

А. М. Ермолаев¹, А. В. Адамков², М. Т. Кобылянский², Т. В. Богданова²

¹АО НЦ ВостНИИ промышленной и экологической безопасности, Кемерово, Россия

²Кузбасский государственный технический университет
им. Т.Ф. Горбачева, Кемерово, Россия

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОРРЕКТНОСТИ СОЗДАННЫХ И ПРИМЕНЯЕМЫХ НОВЫХ ФОРМУЛ РАСЧЕТА ДОПУСТИМОЙ ПРЕДЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА ОЧИСТНОЙ ЗАБОЙ ПО ГАЗОВОМУ ФАКТОРУ

Приведены сведения по смертельному травматизму в крупных авариях 27 угледобывающих стран мира за 111 лет. Отмечено, что более 94% из числа погибших приходится на взрывы метана и угольной пыли. Взрывы в шахтах, прежде всего, связаны с газовыделением метана и образованием угольной пыли. Газовыделение в рабочее пространство очистного забоя ограничивает нагрузку на очистной забой. Существующие формулы расчета предельной нагрузки на очистной забой по газовому фактору постоянно пытаются исправить так, чтобы предел нагрузки **был увеличен**. Приведены литературные источники, где авторы показывают актуальность темы и острую необходимость разработки «новых» формул расчета предельной нагрузки на очистной забой по газовому фактору при современной технологии угледобычи. Авторы указанных источников призывают научную общественность принять участие в обсуждении полученных результатов и совместном совершенствовании представленной методики. Проанализирован ряд формул, изложенных в данных литературных источниках, обоснована их несостоятельность к применению. Представлена методика оценки корректности предлагаемых формул предельной нагрузки на очистной забой по газовому фактору. Разработаны формулы расчета предельной нагрузки на очистной забой по газовому фактору при различных сменных режимах работы очистных забоев. Сущность формул состоит в том, что количество метана, выделяющееся при работе выемочной машины, не должно быть больше того количества газа, которое может выноситься из лав при допустимой максимальной скорости движения воздуха в лаве.

Ключевые слова: шахта, метан, угольная пыль, очистной забой, формулы расчета предельной нагрузки.

Катастрофы на угольных шахтах сопряжены с большими социальными, экономическими и стратегическими последствиями. Минимизация риска аварий, снижение тяжести за счет предотвращения крупных аварий и катастроф является в настоящее время актуальнейшей. За последние 111 лет (начиная с 1905 по 2016 годы) в 27 угледобывающих странах мира произошло 107 крупных аварий со смертельным исходом не

менее 12 человек за один случай. В общей сложности в 107 авариях погибло 20194 человек [Ермолаев, Кобылянский, 2016, с.74-84].

Отмечено, что более 94% из числа погибших приходится на взрывы метана и угольной пыли. Взрывы в шахтах, прежде всего, связаны с газовойделением метана и образованием угольной пыли. Газовыделение в рабочее пространство очистного забоя ограничивает нагрузку на очистной забой. Существующие формулы расчета предельной нагрузки на очистной забой по газовому фактору постоянно пытаются исправить так, чтобы предел нагрузки **был увеличен**.

Указанная методика представлена в работах [Сластунов, Каркашадзе, Коликов, Ермак, 2013, с. 45-48; Сластунов, Каркашадзе, Ермак, Ютяев, 2015, с. 22-26.]. В ней суточная нагрузка на очистной забой по газовому фактору, по мнению авторов, составляет:

$$A = K_0 \cdot K_3 \cdot \mu \cdot H \cdot h \cdot v, \quad (1)$$

где: K_0 - коэффициент, учитывающий притоки метана и потери свежей струи воздуха в очистной выработке, $K_0=1.2$; K_3 – коэффициент надежности работы и использования комбайна (усредненный за месяц), $K_3 = 0.95$; μ - плотность угля (1280 кг/м^3); H - мощность пласта, м; h - ширина захвата комбайна, м; v - максимально допустимая скорость вентиляционного потока в очистной выработке, м/с.

Практический пример выполненных расчетов для условий шахты им. С.М.Кирова (ОАО «СУЭК- Кузбасс) сделан по данным вставленной таблицы. Попытаемся проверить этот расчет, проставив те показатели, которые изложены в таблице. Получается следующее выражение:

$$A = 1,2 \cdot 0,95 \cdot 1280 \text{ кг/м}^3 \cdot 2,23 \text{ м} \cdot 0,8 \text{ м} \cdot 4 \text{ м/с} = 10412 \text{ кг/с},$$

или $A = 10,4 \text{ т/с}$; или $A = 624 \text{ т/мин}$; или же $A = 3 \text{ 7440 т/час}$; или 673920 т /сут при 18 часовой работе забоя в три смены. И даже $A = 898560 \text{ т/сут}$ при четырехсменном режиме работы забоя.

В результате 10,4 т угля добываются за 1 секунду! С какой скоростью должен двигаться комбайн на пласте мощностью 2,23 м с глубиной захвата 0,8 м при плотности угля 1,28 т/м³ ?

$$V = 10,4 / (2,23 \cdot 0,8 \cdot 1,28) = 5 \text{ м/с} = 300 \text{ м/мин.}$$

Таким образом, за 1 секунду комбайн должен продвинуться на 5 метров! Или 300 м в минуту должен пробежать машинист комбайна и его помощник в лаве при выемке угля и добыть почти 1 млн т в сутки из лавы на пласте мощностью 2,23 м; при этом в год за 365 дней добыча составит почти 328 млн тонн угля из одной лавы, что превышает добычу угля во всей Российской Федерации!

Из 10,4 т добываемых углей выделится $10,4 \cdot 14 = 145,6 \text{ м}^3/\text{с}$ метана, следовательно, в лаву надо закачать $14560 \text{ м}^3/\text{с}$ воздуха. А сечение рабочего пространства в лаве $S = 6,8 \text{ м}^2$. Значит скорость воздуха в лаве составит:

$$14560 \text{ м}^3/\text{с} / 6,8 \text{ м}^2 = 2141,1 \text{ м/с.}$$

В представленной формуле (1) отсутствует газовый фактор. Далее - мощность пласта, умноженная на глубину захвата комбайна и умноженная на скорость вентиляционной струи: что это?

В приведенной в [Сластунов, Каркашадзе, Коликов, Ермак, 2013, с. 45-48] таблице присутствуют 27 различных показателей. Но как они взаимодействуют в формуле для получения предельной суточной нагрузки ни в одной статье авторы не показывают. Попробуем определить значение функции А.

В числитель дроби поставим пористость, проницаемость, константы сорбции, давление метана и пр. показатели, в том числе, величину фракции более 25 мм. А что поставить в знаменатель дроби, чтобы А - суточная добыча - получилась от 3650 т/сут до 30000 т/сут,

как это показано в статье [Сластунов, Каркашадзе, Коликов, Ермак, 2013, с. 45-48]?

Поскольку в указанных статьях идет речь о методике, то и надо ее показать. Но методики, по сути, нет. Проверим возможность и достоверность расчетов, представленных в статье [Сластунов, Каркашадзе, Коликов, Ермак, 2013, с. 45-48]. При суточной добыче 3650 т /сут и газовыделении 12 м³/т в лаву выделится метана $3650 \cdot 12 = 43800$ м³/сут или $43800 / 86400 = 0,5$ м³/с. В лаве сечением рабочего пространства $S = 6,8$ м² можно пропустить $6,8 \cdot 4 = 27,2$ м³/с воздуха. В этом объеме воздуха допустимо иметь $27,2 \cdot 0,01 = 0,272$ м³/с метана. Следовательно, на исходящей вентиляционной струе из лавы концентрация метана составит более допустимой в $0,5 / 0,272 = 1.85$ раза.

Далее, по источнику [Сластунов, Каркашадзе, Коликов, Ермак, 2013, с. 45-48] в лаву при добыче 14000 т в сутки и газовыделении $q = 12$ м³/т выделится $14000 \cdot 12 = 168000$ м³/сут метана (или $168000/86400 = 1,94$ м³/с).

Таким образом, на исходящей из лавы воздушной струе содержание метана превысит норму в $1,94/0,272 = 7,1$ раз.

В статье [Сластунов, Каркашадзе, Ермак, Ютяев, 2015, с. 22-26.] авторы пишут: «в частности, если обеспечить разрушение со средней величиной фракции 25 мм, то можно достичь нагрузок на очистной забой более 30 тыс. т в сутки даже при газоносности угля 14 м³/т». Проверим и этот расчет:

$30000 \cdot 14 = 420000$ м³/сут метана выделится в лаву или $420\ 000 / 86400 = 4,86$ м³/с. Что в $4,86/0,272 = 17,87$ раз больше допустимой нормы.

Напомним, что по правилам Безопасности его содержание не должно превышать 1 %.

Попытаемся вывести формулу расчета предельно допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору.

Любое количество угля Q (т) содержит в себе определенный объем метана W , который при разрушении, измельчении, погрузке угля на забойный конвейер и транспортировании его по лаве, а *иногда и по конвейерному штреку, бремсбергу (уклону), откаточным выработкам, вплоть до подъема* на поверхность, выделяет метан в воздушный поток, проходящий через очистной забой. Количество метана W в общей массе угля Q определяется как

$$W = X \cdot Q, \text{ м}^3,$$

где: X – природная газоносность пласта угля, $\text{м}^3/\text{т}$.

Но в шахте выделяется не весь метан, содержащийся в угле, а определенная часть W_1 :

$$W_1 = (X - X_0) \cdot Q, \text{ м}^3.$$

Величину $(X - X_0) = q$ назовем газовыделением в шахте, или в очистном забое, $\text{м}^3/\text{т}$. В очистном забое организуется проветривание, а скорость движения воздуха ограничивается 4 м/с. В свою очередь, большинство очистных забоев оборудуется механизированными крепями, которые имеют определенное сечение рабочего пространства. Следовательно, количество воздуха, проходящее по очистному забою B , строго ограничено определенной скоростью ($v = 4$ м/с) и сечением рабочего пространства S :

$$B = v \cdot S, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Содержание метана в исходящей из очистного забоя струе ограничено значением $c = 1\%$. Это значит, что в очистной забой может быть выделено метана не более

$$C = c \cdot B = 0,01 \cdot B, \text{ м}^3/\text{с}.$$

При этом допустимое предельное выделение метана в очистной забой составит:

$$C = c \cdot v \cdot S, \text{ м}^3/\text{с}$$

или

$$C = T \cdot n \cdot f \cdot c \cdot v \cdot S, \text{ м}^3/\text{сут.} \quad (2)$$

Где: T - продолжительность рабочей смены, с; n - число рабочих смен по добыче угля; f - коэффициент машинного времени работы комбайна по добыче угля.

С другой стороны, при газовыделении метана в лаве q и суточной добыче A газовыделение составит $G = qA$, которое не должно быть больше C :

$$G \leq C.$$

Выполнив подстановки, получим:

$$q \cdot A \leq T \cdot n \cdot f \cdot c \cdot v \cdot S,$$

откуда

$$A \leq \frac{T \cdot n \cdot f \cdot c \cdot v \cdot S}{q}.$$

Выразив T в секундах ($T = 6 \cdot 60 \cdot 60 = 21600$ с) и заменив проценты на единицы получим следующее:

При двухсменной работе очистного забоя по выемке угля предельная суточная нагрузка на очистной забой определится по формуле (3)

$$A \leq (21600 \cdot 2 \cdot f \cdot v \cdot c \cdot S) / (100 \cdot q), m/сут. \quad (3)$$

При четырехсменном режиме работы лавы по добыче предельная суточная нагрузка на очистной забой определится по формуле 4:

$$A \leq \frac{86400 f \cdot c \cdot v \cdot S}{100 q}, m/сут., \quad (4)$$

и при трехсменном режиме работы лавы – по формуле (5)

$$A \leq \frac{64800 f \cdot v \cdot c \cdot S}{100 q} \quad m/сут. \quad (5)$$

По существу, выражение (4) является формулой К.З. Ушакова, А.С. Бурчакова, И.И. Медведева [Ушаков, 1977; Ушаков, Бурчаков, Медведев, 1981].

В настоящее время многие очистные забои переходят на режим работы в 3,5 смены [Сластунов, Каркашадзе, Ермак, Ютяев, 2015, с. 22-26.; Ушаков, Бурчаков, Медведев, 1981]. Тогда

$$A \leq \frac{75600 f \cdot v \cdot c \cdot S}{100 q} m/сут. \quad (6)$$

В таблицу 1 сведем показатели двух методик.

Таблица 1. Сравнительные показатели двух методик расчета предельной нагрузки на очистной забой по газовому фактору

Расчетная предельная нагрузка на очистной забой, т/сут		Выделение метана		Предельно допустимое содержание метана в воздушном потоке лавы, м ³ /с
		М ³ /сут	М ³ /с	
По формуле Сластунова, Каркашадзе и др.	898560	12579840	145,6	0,272
По формуле (4) данной статьи	1595	22390	0,25	0,272

При добыче 898560 т в сутки в лаву выделится 145,6 М³/с метана, что в $145,6 / 0,272 = 535,3$ раза превышает допустимые нормы.

Выводы:

1. Сущность формулы расчета предельной суточной нагрузки на очистной забой по газовому фактору заключается в том, что сечение рабочего пространства очистного забоя ограничивает количество воздуха, проходящего через него и, следовательно, ограничивается количество метана, которое выделяется при добыче ограниченного объема угля.

2. Методика оценки корректности предлагаемых формул расчета предельной суточной нагрузки на очистной забой по газовому фактору состоит в следующем:

- а) первоначально необходимо проверить значимость формулы;
- б) затем определить предельно пропускную способность сечения очистного забоя по воздуху и по метану;
- в) определить предельную нагрузку по формулам 3 – 6;
- г) в дальнейшем проверить концентрацию метана на исходящей вентиляционной струе из очистного забоя.

Библиографический список

Ермолаев А.М., Кобылянский М.Т. Анализ и пути снижения смертельного травматизма в угольной промышленности // ТЭК и РЕСУРСЫ Кузбасса. - 2016. - №5-6. С.74-84.

Сластунов С.В., Каркашадзе Г.Г., Коликов К.С., Ермак Г.П. Методика расчета допустимой нагрузки на очистной угольный забой по газовому фактору // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2013. - №6. - С. 45-48.

Сластунов С.В., Каркашадзе Г.Г., Ермак Г.П., Ютяев Е.П. Предварительный и оперативный прогноз допустимых нагрузок на очистной забой при интенсивной отработке газоносных угольных пластов // Уголь. - 2015. - №3. - С. 22-26.

Ермолаев А.М., Кобылянский М.Т., Адамков А.В., Попов В.Б., Сурков А.В. К анализу расчетных формул предельной нагрузки на очистной забой угольных шахт // Вестник НЦ ОАО «ВостНИИ» по безопасности работ в угольной промышленности. - 2013. - №11. - С. 133-137.

Справочник по рудничной вентиляции / Под ред. проф. К.З.Ушакова. - М.: Недра, 1977. - 327 с.

Ушаков К.З. Рудничная аэрология. / К.З.Ушаков, А.С.Бурчаков, И.И.Медведев. - М.: Недра, - 1981. - 440 с.

A. M. Ermolaev¹, A. V. Adamkov², M. T. Kobylyanskiy², T. V. Bogdanova²
*¹JSC NC VostNII industrial and environmental safety, The Russia
T. F. Gorbahev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia*

EVALUATION ACCURACY TECHNIQUE OF CREATED AND APPLIED NEW CALCULATION FORMULA FOR THE PERMISSIBLE BREAKING LOAD ON A WORKING FACE BY THE GAS FACTOR

The article mentions the data on fatal injuries in major accidents of 27 coal-mining countries for 111 years. It is noted that more than 94% of the deaths were caused by the methane and coal dust explosions. Explosions in the mines are primarily related to the gas emission of methane and the formation of coal dust. Gas release into the working space of the face limits the load on it. The existing formulas for calculating the breaking load on a working face by the gas factor are constantly corrected to increase the load limit. The paper gives literature sources the authors of which show the timeliness of the topic and the urgent need to develop "new" formulas for calculating the breaking load on a working face by the gas factor in modern coal mining technology. The authors of these sources call on the scientific community to participate in the discussion of the results obtained and joint improvement of the technique presented. A number of formulas presented in these references have been analyzed, their inefficiency to application has been proved. The evaluation accuracy technique of the proposed formulas for calculating the breaking load on a working face by the gas factor is presented. The formula for calculating breaking load on a working face by the gas factor at different shift modes of operation of the coal faces are developed. The essence of the formulas is that the amount of methane released during the work of the extraction machine should not be more than the amount of gas that can be taken out of the lavas at the permissible maximum speed of air movement in the lava.

Key words: mine, methane, coal dust, working face, formulas for calculating the breaking load.