормативной методике [2] коэффициент неравномерности будет незначительно занижен, т. е. фактическое его значение в зависимости от величины нагрузки будет больше на 5–20 %. Важно отметить, что под влиянием нагрузки коэффициент неравномерности имеет противоположную направленность по сравнению со средним метановыделением. Сам факт снижения метановыделения при высоких нагрузках установлен во многих детальных исследованиях. Логично предположить, что и коэффициент неравномерности также значительно изменяется под влиянием высоких нагрузок.



$$1 — \frac{k_{н.ф}}{k_{н.р}}; 2 — \frac{I_{ф.мах}}{I_{р.мах}}; 3 — \frac{I_{ф}}{I_{р}}$$

Рисунок 1 Влияние нагрузки на относительные отклонения расчётных значений метановыделения от фактических по данным работы [1]

Проверка этого предположения была выполнена по данным мониторинга метановыделения в 28-й орловской лаве пласта k_2 шахты «Молодогвардейская». Очистной забой был оборудован механизированным комплексом 2МКД90. Суточная нагрузка колебалась в пределах от 1760 до 3250 т. Дебит метана в исходящей струе составлял от 8,0 до 11,2 м³/мин. Были установлены статистически надёжные зависимости, аналогичные выражениям (1), (6) и (9):

$$\frac{I_{ф}}{I_{р}} = 2,42 - 0,0007A; \quad (10)$$

$$\frac{I_{ф.мах}}{I_{р.мах}} = 0,65 + 0,0002A; \quad (11)$$

$$\frac{k_{н.ф}}{k_{н.р}} = \frac{0,65 + 0,0002A}{2,42 - 0,0007A}. \quad (12)$$

Из выражения (10) следует, что, как и в работе [1], на отклонение расчётных средних значений метановыделения $I_{р}$ от фактических $I_{ф}$ оказывает нагрузка A , но выража-

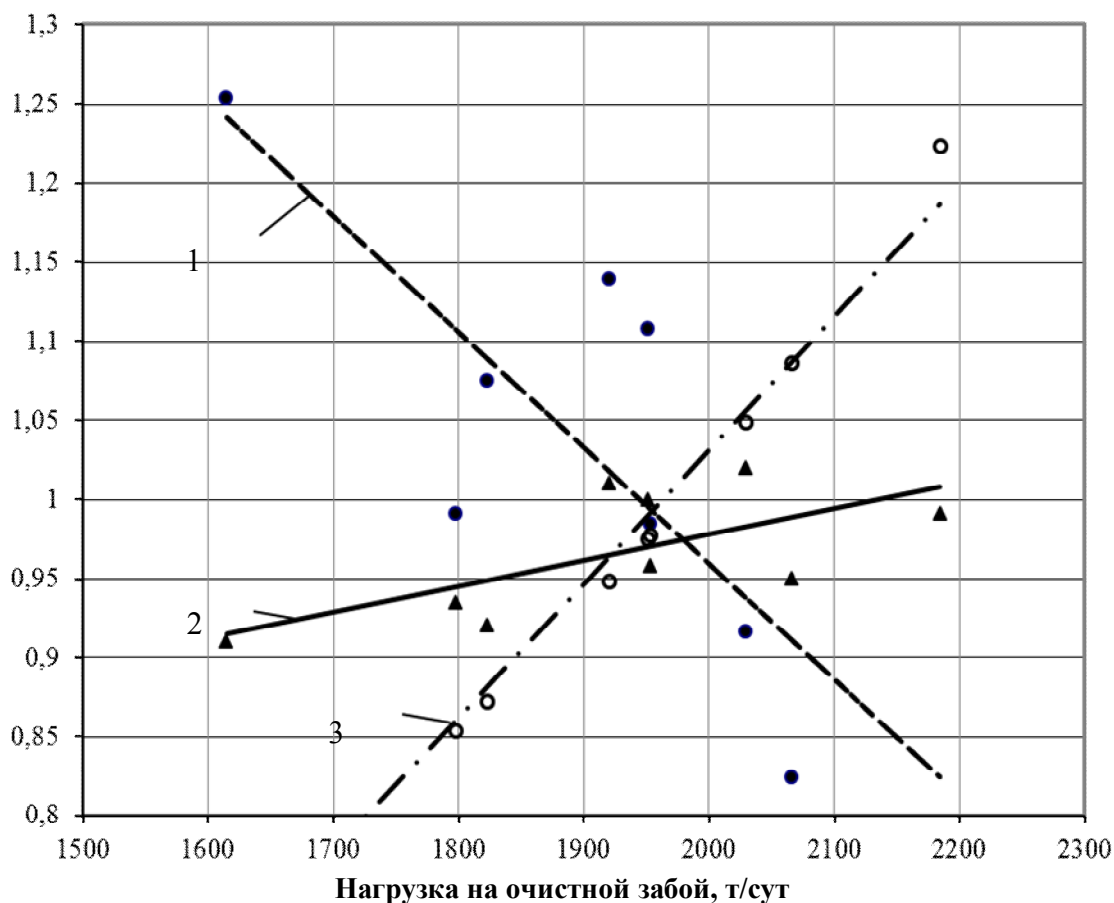
ется другим видом зависимости. При нагрузке 1500 т/сут фактические значения больше расчётных на 37%. Наблюдается опасная ошибка второго рода, но затем, при дальнейшем повышении нагрузки, происходит обратное отклонение и возникает неопасная ошибка первого рода — отклонение на 7%, т. е. фактически метана выделяется меньше, чем ожидается (линия 1, рис. 2).

Изменение отклонений максимальных расчётных значений от максимальных фактических (11) имеет противоположную тенденцию. Вначале отношение $I_{ф.мах}/I_{р.мах}$ меньше единицы, а затем оно становится больше единицы (линия 2, рис. 2). Отсюда следует, что, несмотря на снижение средних значений, максимальные значения увеличиваются из-за интенсивного роста неравномерности метановыделения при увеличении нагрузки (линия 3, рис. 2).

Приведённые в данной работе исследования по шахте «Молодогвардейская» подтверждают закономерности, отмеченные в работах [1, 3, 4]: при достижении высоких нагрузок (более 1500–1800 т/сут) дальнейшее их увеличение приводит к снижению метанообильности выемочного участка. Это позволяет на многих шахтах достигать нагрузок на современные механизированные комплексы выше допустимых по газовому фактору. Действительно, как отмечено в работе с участием МакНИИ [1], необходимо в этой части корректировать методику [2]. Однако приведённые выше исследования свидетельствуют о необходимости корректировки и коэффициента неравномерности процесса метановыделения. Детальный анализ зависимости (1) свидетельствует о занижении значений коэффициента неравномерности при использовании нормативной методики [2]: отношение $k_{н.ф}/k_{н.р}$ больше единицы. Зависимость (11) отражает возрастающую с увеличением нагрузки неточность расчётного метода. Полученные результаты, подтверждают тот факт, что, несмотря на значительное сни-

жение метанообильности выработок, при достижении высоких нагрузок существует реальная опасность редких anomalно высоких метановыделений. Поэтому для обеспечения безопасных условий отработки газоносных пластов эти метановыделения необходимо разбавлять достаточным количеством воздуха. При этом, как следу-

ет из зависимости (11), для эксплуатации выемочного оборудования без ограничений по нагрузке потребуется увеличение подаваемого количества воздуха в выемочные выработки по сравнению с расчётным значением по руководству [2] или увеличение эффективности дегазационных мероприятий.



$$1 - \frac{I_{\phi}}{I_p}; 2 - \frac{I_{\phi, \max}}{I_{p, \max}}; 3 - \frac{k_{н, \phi}}{k_{н, p}}$$

Рисунок 2 Влияние нагрузки на относительные отклонения расчётных значений метановыделения от фактических по данным мониторинга в 28-й орловской лаве пласта k_2

Выводы и направление дальнейших исследований. Выполненный анализ исследований МакНИИ по 33 лавам Донбасса свидетельствует о том, что нормативная методика расчёта коэффициента неравномерности метановыделения даёт заниженные значения. Одной из причин неточности расчёта является влияние высоких нагрузок.

Для уточнения расчётных формул необходимы дополнительные исследования.

Высокие нагрузки вызывают уменьшение метанообильности горных выработок. Влияние нагрузок в различных горно-геологических условиях отличается по интенсивности и описывается разными зависимостями.

Существует диапазон нагрузок на механизированный комплекс, при которых расчётное значение количества воздуха, необходимого для проветривания выемочного участка, является завышенным, что обусловлено снижением метановыделения. Вместе с тем дальнейший рост нагрузок приводит к значительному

увеличению неравномерности метановыделения и, соответственно, к возникновению опасных высоких значений метановыделения.

Для повышения точности расчётных значений максимальных метановыделений необходимо уточнение используемых зависимостей на основе текущего шахтного мониторинга.

Библиографический список

1. Касимов, О. И. Метановыделение в очистные выработки угольных шахт [Текст] / О. И. Касимов, Б. В. Бокий, И. В. Назимко // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. — 2007. — № 1. — С. 232–238.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт [Текст] : ДНАОТ 1.1.30-6.09.93. — К. : Основа, 1994. — 312 с. — (Государственный нормативный акт по охране труда).
3. Бокий, А. Б. Влияние уровня угледобычи на дебит парниковых газов в очистную выработку [Текст] / А. Б. Бокий // Геотехнічна механіка. — Днепропетровск, 2010. — Вып. 88. — С. 247–255.
4. Крыжановский, Ю. Ю. О максимальном газовыделении в горные выработки при отработке угольных пластов [Текст] / Ю. Ю. Крыжановский, Н. И. Антощенко, Р. Л. Гасюк // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах : сб. науч. тр. МакННИИ. — Макеевка : МакННИИ, 2013. — № 2 (32). — С. 24–38.

© Павлов В. И.

© Кулакова С. И.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А., д.т.н., вед. научн. сотруд. отдела охраны труда на шахтах МакННИИ Кудиновым Ю. В.

Статья поступила в редакцию 31.10.18.

к.т.н. Павлов В. И., Кулакова С. И. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ НОРМАТИВНОЇ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ МЕТАНОВИДІЛЕННЯ ПРИ ВИСОКОМУ РІВНІ ВУГЛЕВИДОБУТКУ

Математичний аналіз результатів досліджень МакНДІ метановості виїмкових ділянок, обладнаних високопродуктивними механізованими комплексами, встановив відхилення розрахункових значень коефіцієнта нерівномірності метановиділень за нормативною методикою від фактичних значень. Встановлено, що для забезпечення газової безпеки без зниження інтенсивності відпрацювання вугільних пластів є можливим коригування нормативної методики на підставі уточнення за даними шахтного моніторингу в залежностях, що використовуються, впливу високих навантажень.

Ключові слова: високі навантаження, очисний вибій, метановиділення, моніторинг, максимальні значення, коефіцієнт нерівномірності, розрахунок, газова безпека, механізований комплекс.

PhD Pavlov V. I., Kulakova S. I. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

ACCURACY ASSESSMENT OF NORMATIVE TECHNIQUE FOR CALCULATING THE METHANE RELEASE AT A HIGH LEVEL OF COAL MINING

The mathematical analysis of the research results of the MaksSRI on methane-bearing capacity of the excavation sites equipped with highly productive mechanized complexes revealed the deviation of the calculated coefficient values of non-uniformity of methane emissions by the normative technique from the actual values. It is found that to ensure gas safety without reducing the intensity of coal beds mining, it is possible to adjust the normative technique based on the refinement of the mine monitoring data in the used dependences of the high loads influence.

Key words: high loads, brakeage face, methane release, monitoring, maximum values, variation factor, calculation, gas safety, mechanized complex.