

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.33.013.3

ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПО ГАЗОВОМУ ФАКТОРУ ДЛИНЫ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ ШАХТЫ С УЧЕТОМ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА

А. А. Ордин¹, А. М. Тимошенко², С. А. Коленчук³

¹Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, E-mail: ordin@nsc.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия

²ОАО “НЦ ВостНИИ”, ул. Институтская, 3, 650002, г. Кемерово, Россия

³ЗАО “Гипроуголь”, ул. Трехотажная, 41а, 630015, г. Новосибирск, Россия

Приведены методические основы для расчета допускаемой длины и производительности комплексно-механизированного очистного забоя по газовому фактору с учетом неравномерности воздушного потока по контуру и длине лавы. Установлены нелинейные зависимости концентрации метана в лаве, вызванные утечками воздушного потока в выработанное пространство. Предложено определять производительность очистного забоя в зависимости от допускаемой по газовому фактору длины лавы и схемы выемки угля очистным комбайном. Выявлено, что увеличение газоносности угольного пласта и утечек воздуха в выработанное пространство снижает допускаемую по газовому фактору длину лавы и производительность очистного забоя.

Шахта, угольный пласт, допускаемая длина и производительность очистного забоя, газовый фактор, неравномерность скорости воздушного потока, утечки воздуха, концентрация метана

В настоящее время в Кузбассе все шахты являются опасными по газу и взрывчатости угольной пыли. Из 67 шахт 10 относятся к первой категории по метану, 8 — ко второй, 12 — к третьей и 22 шахты — сверхкатегорийные (метанообильность выше 15 м³/т), 15 шахт — опасные по внезапным выбросам угля и газа [1].

При проектировании подземной разработки метаноносных угольных пластов большое значение имеет правильный расчет параметров вентиляции высокопроизводительных очистных забоев. Проблема проектирования эффективных схем, способов и параметров вентиляции очистных забоев заключается в недостаточно надежном прогнозировании метановыделения из пласта, отбитого угля, выработанного пространства и вмещающих пород. Трудность этих расчетов усугубляется существованием различных методических подходов и руководств по проектированию вентиляции угольных шахт [2–8]. До сих пор проектировщики при расчете параметров проветривания угольных шахт используют руководство, разработанное для условий шахт Донбасса (“макеевская” методика) в 1989 г. [4]. Один из недостатков этого руководства — большое количество эмпирических зависимостей без указания точности аппроксимаций. Кроме

того, в табличных данных руководства скорость подвигания очистных забоев ограничена значением 6 м/сут. Если для 80-х годов прошлого века такая скорость подвигания очистных забоев, оснащенных отечественными комплексами с низкими эксплуатационными характеристиками, действительно была максимальной, то в настоящее время с применением зарубежных комплексов типа DBT производительность очистных забоев увеличилась до 30 тыс. т/сут и соответственно скорость их подвигания возросла до 20 м/сут и более. Для современных скоростей подвигания очистных забоев “макеевская” методика становится практически непригодной.

Рассмотрим результаты сравнения фактического газовыделения в очистных забоях № 5204 и № 5203 шахты “Котинская” с расчетными данными, полученными по “макеевской” методике (рис. 1). Как видно, фактическая газообильность выемочных участков значительно ниже прогнозных значений, полученных по [4].

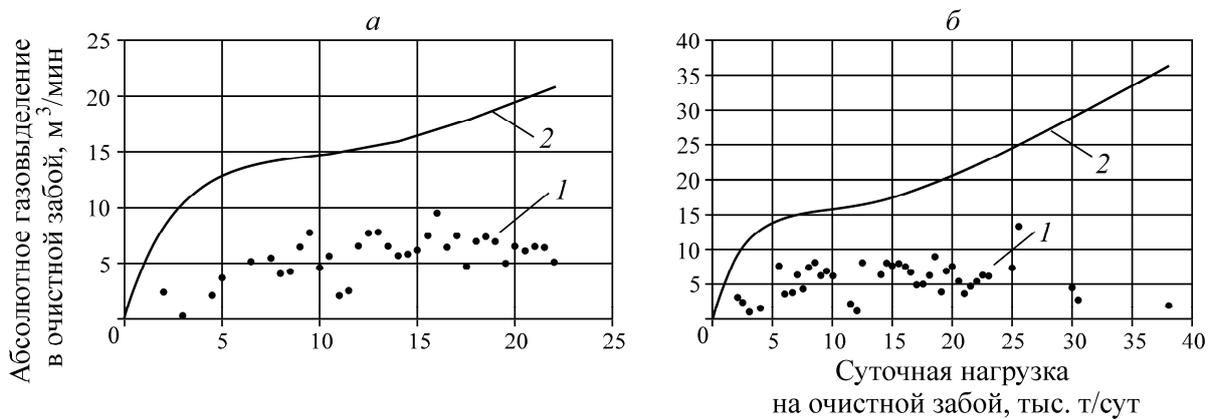


Рис. 1. Фактические (1) и расчетные (2) данные по газовыделению очистных забоев № 5204 (а) и № 5203 (б) шахты “Котинская”

Это несоответствие при различных нагрузках на очистной забой составляет от 2 до 5 раз, что подтверждает полную непригодность расчетных формул “макеевской” методики [9]. Более того, как следует из рис. 1, фактическое газовыделение из очистных забоев при больших нагрузках практически не увеличивается и даже имеет тенденцию к снижению при нагрузках более 20 тыс. т/сут. Подобная тенденция объясняется тем обстоятельством, что при высоких скоростях подвигания очистных забоев метан удаляется из очистного забоя быстрее, чем накапливается. Аналогичные закономерности получены по шахтам “Талдинская-Западная-1” и “Тагарышская” [9].

Проблема расчета вентиляционных параметров очистных забоев заключается также в том, что абсолютное метановыделение ($I_{\text{пл}}$, м³/мин) из разрабатываемого пласта пропорционально производительности (A) очистного комбайна [3 – 7]:

$$I_{\text{пл}} = \frac{XK_{\text{пл}}A}{1440} (K_{\text{ТУ}} + K(1 - K_{\text{ТУ}})e^{-n_1V_{\text{оч}}}), \quad (1)$$

а возможность эффективного проветривания очистного забоя ограничивается действующими правилами безопасности по максимальной скорости (4 м/с) движения воздушного потока и допустимой концентрацией метана (1 %) на исходящей струе воздуха из лавы. Для того чтобы ограничить поступление метана в очистной забой, в соответствии с формулой (1) приходится уменьшать скорость подачи и производительность очистного комбайна.

В формуле (1) приняты обозначения: X — природная газоносность разрабатываемого пласта, м³/т; $K_{\text{пл}}$ — коэффициент дренирования пласта, учитывающий влияние системы разработки; A — расчетная производительность очистного комбайна, т/сут; $K_{\text{ТУ}}$ — коэффициент, учи-

тывающий степень дегазации отбитого угля при его транспортировании по выработкам участка; K — коэффициент, характеризующий газоносность пласта на кромке свежееобнаженного забоя; n_1 — коэффициент, характеризующий газоотдачу пласта через обнаженную поверхность очистного забоя; $v_{оч}$ — скорость подвигания очистного забоя, м/сут.

Сложность расчетов по проветриванию очистных забоев состоит в том, что скорость движения вентиляционной струи в лаве, вследствие утечек в выработанное пространство и трения пограничных слоев потока воздуха, распределена неравномерно как по длине лавы, так и по ее контуру. По длине лавы происходит постоянное уменьшение скорости движения воздуха из-за утечек в выработанное пространство через секции механизированной крепи, которые составляют 40–80 % от количества воздуха, поступающего в лаву [8].

По контуру лавы скорость движения воздуха также распределена неравномерно из-за трения пограничных слоев воздуха. Максимальное значение скорости достигается в средней части поперечного сечения, а минимальное значение, близкое к нулю, — вблизи груди забоя и секций механизированной крепи (в горизонтальном сечении), а также вблизи почвы и кровли очистного забоя (в вертикальном сечении). При ламинарном течении скорость движения воздуха в поперечных сечениях выработки в соответствии с законом Пуазейля распределена по параболическому закону и средняя скорость движения воздуха равна половине максимальной скорости. При турбулентном режиме воздушного потока, который более характерен для горных выработок, распределение скорости в поперечном сечении становится более сложным, а средняя скорость воздушного потока меньше максимальной скорости в 1.23 раза [8].

Во всех расчетах по вентиляции шахт [2–7] максимально допустимое количество воздуха ($\text{м}^3/\text{мин}$) для проветривания очистного забоя определяется по формуле

$$Q_{\max} = 60v_{\max}Sk_{\text{оз}}, \quad (2)$$

где $v_{\max} = 4$ м/с — максимально допускаемая по правилам безопасности скорость воздушной струи в очистном забое; S — площадь поперечного сечения лавы, м^2 ; $k_{\text{оз}} = 1.15–1.3$ — коэффициент, учитывающий утечки воздуха в выработанное пространство.

Формула (2) используется в дальнейшем при расчете максимально допускаемой производительности ($\text{т}/\text{мин}$) очистного забоя по газовому фактору:

$$A_{\max} = \frac{V_{\max}}{V_{\text{м}}} = \frac{60v_{\max}Sk_{\text{оз}}(c - c_0)}{100k_{\text{е}}K_{\text{пл}}(q - q_0)K_{\text{WA}}}, \quad (3)$$

где V_{\max} — максимально допустимый объем выделяемого в лаве метана, $\text{м}^3/\text{мин}$; $V_{\text{м}}$ — относительная метаноносность отбитого угля, $\text{м}^3/\text{т}$; $c = 1$ % — допускаемая по ПБ концентрация метана на исходящей струе воздуха из лавы; c_0 — концентрация метана на входящей струе воздуха в лаву, %; q , q_0 — соответственно природная и остаточная метаноносность угля, $\text{м}^3/\text{т}$; K_{WA} — коэффициент, учитывающий содержание в угле природной влаги и золы; $k_{\text{е}}$ — коэффициент естественной дегазации массива угля в полосе заходки выемочной машины.

Расчетные зависимости (2), (3) имеют, на наш взгляд, ряд неясностей и неточностей. Так, в формуле (2) коэффициент $k_{\text{оз}}$ служит для увеличения количества воздуха при проветривании лавы вследствие утечек воздуха в выработанное пространство. Он не зависит от длины лавы и для лав любой длины увеличивает максимально допускаемое количество воздуха максимум на 30 %. На самом деле утечки воздуха в выработанное пространство, происходящие через секции механизированной крепи, зависят от количества этих секций или от длины лавы и фактически составляют от 40 до 80 % [8].

В формуле (3) отсутствует длина лавы и не учитываются утечки воздуха в выработанное пространство, в результате чего с возрастанием длины лавы происходит уменьшение скорости воздушного потока и увеличение концентрации метана.

В руководствах по вентиляции и правилах безопасности при расчете максимально допускаемого количества воздуха в лаве **негласно подразумевается равномерный закон распределения скорости по контуру и длине очистной выработки, что является некорректным**. Более корректный расчет допускаемой нагрузки на очистной забой по газовому фактору требует учета как утечек воздуха в выработанное пространство через секции механизированной крепи, так и неравномерности распределения скорости потока воздуха по длине и контуру лавы.

В правилах безопасности угольных и сланцевых шахт [10] и руководствах по вентиляции [4–7] нигде не упоминается, почему максимально допускаемая скорость воздушного потока составляет 4 м/с и ничего не говорится о том, для какого места лавы регламентирована максимальная скорость потока воздуха — на входящей или исходящей струе воздуха. Последнее упущение представляется весьма важным, так как вследствие утечек воздуха в выработанное пространство скорость движения воздушного потока в лаве уменьшается и на исходящей струе будет меньше скорости на входящей струе, что заведомо приведет к ухудшению проветривания концевой части лавы. Если же максимально допустимая скорость (4 м/с) движения воздуха регламентирована для исходящей струи, то из-за утечек воздуха в выработанное пространство скорость потока воздуха на входящей струе должна быть больше этого значения, что является нарушением правил безопасности.

Отметим, что существующие методики расчета допускаемой производительности очистного забоя по газовому фактору обладают рядом недостатков:

— в расчетных формулах практически не учитывается неравномерность движения воздушного потока по контуру и длине лавы и, как следствие, не учитывается изменение концентрации метана по длине лавы;

— утечки воздуха из лавы в выработанное пространство учитываются укрупненно, в виде постоянного коэффициента, не зависящего от длины лавы (см. формулы (2), (3));

— при расчете необходимого количества воздуха для проветривания лавы не учитывается турбулентный характер движения воздушного потока, особенно проявляющий себя при встрече вентиляционной струи с движущимся очистным комбайном;

— абсолютное метановыделение и допускаемая производительность очистного забоя по газовому фактору рассчитываются без учета длины лавы (см. формулы (1), (3)).

В отличие от существующих методик предлагается проводить расчет допускаемой по газовому фактору производительности очистного забоя в зависимости от длины лавы и утечек воздуха в выработанное пространство следующим образом. При передвижке очередной секции крепи на ширину захвата очистного комбайна между неподвижной и передвинутой секцией крепи возникает зазор, площадь которого приближенно можно определить по формуле

$$s_p \approx \frac{mr}{\sin \beta}, \quad (4)$$

где m — вынимаемая мощность пласта, м; r — ширина захвата очистного комбайна, м; β — угол между ограждением секции крепи и почвой очистной выработки.

Тогда суммарные утечки воздуха (м³/с) через передвигаемые секции крепи рассчитываются по формуле

$$Q_p = \frac{kv_{\min} n_{co} mr}{\sin \beta}, \quad (5)$$

где v_{\min} — минимально допустимая по правилам безопасности скорость движения струи воздуха вблизи ограждений секций крепи ($v_{\min} = 0.25$ м/с для негазовых (I и II категорий) шахт, $v_{\min} = 0.5$ м/с для газовых шахт III категории и сверхкатегорийных [10]); n_{co} — количество одновременно передвигаемых секций крепи; $k = 1$ — при последовательной передвигке секций, $k = 2$ — при шахматном порядке передвижки.

Утечки воздуха в выработанное пространство также происходят через неподвижные секции крепи вследствие негерметичности зазоров между секциями. Учитывая конструктивные особенности механизированной крепи, утечки воздуха через все неподвижные секции можно определить следующим образом:

$$Q_c = v_{\min} s_c n_c = \frac{v_{\min} s_c L}{b_c}, \quad (6)$$

где s_c — площадь зазоров в каждой секции крепи, через которую происходят утечки воздуха, м²; n_c — количество секций крепи в лаве; b_c — ширина секции крепи, м; L — длина лавы, м.

Суммарные утечки воздуха в выработанное пространство через все секции механизированной крепи находятся по линейной зависимости от длины лавы:

$$Q_y(L) = Q_p + Q_c = \frac{kv_{\min} n_{co} mr}{\sin \beta} + \frac{v_{\min} s_c}{b_c} L. \quad (7)$$

Таким образом, фактический расход воздуха (м³/мин) на исходящей струе лавы (при максимально допускаемой скорости воздуха на входящей струе) определяется с учетом утечек воздуха по убывающей линейной зависимости от длины лавы:

$$Q(L) = Q_{\max} - Q_y(L) = 60 \left(v_{\max} S - \frac{kv_{\min} n_{co} mr}{\sin \beta} - \frac{v_{\min} s_c}{b_c} L \right). \quad (8)$$

Средняя скорость движения струи воздуха (м/с) на исходящей струе также линейно убывает с увеличением длины лавы:

$$v_n(L) = \frac{Q(L)}{60S} = v_{\max} - \frac{v_{\min}}{S} \left(\frac{kn_{co} mr}{\sin \beta} + \frac{s_c L}{b_c} \right). \quad (9)$$

Метановыделение в очистном забое происходит из обнаженного пласта, при разрушении угля шнеками очистного комбайна, из отбитого угля при его транспортировании вдоль лавы скребковым конвейером и выработанного пространства. При этом "... концентрация метана в лаве при отсутствии выделения его из выработанного пространства изменяется вдоль лавы по закону, близкому к линейному, возрастая в направлении движения воздуха" [8, с. 171], а "... суммарное метановыделение в лаву увеличивается в направлении от входа в нее до выхода вначале линейно, в конце возможен более быстрый рост" [8, с. 158].

Покажем, что концентрация метана по длине лавы всегда возрастает нелинейно даже при отсутствии его выделения из выработанного пространства. Скорость поступления метана (V_m) от всех источников в лаву не является постоянной и зависит от многих геологических и технологических параметров: природной метаноносности, трещиноватости пласта, наличия в нем геологических нарушений, длины лавы, схемы движения очистного комбайна, скорости движения горной массы на скребковом конвейере, степени измельчения угля шнековым комбайном и др.

Но даже при постоянной скорости выделения метана в лаве его концентрация (%) на исходящей струе воздуха нелинейно возрастает из-за утечек воздуха (8) в выработанное пространство:

$$\mu(L) = \frac{100V_M}{Q(L)} = \frac{100V_M}{60 \left(v_{\max} S - \frac{kv_{\min} n_{co} mr}{\sin \beta} - \frac{v_{\min} S_c L}{b_c} \right)} \leq [\mu] = 1.0. \quad (11)$$

Согласно (11) зависимость концентрации метана от длины лавы носит гиперболический характер. На рис. 2 показана зависимость (11) концентрации метана от длины лавы, полученная при следующих исходных данных: $S = 10 \text{ м}^2$, $v(L) = (4.0 - 0.01)L$, м/с, $V_M = 0.1 \text{ м}^3/\text{с}$. Видно, что даже при отсутствии поступления метана в лаву из выработанного пространства зависимость концентрации метана от длины лавы носит нелинейный характер, резко возрастая на исходящей струе воздуха.

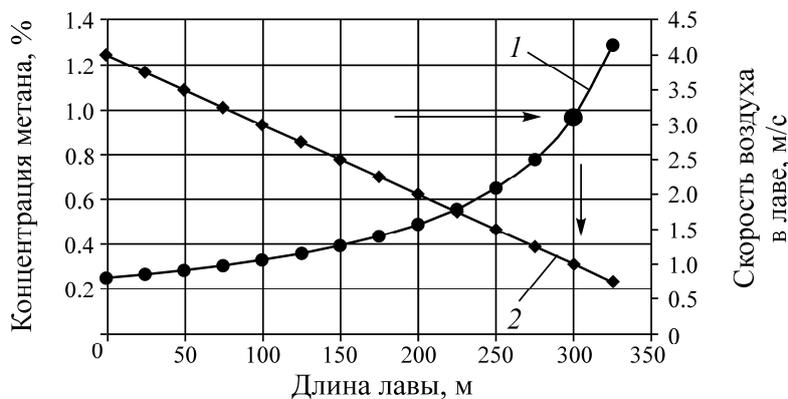


Рис. 2. Нелинейный рост концентрации метана по длине лавы из-за утечек воздуха в выработанное пространство: 1 — концентрация метана; 2 — скорость воздуха в лаве

Из условия (11) следует, что соблюдение по правилам безопасности допустимой концентрации метана на исходящей струе лавы (1 %) обуславливает максимально допускаемую по газовому фактору длину лавы:

$$[L] = \frac{b_c S v_{\max}}{v_{\min}} - \frac{b_c k m r}{\sin \beta} - \frac{b_c V_M}{0.6[\mu]v_{\min}}, \quad (12)$$

которая для принятых исходных данных задачи составляет 300 м (см. рис. 2).

Таким образом, вследствие постоянно происходящих утечек воздуха через секции механизированной крепи в выработанное пространство концентрация метана по длине лавы увеличивается нелинейно, существенно возрастая в конце лавы, на исходящей струе воздуха. В результате появляется необходимость ограничения длины лавы и соответственно производительности очистного забоя.

Известно, что производительность комплексно-механизированного очистного забоя [11 – 13] нелинейно возрастает при увеличении его длины. Эта зависимость имеет вид

$$A_i(L) = \frac{a}{b_i + \frac{d_i}{L}} \quad (i = 1, 2), \quad (13)$$

где a , b_i , d_i — технологические параметры, рассчитываемые соответственно при односторонней ($i = 1$) или челноковой ($i = 2$) схемах работы комбайна по формулам, приведенным в [12].

Введение в зависимость (13) формулы (12) определяет допускаемую производительность очистного забоя по газовому фактору:

$$[A_i] = \frac{a}{b_i + \frac{d_i}{[L]}} = \frac{a}{b_i + \frac{d_i}{\frac{b_c S v_{\max}}{v_{\min}} - \frac{b_c k m r}{\sin \beta} - \frac{b_c V_M}{0.6[\mu]v_{\min}}}} \quad (i = 1, 2). \quad (14)$$

Таким образом, для расчета допускаемых по газовому фактору длины и производительности очистного забоя предлагается следующий алгоритм, в котором определяются:

- максимально допустимое количество воздуха на входящей струе для проветривания лавы;
- утечки воздуха через секции механизированной крепи в выработанное пространство по всей длине лавы;
- фактический расход и средняя скорость движения потока воздуха на исходящей струе лавы с учетом утечек в выработанное пространство;
- зависимость концентрации метана на исходящей струе воздуха из лавы от ее длины;
- допускаемая длина, при которой концентрация метана на исходящей струе достигает 1 %;
- допускаемая производительность очистного забоя в зависимости от схемы выемки угля комбайном и допускаемой длины лавы по газовому фактору.

Из (14) следует, что допускаемая производительность очистного забоя по газовому фактору будет различной для разных схем выемки угля. На рис. 3 приведены результаты определения допускаемой по газовому фактору производительности очистного забоя со шнековым комбайном К500 в зависимости от ранее установленной длины лавы.

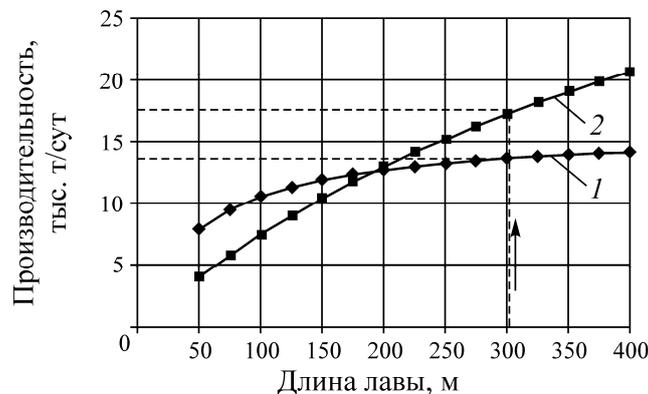


Рис. 3. Зависимость допускаемой по газовому фактору производительности очистного забоя от его длины: 1 — при односторонней схеме движения очистного комбайна; 2 — при челноковой схеме

Для поставленных условий задачи допускаемая длина лавы составляет 300 м (см. рис. 2), а допускаемая производительность очистного забоя — 17 000 т/сут при челноковой схеме движения очистного комбайна и 13 000 т/сут — при односторонней схеме движения комбайна с зачисткой угля обратным ходом (см. рис. 3).

Анализ формул (12), (14) показывает, что при увеличении метановыделения его концентрация на исходящей струе возрастает, а допускаемая длина лавы по газовому фактору уменьшается, соответственно уменьшается и производительность очистного забоя. Этот вывод демонстрирует рис. 4, на котором приведены две зависимости концентрации метана от длины лавы при газоносности пласта 10 и 20 м³/т. Точки пересечения этих кривых с допускаемой концентрацией метана 1 % на исходящей струе определяют соответствующие допускаемые значения

ния длин лавы по газовому фактору: 300 м при газоносности пласта $10 \text{ м}^3/\text{т}$ и 200 м при газоносности пласта $20 \text{ м}^3/\text{т}$. Далее, переходя к рис. 2, устанавливается допустимая производительность очистного забоя: при газоносности пласта $10 \text{ м}^3/\text{т}$ и допустимой длине лавы 300 м — 17 000 и 13 000 т/сут соответственно для челноковой и односторонней схем выемки угля, при газоносности пласта $20 \text{ м}^3/\text{т}$ и допустимой длине лавы 200 м — 12 000 т/сут.

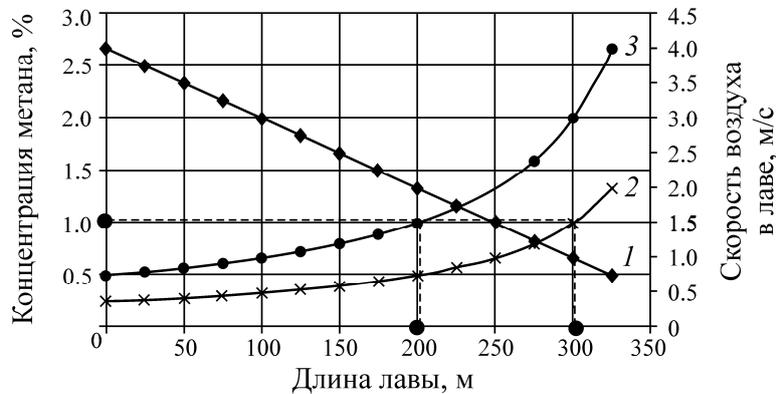


Рис. 4. Влияние газоносности пласта на допустимую длину лавы по газовому фактору: 1 — скорость воздуха в лаве; 2 — газоносность пласта $10 \text{ м}^3/\text{т}$; 3 — газоносность пласта $20 \text{ м}^3/\text{т}$

ВЫВОДЫ

В ИГД СО РАН совместно с НЦ ВостНИИ и ЗАО “Гипроуголь” разрабатывается методика обоснования допустимой длины и производительности очистного забоя по газовому фактору с учетом неравномерности движения воздушного потока в лаве.

Проведенные исследования показали, что утечки воздушного потока в лаве через секции механизированной крепи в выработанное пространство приводят к снижению скорости вентиляционной струи и нелинейному росту концентрации метана в зависимости от длины лавы.

Полученные зависимости концентрации метана от длины лавы позволяют по-другому подойти к решению поставленной задачи: производительность очистного забоя по газовому фактору предлагается определять в зависимости от допустимой длины лавы, при которой концентрация метана на исходящей струе достигает предельно допустимой по правилам безопасности угольных и сланцевых шахт. Установлено, что допустимая по газовому фактору нагрузка на очистной забой в значительной степени зависит от длины лавы и различна для односторонней и челноковой схем выемки угля комбайном. Для приведенных условий задачи допустимая по газовому фактору длина лавы составляет 300 м, а допустимая нагрузка на очистной забой равна 17 000 т/сут при челноковой схеме движения очистного комбайна К500 и 13 000 т/сут — при односторонней схеме движения этого комбайна.

Важным является вывод об уменьшении допустимой длины лавы и производительности очистного забоя при увеличении метаноносности пласта. Так как газоносность угольных пластов обычно возрастает с глубиной горных работ, то необходимо изменение существующей практики раскройке панели шахты на выемочные столбы с одинаковой длиной лавы. С увеличением глубины горных работ длину лавы и соответствующую производительность очистного забоя необходимо уменьшать, т. е. раскройка крыла панели шахты на выемочные столбы по падению пласта должна осуществляться с изменяющейся длиной лавы. Для рассмотренного примера при увеличении газоносности пласта с 10 до $20 \text{ м}^3/\text{т}$ допустимая по газовому фактору длина лавы уменьшается с 300 до 200 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резников Е. Л. Адекватные меры // Уголь Кузбасса. — 2013. — № 6.
2. Ермолаев А. М., Егоров П. В., Ермолаев А. А. Определение предельной нагрузки на очистной забой по газовому фактору в сверхкатегорных шахтах // Уголь. — 2006. — № 11.
3. Слостунов С. И., Каркашадзе Г. Г., Коликов К. С., Ермак Г. П. Методика расчета допустимой нагрузки на очистной угольный забой по газовому фактору // ФТПРПИ. — 2013. — № 6.
4. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. — Макеевка – Донбасс, 1989.
5. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. — Киев, 1994.
6. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. — М., 2010.
7. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок. — Утверждена приказом № 680 Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору 01.12.2011.
8. Гращенко Н. Ф., Петросян А. Э., Фролов М. А. и др. Рудничная вентиляция: справочник / под ред. К. З. Ушакова. — М.: Недра, 1988.
9. Тимошенко А. М., Баранова М. Н., Никифоров Д. В. и др. Некоторые аспекты применения нормативных документов при проектировании высокопроизводительных выемочных участков угольных шахт. — Кемерово: Вестн. НЦ ВостНИИ, 2010. — № 1.
10. Правила безопасности в угольных шахтах. Постановление Федерального горного и промышленного надзора РФ № 50 от 05.06.2003. — М., 2003.
11. Ордин А. А., Метельков А. А. Оптимизация длины лавы и производительности комплексно-механизированного очистного забоя угольной шахты // ФТПРПИ. — 2013. — № 2.
12. Ордин А. А., Никольский А. М., Метельков А. А. Моделирование и оптимизация технологических параметров очистных и подготовительных работ в панели угольной шахты // ФТПРПИ. — 2013. — № 6.
13. Ордин А. А., Никольский А. М., Метельков А. А. Оптимизация технологии подземной разработки пологих угольных пластов. Основные зависимости и закономерности механизированной добычи угля в длинных очистных забоях // Palmarium Academic Publishing. Saarbrucken, Deutschland, 2013.

Поступила в редакцию 23/IX 2014