

Расчет рециркуляционной схемы естественного проветривания карьеров

И.И. Старостин, канд. техн. наук, доцент

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва

e-mail: iistarostin@mail.ru

Ключевые слова:

открытая разработка полезных ископаемых (карьер), рециркуляционная схема проветривания карьера, геометрия карьера, пограничный слой, граница пограничного слоя.

Рассмотрена рециркуляционная схема проветривания карьера. Приведен расчет рециркуляционной схемы воздухообмена карьера с использованием метода интегральных соотношений Кармана, позволяющий учитывать параметры выработанного пространства (углы наклона подветренного и наветренного бортов, их конфигурацию, размеры дна) с помощью функции геометрии карьера. Получены аналитические зависимости для расчета аэродинамических параметров рециркуляционной схемы проветривания (скорости воздушных течений, границы пограничного слоя, объема циркулирующего воздуха и др.). Предложенный метод расчета позволяет оценивать состояние естественного воздухообмена в карьерах на различных этапах развития горных работ, на чем основаны оценка загрязнения атмосферы и разработка необходимых средств вентиляции.

1. Введение

С развитием открытой разработки полезных ископаемых, на долю которой приходится до 80% объемов продукции, увеличиваются размеры карьеров, их глубина достигает 500–700 м. Ведение вскрышных и добычных работ (буровзрывных, когда количество одновременно взрываемых веществ достигает сотни тонн, погрузочно-транспортных с применением мощных карьерных экскаваторов и автосамосвалов и др.) сопровождается значительным пылегазовыделением и превышением предельно-допустимых концентраций вредных веществ в воздухе рабочих зон. Растет нагрузка на окружающую воздушную среду. В последние годы отмечаются случаи аэрологических ситуаций, при которых возникает необходимость прекращения работ в отдельных карьерах продолжительностью до 15–20% годового времени, что влечет значительный экономический ущерб и повышение опасности ведения горных работ [1–3].

Ослабленная скорость ветра для большинства горнодобывающих районов страны наблюдается в течение 35% годового времени, наличие инверсионного и близкого к нему состояния атмосферы значительно затрудняет воздухообмен в выработанном

пространстве и приводит к отмеченным ситуациям. Для нормализации атмосферы карьера наиболее важен естественный воздухообмен.

2. Состояние вопроса и постановка задачи

Знать характер и закономерности естественного проветривания карьеров необходимо для оценки состояния воздухообмена выработанного пространства и установления наиболее безопасного режима его работы, прогнозирования загрязнения его атмосферы по мере развития горных работ, выбора и эффективного использования средств пылегазоподавления и вентиляции, а также при оценке загрязнения окружающей среды промышленного и жилого комплексов на поверхности. К основным факторам воздухообмена в карьерах относятся ветровая энергия, определяемая скоростью ветра на поверхности, и тепловое состояние атмосферы, обусловленное вертикальным температурным градиентом. Наличие этих факторов определяет схему проветривания: динамическую, термическую или термодинамическую.

В настоящей работе рассматривается динамическая (рециркуляционная) схема проветривания. В отличие от прямоточной схемы, существующей при углах подветренного борта карьера $\alpha_n \leq 15^\circ$, при ре-

циркуляционной схеме проветривания в карьере имеются две зоны: активная (струя первого рода), направление движения воздуха в которой совпадает с направлением ветра, и вихревая (струя второго рода) с противоположным направлением движения воздуха. Таким образом, образуется циркуляция воздуха в выработанном пространстве карьера. Рециркуляционная схема проветривания по сравнению с прямоточной менее эффективна из-за наличия циркулирующих объемов в выработанном пространстве, где небольшая скорость течений, в силу чего происходит накопление загрязнений.

Расчет рециркуляционной схемы с использованием теории плоско-параллельной струи, вытекающей в неподвижную среду, используемой в работах В.С. Никитина, Н.З. Битколова, С.С. Филатова, дает в большей степени упрощенную картину, не позволяющую учитывать влияние геометрии карьера и теплового состояния атмосферы. При рециркуляционной схеме проветривания аэродинамику воздушных течений могут определять геометрия выработанного пространства (углы и конфигурация бортов, глубина карьера), что обуславливает использование другого подхода к определению аэродинамических характеристик воздушных течений. Экспериментальные исследования влияния геометрии карьера на пара-

метры струи первого рода отмечены в [4]. Как показали результаты моделирования, угол ее раскрытия изменялся от 22 до 31°, что объясняется взаимодействием струй первого и второго рода и прежде всего изменением их турбулентности при разной конфигурации выработанного пространства, в котором происходит формирование и развитие течений.

Таким образом, задача данной работы состоит в разработке подхода к расчету рециркуляционной схемы проветривания карьера с учетом геометрии выработанного пространства.

3. Расчет рециркуляционной схемы проветривания карьера

Структура воздушных потоков для расчета рециркуляционной схемы проветривания приведена на рис. 1. На границе раздела струй первого и второго рода образуется пограничный слой. На внутренней границе этого слоя по линии 01 скорость воздушных потоков равна скорости ветра на поверхности. Линия 02, начиная от которой скорость обратных течений не меняется, представляет внешнюю границу пограничного слоя. Границы нулевой продольной скорости и постоянной массы, которая отделяет струи, вливающиеся в пограничный слой из области невозмущенного потока, от струй, подсосываемых из

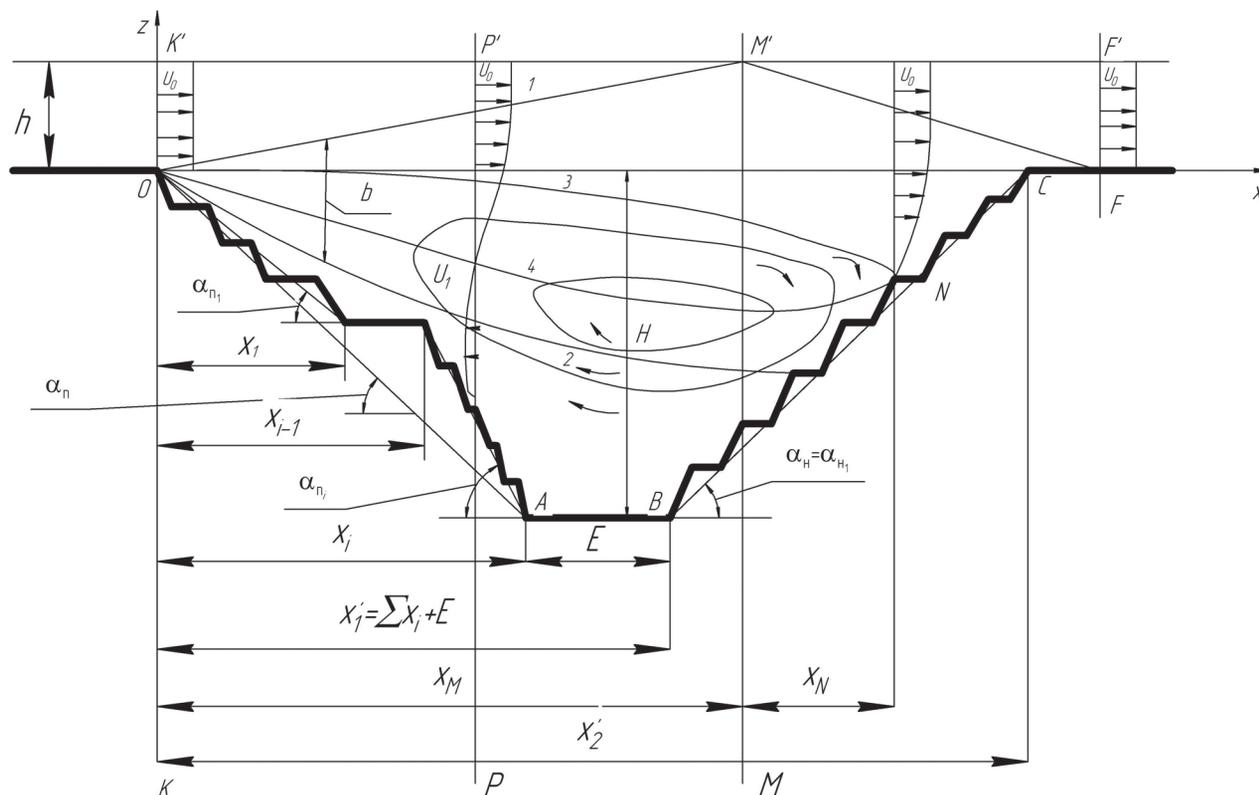


Рис. 1. Рециркуляционная схема проветривания карьера

пространства $ONBA$, проходят по линиям $03N$ и $04N$ соответственно. Поворот воздушных масс начинается за сечением $M'M$, которое является сечением максимальной деформации внешней границы пограничного слоя. За сечением $M'M$ начинается вырождение свободной струи первого рода, заканчивающееся в сечении $F'F$.

Для определения скорости воздушных течений на участке x_m (до сечения $M'M$) применяется метод интегрального соотношения Кармана, широко используемый в теории пограничного слоя [5–7]. Расчет проводится для изотермического пограничного слоя, т.е. равновесного и близкого к нему состояний атмосферы. Таким образом, в данном варианте рассматривается влияние только геометрии карьера на развитие и параметры его проветривания.

При решении задачи будем считать, что:

- 1) статическое давление на участке постоянно;
- 2) профиль скорости в пограничном слое определяется формулой Шлихтинга [6–9]:

$$\frac{U_0 - U}{U_0 - U_1} = f(\eta) = (1 - \eta)^{3/2} = \left[1 - \left(\frac{z - z_2}{z_1 - z_2}\right)^{3/2}\right]^2, \quad (1)$$

где U_0 , U , U_1 — скорость воздуха на поверхности, в точках с аппликатами z и на внешней границе пограничного слоя z_2 ; z_1 — аппликата внутренней границы пограничного слоя;

- 3) закон нарастания высоты пограничного слоя не зависит от соотношения скоростей $m = U_1/U_0$ и описывается линейной зависимостью

$$b = cx, \quad (2)$$

где x — абсцисса сечения пограничного слоя высотой b ; c — коэффициент турбулентности, определяемый суммарным углом раскрытия пограничного слоя $\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$ (α_1 и α_2 — углы наклона внутренней и внешней границ пограничного слоя соответственно). Для равновесного и близкого к нему состояний атмосферы $c = 0,55 - 0,6$;

- 4) при определении характеристик течений в карьере поперечными скоростями осредненного потока можно пренебречь;
- 5) плотность воздуха на различной глубине карьера постоянна (несжимаемая среда). Так, для карьера глубиной 500 м увеличение плотности воздуха на дне составляет 5,8% ее значения на поверхности.

Изменение скорости обратного течения, положения границ 01 , 02 , 03 и 04 , а также положение сечения $M'M$ в карьерах с разными геометрическими параметрами разработки можно определить из

системы уравнений (3), в которую входят соответственно уравнение импульсов для контура $K'KM'M$ и уравнения расходов для сечений $K'K$, $M'M$ и в циркуляционной зоне. За верхнюю границу контура $K'KM'M$ принимаем горизонтальную линию, проходящую через максимальную высоту деформации струи h . Уравнения расходов в этом случае остаются правомерными.

$$\begin{cases} hU_0^2 = U_0^2(h - z_1) + \int_{z_2}^{z_1} Udz + U_1^2[F(G) + z_2] \\ hU_0 = U_0(h - z_1) + \int_{z_2}^{z_1} Udz + U_1[F(G) + z_2], \\ \int_{z_3}^{z_4} Udz = - \int_{z_3}^{z_4} Udz - U_1[F(G) + z_2] \end{cases}, \quad (3)$$

где $F(G)$ — функция геометрии карьера.

Функция геометрии карьера описывает его профиль, определяя глубину в различных сечениях, и выражается следующими зависимостями:

- на подветренном борту:

$$F(G)_n = x_1 \operatorname{tg} \alpha_{n_1} + (x_2 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_{n_2} + (x_3 - x_2) \operatorname{tg} \alpha_{n_3} + \dots + (x - x_{i-1}) \operatorname{tg} \alpha_{n_i}, \quad (4)$$

- на дне карьера:

$$F(G)_d = H, \quad (5)$$

- на наветренном борту:

$$F(G)_n = H - (x'_2 - \sum x_i - E) \operatorname{tg} \alpha_{n_1} - (x'_3 - x'_2) \operatorname{tg} \alpha_{n_2} - \dots - (x - x'_{i-1}) \operatorname{tg} \alpha_{n_i}, \quad (6)$$

где x — абсцисса сечения, в котором определяется функция геометрии карьера; $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$ ($x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_i$) — абсциссы концов характерных участков подветренного (наветренного) борта карьера; $\alpha_{n_1}, \alpha_{n_2}, \alpha_{n_3}, \dots, \alpha_{n_i}$ ($\alpha_{n_1}, \alpha_{n_2}, \alpha_{n_3}, \dots, \alpha_{n_i}$) — углы откосов характерных участков подветренного (наветренного) бортов карьера; E — ширина дна карьера; H — глубина карьера (см. рис. 1).

Под характерным участком борта карьера понимается часть подветренного (наветренного) борта, характеризующаяся выдержанным углом откоса. Если угол борта карьера выдержан по всей длине ($\alpha_{n_i} = \alpha_n, \alpha_{n_i} = \alpha_n$), то борт можно рассматривать как один характерный участок. В этом случае $F(G)_n = x \operatorname{tg} \alpha_n$, а $F(G)_d = H - (x - \sum x_i - E) \operatorname{tg} \alpha_n$.

Приведем систему уравнений (3) к безразмерному виду и разделив первое уравнение на $U_0^2 F(G)$, а второе и третье уравнения — на $U_0 F(G)$, получим:

$$\begin{cases} \frac{z_1 \bar{b}}{b} = \bar{b} \int_0^1 \left(\frac{U}{U_0}\right)^2 d\eta + m^2 \left(1 + \frac{z_2 \bar{b}}{b}\right) \\ \frac{z_1 \bar{b}}{b} = \bar{b} \int_0^1 \left(\frac{U}{U_0}\right) d\eta + m \left(1 + \frac{z_2 \bar{b}}{b}\right) \\ \bar{b} \int_0^{\eta_3} \frac{U}{U_0} d\eta = -m \left(1 + \frac{z_2 \bar{b}}{b}\right) \end{cases}, \quad (7)$$

где \bar{b} — безразмерная толщина пограничного слоя ($\bar{b} = b / F(G) = cx / F(G)$).

Из решения первого и второго уравнений системы (7) имеем безразмерные координаты внутренней и внешней границ пограничного слоя:

$$z_1^* = \frac{z_1}{b} = 0,134m + 0,416, \quad (8)$$

$$z_2^* = \frac{z_2}{b} = z_1^* - 1 = 0,134m - 0,584. \quad (9)$$

Безразмерные координаты границы нулевой скорости пограничного слоя, определяемой условием $U(z_4) = 0$, и границы постоянной массы определяются по формуле (1):

$$z_4^* = \frac{z_4}{b} = \eta_4 + z_2^* = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1-m}}\right)^{2/3} + 0,134m - 0,584, \quad (10)$$

$$z_3^* = \frac{z_3}{b} = \eta_3 + z_2^* = \eta_3 + 0,134m - 0,584, \quad (11)$$

где η_3 , и η_4 — безразмерные параметры пограничного слоя в границах 02–03 и 02–04 соответственно.

Неизвестную величину m , входящую в уравнения (8)–(11), получаем путем подставления (8) и (9) во второе уравнение системы (7). Принимаем во внимание, что $-1 < m \leq 0$:

$$m = -\frac{R}{2} + \sqrt{\frac{R^2}{4} - 1}, \quad (12)$$

$$\text{где } R = 2 - \frac{F(G)}{0,134cx}.$$

После подстановки выражений (9) и \bar{b} в третье уравнение системы (7) с учетом результатов интегрирования, а также несложных, но громоздких алгебраических преобразований получаем:

$$m = \frac{0,25\eta_3^4 - 0,8\eta_3^{2,5} + 0,134}{0,25\eta_3^4 - 0,8\eta_3^{2,5} + \eta_3 - 0,316}. \quad (13)$$

Изменение углов наклона пограничного слоя определяем по зависимостям:

$$\alpha_1 = \arctg(cz_1^*) = \arctg(0,134cm + 0,416c), \quad (14)$$

$$\alpha_2 = \arctg(cz_2^*) = \arctg(0,134cm - 0,584c), \quad (15)$$

$$\alpha_3 = \arctg(cz_3^*) = \arctg(c\eta_3 + 0,134cm - 0,584c), \quad (16)$$

$$\alpha_4 = \arctg(cz_4^*) = \arctg\left[c\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1-m}}\right)^{2/3} + 0,134cm - 0,584c\right]. \quad (17)$$

Скорость воздушных потоков в карьере и углы раскрытия пограничного слоя, а, следовательно, и аэродинамические параметры циркуляционной схемы проветривания существенно зависят от геометрии выработанного пространства.

Используя полученные зависимости, положение сечения $M'M$ можно найти из условия равенства энергии, количества движения и расхода прямых и обратных циркуляционных потоков. Например, по последней гипотезе имеем: $Q_{np} = Q_{обр}$, где

$$Q_{np} = \int_{\eta_4}^{\eta_3} \frac{U}{U_0} d\eta, \quad Q_{обр} = -\int_0^{\eta_4} \frac{U}{U_0} d\eta - m \left[\frac{F(G)}{b} + z_2^*\right].$$

Отсюда $x = x_m$ при $m_m = -0,4$. Другие гипотезы дают близкие результаты.

Выражение для определения абсциссы конца первого участка циркуляционной зоны, полученное из условия $x = x_m$ при $m_m = -0,4$ и ранее приведенного выражения безразмерной толщины пограничного слоя (1) $\bar{b} = b / F(G) = cx / F(G) = -m / [0,134(1-m)^2]$, определяется зависимостью

$$x_m = \frac{1,52F(G)_m}{c}, \quad (18)$$

где $F(G)_m$ — функция геометрии карьера в сечении x_m .

Расход воздуха в произвольном сечении обратных потоков участка x_m циркуляционной зоны получаем, используя третье уравнение системы (7)

$$Q_{обр} = -\int_{z_2}^{z_4} U dz - U_1 [F(G) + z_2], \text{ из которого:}$$

$$Q_{обр} = -U_0 \{cx[\eta_4 - (1-m)(\eta_4 - 0,8\eta_4^{2,5} + 0,25\eta_4^4)] + m[F(G) + cz_2^*]\}. \quad (19)$$

Задача поворота воздушного потока за сечением $M'M$ решалась методами гидродинамики идеальной жидкости по методике, разработанной Г.Н. Абрамовичем [5], с использованием метода конформного преобразования Н.Е. Жуковского. Длина участка по-

ворота циркуляционных воздушных потоков составляет (см. рис. 1):

$$x_N = 0,07x_M(3c + 1)[\ln N - \ln(N - 2)], \quad (20)$$

где $N = \frac{0,66c + 0,22}{0,66c - 0,21}$.

Отсюда следует, что для $c = 0,6$, $x_N = 0,18x_M$.

На основе представленных зависимостей рассмотрим рециркуляционную схему проветривания на примере карьера с выдержанными углами бортов.

Решая (12) с учетом $F(G)_n = xtga_n$ (4) и $c = 0,6$, имеем:

$$m = (1 - 6,22tga_n) + \sqrt{(1 - 6,22tga_n)^2 - 1}. \quad (21)$$

Таким образом, на участке подветренного борта карьера соотношение скоростей m остается постоянным и зависит только от угла его наклона, уменьшаясь с увеличением последнего.

Из зависимости (21) следует, что для $\alpha_n < 21^\circ 30'$ $m < -0,4$. Следовательно, сечение поворота присоединенных масс отсутствует. Общая циркуляционная зона в этом случае распадается на ряд укрупненных циркуляционных зон уступов. Диссипативный распад общей циркуляционной зоны объясняет то обстоятельство, что приведенные в работе [4] экспериментально полученные данные по скорости обратных потоков на 35–40% ниже значений, определяемых расчетным путем. Такая схема проветривания является промежуточной между прямоточной и рециркуляционной и может существовать в карьерах с углами подветренного борта $16^\circ < \alpha_n < 22^\circ$.

4. Заключение

На основании предложенной теоретической модели движения воздуха в карьере при проветривании по рециркуляционной схеме и полученного решения задачи естественного воздухообмена в выработанном пространстве с использованием метода интегральных соотношений Кармана разработан метод расчета проветривания карьеров с учетом их геометрических параметров (глубины и ширины дна карьера, углов наклона бортов и их конфигурации). Как следует из предложенного метода расчета, численные значения аэродинамических параметров циркуляционной схемы проветривания зависят от геометрии карьера, обусловленной горно-геологическими и технологическими условиями разработки. Предложенный метод расчета позволяет прогнозировать проветривание карьеров оперативно и на различных этапах развития горных работ в условиях равновесного и близкого к нему состояний атмосферы, что необходимо для оценки загрязнения атмосферы и обоснования применения требуемых средств вентиляции.

Список обозначений

- b – высота пограничного слоя в сечении с абсциссой X , м;
- c – безразмерный коэффициент турбулентности;
- $F(G)$ – функция геометрии карьера;
- $F(G)_n, F(G)_д, F(G)_н$ – функции геометрии карьера для его подветренного, наветренного борта и дна, м;
- E – ширина дна карьера, м;
- H – глубина карьера, м;
- h – максимальная высота деформации струи, м;
- m – безразмерное соотношение скоростей ($m = U_1/U_0$);
- m_M – безразмерное соотношение скоростей в сечении $M'M$ с максимальной высотой деформации струи h ;
- N – безразмерная величина ($N = \frac{0,66c + 0,22}{0,66c - 0,21}$);
- $Q_{пр}$ – расход прямого циркуляционного потока, м³/с;
- $Q_{обр}$ – расход обратного циркуляционного потока, м³/с;
- R – безразмерная величина ($R = 2 - \frac{F(G)}{0,134cx}$);
- U_0, U, U_1 – скорость воздуха на поверхности, в точках с аппликатами Z и на внешней границе пограничного слоя Z_2 , м/с;
- x – абсцисса сечения с функцией геометрии карьера $F(G)$, м;
- x_M – абсцисса сечения конца первого участка циркуляционной зоны, м;
- x_N – абсцисса сечения конца участка поворота циркуляционных потоков, м;
- x_p, x_i' – абсциссы концов характерных участков подветренного и наветренного бортов карьера соответственно, м;
- Z – аппликата границ пограничного слоя, м;
- Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 – аппликата внутренней, внешней границы постоянной массы и нулевой скорости пограничного слоя, м;
- $Z_1^*, Z_2^*, Z_3^*, Z_4^*$ – безразмерные аппликаты внутренней, внешней границы постоянной массы и нулевой скорости пограничного слоя ($Z_1^* = Z_1/b, Z_2^* = Z_2/b, Z_3^* = Z_3/b, Z_4^* = Z_4/b$);
- α – суммарный угол раскрытия пограничного слоя, град;
- α_1, α_2 – углы наклона внутренней и внешней границ пограничного слоя соответственно, град;
- $\alpha_{n1}, \alpha_{n2}, \dots, \alpha_{ni}$ ($\alpha_{n1}, \alpha_{n2}, \dots, \alpha_{ni}$) – углы откоса характерных участков подветренного (наветренного) бортов карьера, град;
- η – безразмерный параметр пограничного слоя $\eta = \frac{Z - Z_2}{Z_1 - Z_2}$;
- η_3 – безразмерный параметр пограничного слоя в границах 02–03 (внешняя граница – граница постоянной массы) ($\eta_3 = \frac{Z - Z_3}{Z_2 - Z_3}$);

η_4 — безразмерный параметр пограничного слоя в границах 02–04 (внешняя граница — граница нулевой скорости) ($\eta_4 = \frac{Z - Z_4}{Z_2 - Z_4}$).

Индексы

п — подветренный борт карьера;
д — дно карьера;
н — наветренный борт карьера.

Литература

1. Морин А.С. Обоснование технологии трубопроводного проветривания глубоких карьеров. Дис. ... д-ра. техн. наук. — Красноярск, 2011, — 211 с.
2. Силаев В.В. Проблемы аэрологии карьеров // Горный журнал. 1994. № 3. С.52–54.
3. Конорев М.М., Нестеренко Г.Ф., Павлов А.И. Вентиляция и пылегазоподавление в атмосфере карьеров. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2010.
4. Ушаков К.З., Силаев В.В., Старостин И.И. О влиянии геометрии карьера на параметры свободной струи. Известие высших учебных заведений // Горный журнал. 1974. № 5. С. 15–19.
5. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. — М.: Эколит, 2011.
6. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. — М.: Дрофа, 2003.
7. Старостин И.И., Бондаренко А.В. Интенсификация аэрации карьеров с применением направляющих аппаратов. // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 6. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/577364.html> (дата обращения 15.07.2013).
8. Старостин И.И., Бондаренко А.В. Проветривание карьеров струйными вентиляторами в комплексе с устройством для аэрации // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. № 1. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/755210.html> (дата обращения 15.02.2015).

References

1. Morin A.S. The justification of the deep quarry pipeline ventilation technology. The dissertation of the Doctor of Engineering. Krasnoyarsk. 2011. 211 pp. (in Russian)
2. Silaev V.V. The problems of the aerology of quarries. *Gorny zhurnal* [mining journal]. 1994, I. 3, pp. 52–54. (in Russian)
3. Konorev M.M., Nesterenko G.F., Pavlov A.I. The ventilation and the dust-and-gas suppression in the atmosphere of quarries. Ekaterinburg, IGD UrB RAS Publ., 2010. 440 p. (in Russian)
4. Ushakov K.Z., Silaev V.V., Starostin I.I. Of the influence of quarry geometry on free jet parameters. The news of higher educational institutions. *Gorny zhurnal* [mining journal]. 1974, I. 5, pp. 15–19. (in Russian)
5. Abramovich G.N. The theory of turbulent jets. Moscow, Ekolot Publ., 2011. 715 p. (in Russian)
6. Schlichting G. Boundary layer theory. Moscow, Nauka Publ., 1974. 712 p. (in Russian)
7. Loytsyanskiy L.G. Fluid and gas mechanics. Moscow, Dropha Publ., 2003. 846 p. (in Russian)
8. Starostin I.I., Bondarenko A.V. The intensification of the aeration of quarries with the application of guide vanes. *Nauka i obrazovanie. MSTU named after N.E. Bauman. Electronic journal*. 2013, I. 6. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/577364.html> (accessed 15 July 2013). (in Russian)
9. Starostin I.I., Bondarenko A.V. The airing of quarries by jet fans in a complex with an aeration device. *Nauka i obrazovanie. MSTU named after N.E. Bauman. Electronic journal*. 2015, I. 1. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/755210.html> (accessed 15 February 2015). (in Russian)

On the Calculation of Recirculating Scheme of Quarry Ventilation

I.I. Starostin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University

A recirculating scheme of quarry ventilation has been examined. A calculation of the recirculating scheme of a quarry gas interchange employing Karman's integral method, allowing to account for the parameters of the developed cavity (the angles of leeward and windward sides, their configuration, the size of the bottom, etc.), using the geometry function of the quarry, has been referred. Analytical dependencies for calculation of aerodynamic parameters of the recirculating ventilation scheme (air currents velocity, limits of the boundary layer, circulating air volume, etc.) have been determined. The proposed calculation method allows evaluating the natural state of gas interchange in quarries at various stages of mining operations, which is the basis for the estimation of atmospheric pollution and the development of necessary ventilation techniques.

Keywords: open-pit mining (quarry), recirculating scheme of quarry ventilation, geometry of a quarry, boundary layer, limits of boundary layer.