УДК 622.411.51

В.А.РОГАЛЁВ, *д-р техн. наук, профессор, maneb@mail.ru*
К.Н.ЯСТРЕБОВА, *аспирантка, karina-vork@rambler.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

V.A.ROGALEV, *Dr. in eng. sc., professor, maneb@mail.ru*
K.N.YASTREBOVA, *post-graduate student, karina-vork@rambler.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЕСТЕСТВЕННОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ КАРЬЕРОВ

Эффективным методом интенсификации естественного проветривания карьеров является обеспечение безотрывного обтекания их бортов ветровым потоком. Приводятся методические особенности реализации этого метода и соответствующий математический алгоритм.

Ключевые слова: открытые горные работы, аэродинамическое профилирование, естественное проветривание.

METHODOLOGICAL FEATURES OF INTENSIFICATION NATURAL VENTILATION PITS

Effective method of intensification of natural ventilation pits is to ensure steady airflow around the sides of the wind stream. Methodical features of the implementation of this method and the corresponding mathematical algorithm.

Key words: open pit mining, aerodynamic profiling, natural ventilation.

При выборе наиболее оптимального метода усиления естественного проветривания целесообразно ориентироваться на следующие требования: минимальное загромождение карьерного пространства и прилегающей территории; минимальная стоимость мероприятий по внедрению и эксплуатации технических решений; адаптация метода к изменению геометрии карьерного пространства во время эксплуатации месторождения; технологическая совместимость с методами разработки месторождения.

Как показали теоретические и экспериментальные исследования, а также опыт производственного внедрения, перечисленным требованиям наиболее соответствует аэродинамическое профилирование участков борта карьера.

По сравнению с другими этот метод наиболее соответствует оптимальным требованиям к системам усиления естественного проветривания (УЕП): отсутствие загромождения карьерного пространства и прилегающей территории; минимальная стоимость создания устройств и их эксплуатации; способность адаптироваться к ухудшению естественного проветривания карьера с ростом его глубины; возможность оптимального сочетания с другими способами – оздоровление атмосферы карьеров и технологическая совместимость с системой разработки месторождения*.

Особенностью метода является создание плавного обтекаемого профиля в верхней час-

---

* *Рогалёв В.А.* Оздоровление атмосферы карьеров и угольных разрезов. Методические основы: Учеб. пособие / В.А.Рогалёв, Л.К.Горшков. МАНЭБ. СПб, 2013. 130 с.

Rogalev V.A., Gorshkov L.K. Improvement atmosphere quarries and coal pits. Methodical bases: Schoolbook / IAEMNPS. Saint Petersburg, 2013. 130 p.

ти отдельных участков бортов карьера. Профиль выполняется с определенным радиусом R по высоте участка профилирования $H_{\text{п}}$.

При оптимальном сочетании геометрических параметров R и H в определенном диапазоне скорости ветров обеспечивается безотрывное обтекание профилированного участка, позволяющее увеличить угол раскрытия воздушных потоков в карьер от 15 до 38°. Связь предельного значения скорости безотрывного обтекания с геометрическими параметрами отражается зависимостью*

$$\upsilon_{\text{пр}} \le 0{,}823R/H.$$

Дополнительно подаваемое количество воздуха в карьер на участке профилирования борта рассчитывается по формуле

$$\Delta Q = 0{,}78\upsilon H^{0{,}81}B^{1{,}43},$$

где υ – скорость ветра на поверхности, м/с, причем $\upsilon \le \upsilon_{\text{пр}}$; B – ширина профилированного участка, м.

Величина H при соответствующем значении радиуса профиля определяет глубину опускания ветрового потока в пространство карьера, а величина B – объем вовлекаемого в карьер воздуха.

Нужно отметить, что формирование профилированного участка борта в большинстве случаев связано со значительными объемами дополнительно вынимаемых горных пород. Зависимость вынимаемого объема горных пород $V_{\text{в}}$ от величины B описывается сравнительно простым выражением

$$V_{\text{в}} = a_1 B,$$

где a_1 – коэффициент пропорциональности, численно равный средней площади поперечного сечения дополнительно вынимаемого массива породы на участке профилирования.

Вследствие сложности конфигурации прилегающего к борту рельефа и обнаженной части борта точный расчет сечения вынимаемого горного массива может быть получен по планам и разрезам горных пород. На основе метода графического интегрирования борта определяются площади, ограниченные сложными линиями между обычным проектным контуром и линией его аэродинамического профилирования.

Зависимость же вынимаемого горного массива от высоты профиля H, как показал анализ, носит степенной характер:

$$V_H = a_2 H^b, \qquad (1)$$

где a_2 – коэффициент пропорциональности; b – показатель степени, причем $b > 1$.

Помимо величины H на характер изменения V_H существенно влияет угол откоса борта β в зоне закладки профиля. На основе анализа приведенных зависимостей для ΔQ и V можно показать характер изменения зависимости ΔQ от объема вынимаемых горных пород при увеличении H. Для этого, подставив в выражение

$$\Delta Q = C_2 H^{0{,}81}$$

значение H из выражения (1), получим

$$\Delta Q = C_2 (V_H / a)^{0{,}81},$$

где C_2 – коэффициент пропорциональности.

Упростив последнее выражение, будем иметь

$$\Delta Q = C'' V_{H^{b'}}, \qquad (2)$$

где $b' = 0{,}81/b$.

Поскольку величина $b > 1$, то $b' < 0{,}81 < 1$. Таким образом, из выражения (2) следует, что каждая единица прироста объема дополнительно подаваемого воздуха с высотой участка профилирования требует прогрессирующего объема вынимаемых горных пород, т.е. достается все более дорогой ценой. Соответственно объем вынимаемых горных пород можно оценить величиной затрат $З_H$, и тогда выражение (2) примет вид

$$\Delta Q_H = C З_{H^{b'}}, \qquad (3)$$

где $b < 1$.

Зависимость (3) свидетельствует о том, что увеличение высоты участков профилирования с ростом глубины карьера имеет определенный экономический предел, когда

* *Рогалёв В.А.* Нормализация атмосферы горнорудных предприятий. М.: Недра, 1993. 240 с.

Rogalev V.A. Normalization of the atmosphere of the mining enterprises. Moscow: Nedra, 1993. 240 p.

растущая эффективность усиления естественного проветривания постепенно компенсируется затратами на специальные горные работы. Поэтому при разработке системы усиления естественного проветривания карьеров одной из задач является установление экономического предела для УЕП.

Для оценки эффективности способа УЕП с помощью аэродинамического профилирования бортов, его сопоставления с другими способами и оптимизации специальных горных работ на реализацию в конкретных условиях предлагается показатель в виде отношения дополнительно подаваемого воздуха ΔQ_i на i-м участке профилирования к затратам на формирование и обслуживание этого участка $З_i$, или $C_i + E_н К_i$. Здесь C_i – текущие затраты на обслуживание участка профилирования; $К_i$ – капитальные затраты на формирование участка; $E_н$ – нормативный коэффициент окупаемости.

Поскольку затраты на обслуживание профилированного участка практически отсутствуют, оценочный критерий можно представить так:

$$\Delta Q/З = \Delta Q_i/(E_н К_i).$$

Этот критерий как целевой показатель должен максимизироваться:

$$\Delta Q_i/(E_н К_i) \to \max.$$

При создании n профилированных участков на бортах карьера общий целевой показатель примет вид

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta Q_i / E_н К_i \to \max.$$

Для максимизации показателя при внедрении системы усиления естественного проветривания необходимо оптимальное распределение выделенных затрат среди выбранных участков профилирования, которое может обеспечить максимально возможное улучшение состава атмосферы карьера при различных направлениях ослабленного ветра (от 0,3 до 5 м/с).

В обоснование системы усиления естественного проветривания берется показатель технико-экономического сравнения с системой искусственного проветривания. Как показал полученный опыт, до определенной глубины карьера система естественного проветривания экономичнее искусственного проветривания.

Профилирование отдельных участков борта карьера предполагает использование слабых ветровых потоков для проветривания нижних горизонтов карьерного пространства. Поэтому при выборе мест закладки профилированных участков в качестве исходного инструментария целесообразно принять розу ослабленных ветров (0,3-5 м/с), отражающую вероятности их повторений по румбам направлений. При этом на первой стадии работы предпочтение следует отдать профилированию борта со стороны наибольших повторений ослабленных ветров, затем со стороны следующих из оставшихся наибольших повторений и т.д.

При оптимизации системы усиления естественного проветривания карьеров необходимо соответствующим образом увязать затраты на формирование профилированных участков с достигаемым от них эффектом при подаче в карьерное пространство дополнительных воздушных масс.

В качестве вероятностного показателя, характеризующего эффект использования ресурсов на профилирование бортов, предлагается величина

$$Q_i = p_i \Delta Q_i,$$

где p_i – вероятность ослабленных ветров со стороны i-го направления; ΔQ_i – дополнительно подаваемое количество воздуха через i-й профиль.

Система усиления естественного проветривания конкретного карьера с многолетними перспективами его эксплуатации должна формироваться многоэтапно по степени роста его глубины и объема. Предполагается, что для каждого из этапов формирования системы выделяется определенный ресурс r_0. При этом возникает задача оптимального распределения ресурса r_0 на r_i частей для проведения горных работ между выбранными участками профилирования бортов.