

УДК 622.416

*Поповский В. Н.  
(НТЦ ПБ, г. Луганск, ЛНР),  
к.т.н. Чебан В. Г.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОЗДУХА ДЛЯ ПРОВЕТРИВАНИЯ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ЛАВ КРУТОГО ПАДЕНИЯ

*Проанализировано влияние движущегося угольного потока на эффективность проветривания добычных участков, обрабатывающих пласты крутого падения. Выявлены основные факторы, влияющие на количество воздуха, эжектируемого потоком падающего угля. Проведены исследования по определению значения данного количества воздуха для различных горнотехнических условий.*

**Ключевые слова:** механизированная лава, вентиляционная струя, количество воздуха, аэродинамическое сопротивление, угольный поток, эжекция.

**Постановка проблемы, обоснование ее актуальности.** Описанная в работе [1] методика расчета количества воздуха, необходимого для проветривания механизированных лав крутого падения, основана на статистически-вероятностных свойствах газовыделения. Эта методика является обобщенной и приемлема для всего Центрального района Донбасса. Однако из-за обобщенности этой методики значения коэффициента неравномерности газовыделения могут быть завышены или занижены для конкретных горнотехнических условий. Для исключения неточностей расчет количества воздуха для механизированных лав крутого падения необходимо производить с учетом эжектирующего действия движущегося угольного потока.

Эжектирующее действие угольного потока заключается в следующем. При работе выемочной машины в лаве крутого падения под воздействием угольного потока, движущегося с большой скоростью вдоль забоя, сокращается количество воздуха, поступающего в лаву. Отбитый уголь транспортируется самотеком, накапливается в нижней части лавы в магазинном уступе и периодически выгружается в вагонетки. По мере накопления угля перекрывается свободный проход, и расход воздуха уменьшается (см. рис. 1). Из-за

неритмичной работы транспорта, недостаточной емкости магазинного уступа возможна полная подсыпка лавы, перекрытие вентиляции и резкое повышение концентрации метана.

При восходящем проветривании очистного забоя депрессия, создаваемая движущимся потоком угля, достигает величины в 20–25 даПа и может превысить депрессию участка. Поэтому в период работы выемочной машины в лаве с восходящим проветриванием всегда уменьшается расход воздуха по участку. В некоторых случаях это приводит к опрокидыванию струи. При этом концентрация метана в исходящей струе может возрасти в 2–6 раз, что приведет к превышению допустимой концентрации метана, срабатыванию аппаратуры газовой защиты и простоя участка. Наряду с этим, как правило, в лаве наблюдается локальное опрокидывание струи и некоторая часть воздуха, эжектируемая потоком падающего угля, начинает двигаться вниз по направлению к магазинному уступу.

Количество воздуха, эжектируемого угольным потоком, зависит от следующих факторов:

- производительность выемочной машины  $m_m$ , кг/с;
- поперечное сечение лавы  $S$ , м<sup>2</sup>;

- скорость движения угля  $v_m$ , м/с;
- высота падения угля  $H$ , м;
- удельный вес угля  $\gamma$ , кг/м<sup>3</sup>;
- аэродинамическое сопротивление лавы  $R_a$ , Мюрг;
- средний эквивалентный диаметр куска угля  $d_э$ , м.

То есть

$$Q_{эж} = f(m_m, S, v_m, H, \gamma, R_a, d_э), \text{ м}^3/\text{с}. \quad (1)$$

Процесс локального опрокидывания вентиляционной струи в лаве можно представить следующим образом. В начале цикла, при работе комбайна в нижней части лавы, энергия, сообщаемая воздушному потоку падающим углем, незначительна ввиду малой высоты падения и скорости движения угля. В этом случае энергия воздушного потока  $E_n$ , движущегося вверх по лаве, больше энергии  $E_y$ , сообщаемой воздушному потоку движущимся углем, то есть  $E_n > E_y$ , и опрокидывание воздушной струи не происходит.

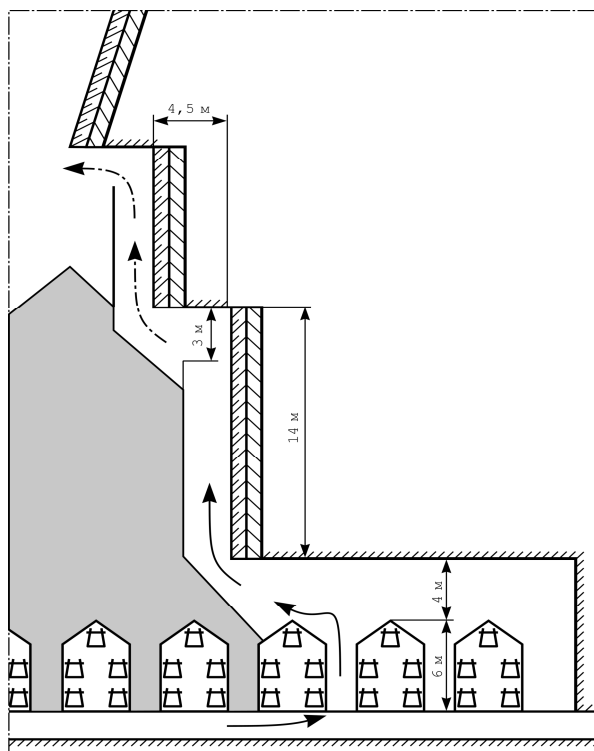


Рисунок 1 Схема подсыпки лавы

По мере движения выемочной машины вверх  $E_y$  увеличивается и может стать равной  $E_n$ , что приведет к прекращению проветривания призабойной части лавы, а воздушный поток переместится от забоя в сторону выработанного пространства. При дальнейшем движении комбайна вверх по лаве  $E_y$  становится гораздо больше  $E_n$ , что приведет к локальному опрокидыванию вентиляционной струи.

Таким образом, качество проветривания призабойного пространства лавы зависит от сочетания факторов, представленных в выражении (1). Так как во время работы выемочной машины происходит интенсивное газовыделение из движущегося угольного потока, обнаженной поверхности пласта и угля в магазинном уступе, то концентрация метана в районе комбайна может достигнуть опасной концентрации. Поскольку эффективность проветривания машинной части лавы определяется количеством воздуха, эжектируемого падающим угольным потоком, то установление зависимости взаимовлияния величин, представленных в выражении (1), является актуальной задачей.

**Целью работы** является определение количества воздуха, необходимого для проветривания механизированных лав крутого падения с учетом эжектирующего действия движущегося угольного потока.

**Идея работы** заключается в изучении влияния основных горнотехнических факторов на величину количества воздуха, эжектируемого потоком падающего угля в механизированных лавах крутого падения.

**Объект исследований** — процесс взаимодействия падающего угольного потока и воздушной струи при восходящих схемах проветривания механизированных лав крутого падения.

**Предмет исследований** — изучение влияния основных горнотехнических факторов на образование эжектируемого потока воздуха в механизированных лавах крутого падения.

**Задача исследования** — получение зависимости величины количества эжекти-

руемого угольным потоком воздуха от основных горнотехнических факторов.

**Изложение материала и его результаты.** Известные методы расчета количества воздуха, эжектируемого сыпучими материалами, решают задачу применительно к движению материала по желобам [2, 3]. При этом допускается, что материал по сечению желоба рассредоточен равномерно.

Однако движение угольного потока по лаве при механизированной выемке угля нельзя рассматривать с этой точки зрения. В таких случаях уголь рассредоточен по сечению лавы неравномерно. Основная масса угольного потока движется между забоем и первым рядом призабойной крепи. Можно считать, что уголь рассредоточен равномерно только в этой зоне. Тогда предположив, что скорость угольного потока и эжектируемого им воздуха в поперечном сечении лавы постоянны, можно записать следующую систему уравнений

$$m_c = m_m + m_g; \quad (2)$$

$$S_c = S_m + S_g; \quad (3)$$

$$m_m = \rho_m \cdot v_m \cdot S_m = \rho_m \cdot v_g \cdot S \cdot \beta; \quad (4)$$

$$m_g = \rho_g \cdot v_g \cdot S_g = \rho_g \cdot v_g \cdot S \cdot (1 - \beta); \quad (5)$$

$$m_c \cdot v_c = m_m \cdot v_m + m_g \cdot v_g, \quad (6)$$

где  $m$  — массовый расход, кг/с;

$S$  — площадь поперечного сечения, м<sup>2</sup>;

$\beta$  — объемная концентрация угля в сечении;

$v$  — скорость движения, м/с;

$\rho$  — плотность, кг/м<sup>3</sup>;

индексы:

$m$  — угольный поток;

$v$  — воздух;

$c$  — смесь угля и воздуха.

Угольный поток можно рассматривать как неполную свободную струю сыпучего материала, движение которого происходит в однородном поле силы тяжести при квадратичном законе сопротивления воздуха. Тогда изменение количества движения элементарного объема воздуха за время  $dt$

равно импульсу равнодействующих внешних сил, приложенных к этому объему

$$d(m_g \cdot v_g) = F dt. \quad (7)$$

Равнодействующая внешних сил, равная сумме сил лобового сопротивления движению частиц угля в потоке воздуха, определяется из выражения

$$F = \sum_{i=1}^n F_i = \sum_{i=1}^n K_{cn} \cdot S_{ci} \cdot \frac{(v_{mi} - v_{gi})^2}{2} \cdot \rho_g, \quad (8)$$

где  $F_i$  — сила лобового сопротивления движению частицы в потоке воздуха;

$K_{cn}$  — коэффициент лобового сопротивления частиц, учитывающий их взаимное влияние, равный

$$K_{cn} = \frac{K_u \cdot K_\phi}{(1 - \beta)^2 \cdot n}, \quad (9)$$

где  $K_u$  — коэффициент лобового сопротивления одиночного шара;

$K_\phi$  — коэффициент формы частиц ( $K_\phi = 2,2$ );

$S_u$  — площадь щелевого сечения русла угля, м<sup>2</sup>

$$S_u = \frac{\pi \cdot d_g^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (10)$$

где  $d_g$  — эквивалентный диаметр частицы, м.

Угольный поток является полифракционным сыпучим материалом. Однако известно, что его можно представить как монофракционный, используя средний эквивалентный диаметр кусков. Для монофракционного сыпучего материала равнодействующая внешних сил равна

$$F = N \cdot K_{cn} \cdot S_u \cdot \frac{(v_m - v_g)^2}{2} \cdot \rho_g = \frac{6 \cdot m_m}{n \cdot d_g^2 \cdot \rho_m} \cdot K_{cn} \cdot S_u \cdot \frac{(v_m - v_g)^2}{2} \cdot \rho_g. \quad (11)$$

После подстановки уравнений (5), (9), (10) и (11) в (7), получим следующее дифференциальное уравнение эжектирования воздуха движущимся угольным потоком

$$d[\rho_g \cdot v_g^2 \cdot S \cdot (1 - \beta)] = \frac{3 \cdot m_m \cdot \rho_g \cdot K_{uu} \cdot K_{\phi}}{4 \cdot \rho_m \cdot (1 - \beta)^2 \cdot n^2} \cdot (v_m - v_g)^2 dt. \quad (12)$$

Это выражение можно упростить, если учесть, что объемная концентрация угля  $\beta \approx 0$  ( $\beta = 0,005 - 0,0001$ ), а

$$v_g = \lambda \cdot v_m, \quad (13)$$

где  $\lambda$  — коэффициент скольжения фаз.

Тогда получим выражение

$$(2 \cdot v_g) dv_g = \left[ \frac{3 \cdot m_m \cdot \rho_g \cdot K_{uu} \cdot K_{\phi}}{4 \cdot \rho_m \cdot n^2} \cdot (1 - \lambda)^2 \cdot v_m^2 \right] dt. \quad (14)$$

На основании математической обработки экспериментальных данных получены корреляционные зависимости для определения скорости и времени движения угля в лаве:

– корреляционное отношение 0,83

$$v_m = 1,76 \cdot \alpha^{1,69} \cdot L^{0,36}; \quad (15)$$

– корреляционное отношение 0,89

$$t = 0,48 \cdot \alpha^{-1,69} \cdot L^{0,64}, \quad (16)$$

где  $\alpha$  — угол падения пласта, рад;

$L$  — длина лавы, м.

На рисунке 2 представлены кривые зависимости  $v_m$  и  $t$  от  $L$ .

Дифференцируя уравнения (15) и (16) по длине лавы  $L$ , получим

$$\frac{dv_m}{dL} = 0,63 \cdot \alpha^{1,69} \cdot L^{-0,64}, \quad (17)$$

$$\frac{dt}{dL} = 0,3 \cdot \alpha^{-1,69} \cdot L^{-0,36}. \quad (18)$$

Разделив (17) на (18), после преобразования получим

$$dt = \frac{L^{0,28}}{2,1 \cdot \alpha^{3,4}} dv_m. \quad (19)$$

Подставляя значение  $dt$  из (19) в (14), получим дифференциальное уравнение

$$(2 \cdot v_g) dv_g = \frac{3 \cdot m_m \cdot \rho_g \cdot K_{uu} \cdot K_{\phi} \cdot L^{0,28}}{4 \cdot \rho_m \cdot n^2 \cdot 2,1 \cdot \alpha^{3,4}} \times (1 - \lambda)^2 \cdot v_m^2 \cdot dv_m. \quad (20)$$

Экспериментальные исследования движущихся по желобам сыпучих материалов показали, что после некоторого расстояния от места истечения коэффициент скольжения фаз изменяется медленно. Это позволяет принять его постоянным при интегрировании уравнения (20).

Учитывая, что при  $v_m = 0$ ,  $v_g = 0$  пределы интегрирования для левой части уравнения (20) от 0 до  $v_{mk}$ . После интегрирования уравнения (20) и замены  $v_{гк}$  на  $v_{mk}$  получим квадратное уравнение относительно коэффициента скольжения фаз

$$\lambda^2 \cdot (A \cdot v_{mk}^3 - 3 \cdot v_{mk}^2) - 2 \cdot \lambda \cdot A \cdot v_{mk}^3 + A \cdot v_{mk}^3 = 0, \quad (21)$$

где

$$A = \frac{3 \cdot m_m \cdot \rho_g \cdot K_{uu} \cdot K_{\phi} \cdot L^{0,28}}{4 \cdot \rho_m \cdot n^2 \cdot 2,1 \cdot \alpha^{3,4}}. \quad (22)$$

После решения уравнения (21) получим

$$\lambda_{1,2} = \frac{A \cdot v_{mk} \pm \sqrt{31 + v_{mk}}}{A \cdot v_{mk} - 3}. \quad (23)$$

Очевидно, что для выполнения соотношения (13) перед корнем в (23) следует установить знак минус. Определив из (23) коэффициент скольжения фаз, получим количество воздуха, эжектируемого движущимся угольным потоком

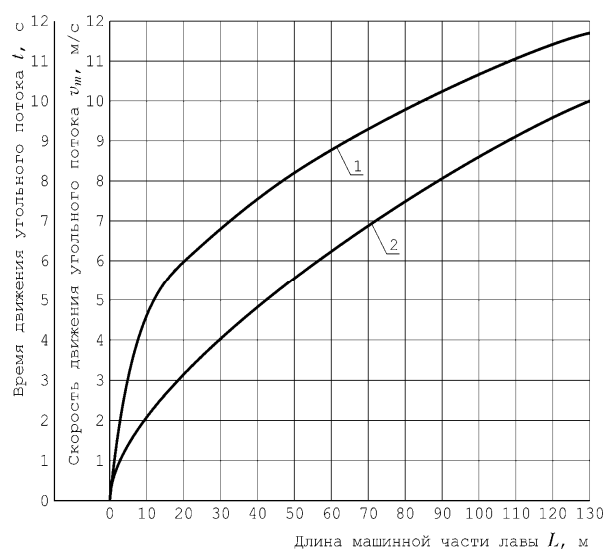
$$Q_{эж} = 60 \cdot \lambda \cdot v_m \cdot S_y, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (24)$$

где  $S_y$  — сечение части призабойного пространства, по которому движется угольный поток, равное

$$S_y = b_y \cdot m, \text{ м}^2, \quad (25)$$

где  $b_y$  — ширина призабойного пространства, по которому движется основная масса угля ( $b_y = 1,3\text{--}1,5$  м), м;

$m$  — мощность пласта, м.



1 —  $v_m = f_1(L)$ ; 2 —  $t = f_2(L)$

Рисунок 2 Зависимость скорости и времени движения потока угля в механизированном очистном забое от длины машинной части лавы при  $\alpha = 60^\circ$

### Библиографический список

1. Поповский, В. Н. Совершенствование методики расчета количества воздуха для проветривания механизированных лав крутого падения [Текст] / В. Н. Поповский, В. Г. Чебан // Сборник научных трудов ДонГТУ. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2020. — Вып. 18 (61). — С. 27–34.
2. Болбат, И. Е. Исследование скорости движения угля в очистных забоях крутых пластов [Текст] / И. Е. Болбат // Вопросы проветривания и безопасности в угольных шахтах. — Донецк : Донбасс, 1970. — С. 67–78.
3. Нейлов, С. Д. Расчет воздухообменов в аспирируемых укрытиях дробильных фабрик [Текст] / С. Д. Нейлов // Сборник научных трудов ИГД им. Федорова. — М. : Государственное научно-политическое издательство по горному делу, 1972. — Вып. 1. — С. 88–98.
4. Рекомендации по обеспечению нормального проветривания комбайновых лав на крутых пластах с учетом влияния падающего угля и устранения опасности подсыпки угля [Текст] : утв. Минуглепромом Украины 28.10.1974. — Донецк : Министерство угольной промышленности УССР, 1975. — 13 с.

Необходимое количество воздуха для проветривания механизированных лав, оборудованных выемочными машинами, окончательно определяем из выражения

$$Q_{уч} = Q_p + Q_{эж}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (26)$$

где  $Q_p$  — расчетное количество воздуха, определенное из [1], где коэффициент неравномерности принимается для нерабочих смен по [4];

$Q_{эж}$  — количество воздуха, эжектируемого движущимся угольным потоком, вычисляется по (24).

### Выводы и направление дальнейших исследований:

1. При восходящем проветривании депрессия, создаваемая падающим углем, достигает величины в 20–25 даПа и может превысить депрессию вентиляционной сети участка, обуславливая опасность опрокидывания воздушной струи в лаве и загазирования добычного участка.

2. Определено влияние основных горнотехнических факторов на величину количества воздуха, эжектируемого движущимся угольным потоком, в механизированных лавах крутого падения.

3. Получена зависимость величины количества воздуха, эжектируемого движущимся угольным потоком в механизированных лавах крутого падения, от основных горнотехнических факторов.

© Поповский В. Н.

© Чебан В. Г.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,  
д.т.н., проф., зав. каф. ГД АФГДиТ ЛНУ им. В. Даля Рябичевым В. Д.*

*Статья поступила в редакцию 20.05.20.*

**Popovskiy V. N.** (STC IS (Scientific and Technical Centre of Industrial Safety), Lugansk, LPR), **PhD in Engineer Cheban V. G.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

**DETERMINATION THE AMOUNT OF AIR TO VENTILATE MECHANIZED STEEP-DROP LONGWALL**

*There has been analyzed the influence of a moving coal stream on the efficiency of ventilation the mining sites that work out steep drop layers. The main factors affecting the amount of air ejected by the stream of falling coal are identified. Studies have been conducted to determine the value of this amount of air for various mining conditions.*

**Key words:** *mechanized longwall, air flow, amount of air, wind resistance, coal stream, ejection.*