

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 622.663.3

© Николаев А.В., Алыменко Н.И., Садыков Р.И., 2012

РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ УТЕЧЕК ВОЗДУХА НА КАЛИЙНЫХ РУДНИКАХ

А.В. Николаев, Н.И. Алыменко*, Р.И. Садыков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет,

* Горный институт УрО РАН, г. Пермь, Россия

При проветривании рудников по всасывающему способу, как на всех рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС), в поверхностном комплексе главной вентиляторной установки (ГВУ) образуются утечки воздуха. Величина поверхностных утечек воздуха на действующих рудниках определяется при проведении воздушно-депресссионной съемки. Для проектируемых рудников существуют коэффициенты, по которым принимаются значения прогнозируемых утечек воздуха, в действительности значительно отличающиеся от полученных в ходе измерений значений.

В статье приводится алгоритм расчета величины поверхностных утечек воздуха, возникающих при работе ГВУ на калийных рудниках. В предложенном алгоритме расчет поверхностных утечек воздуха производится по известным и ранее полученным авторами формулам. За искомую величину, по которой в дальнейшем можно вычислить величину поверхностных утечек воздуха при известном режиме ГВУ, принимается создаваемое вентилятором разрежение в месте пересечения канала ГВУ с вентиляционным стволом. Приравняв формулы, определяющие величину разрежения создаваемого ГВУ на участке поверхностный комплекс – канал ГВУ и на участке воздухоподающие стволы – подземная часть рудника – вентиляционный ствол – канал ГВУ, а также осуществив ряд преобразований, получили искомую математическую зависимость. Используемые в алгоритме формулы позволяют определить величину поверхностных утечек воздуха при изменяющихся климатических параметрах (атмосферное давление, температура воздуха, относительная влажность воздуха и т.д.). По полученным математическим зависимостям выбирается режим работы ГВУ. С использованием полученного в работе алгоритма появляется возможность определить величину поверхностных утечек воздуха как на действующих, так и на проектируемых калийных рудниках.

Ключевые слова: утечка воздуха, главная вентиляторная установка, воздухоподающий ствол, калийный рудник, проектируемый рудник, всасывающая схема проветривания, алгоритм расчета.

CALCULATION OF SURFACE AIR LEAKS AT POTASH MINE

A.V. Nikolaev, N.I. Alymenko*, R.I. Sadykov

Perm National Research Polytechnic University,
* Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy
of Sciences, Perm, Russian Federation

When ventilating mines the suction method as all the mines Verkhnekamsk potassium-magnesium salts (VKMKS) in the surface complex of the main ventilation system (HLG) formed air leakage. The value of surface air leakage at operating mines determined by conducting air-depression shooting. For projected mines exist coefficients, which takes the value of projected air leaks, in fact, significantly different from those obtained during the measurement values.

This article provides an algorithm for calculating the value of surface air leaks that occur when working at HLG potash mines. The proposed algorithm for the calculation of surface air leakage is the known and the author earlier formulas. For the unknown quantity on which in the future can calculate the surface leakage of air at a certain mode HLG adopted by the fan discharge at the intersection of Canal HLG with ventilation shafts. Equating each other formulas that determine the vacuum created by the HLG on the site surface complex - Channel HLG and the area air supply trunks - the underground part of the mine - ventilation shaft - Channel HLG, and implemented a number of reforms, was obtained the required mathematical relationship. Algorithm used in formulas to determine the amount of surface air leaks under changing climatic parameters (atmospheric pressure, air temperature, relative humidity, etc.). According to the obtained mathematical relationship mode is selected HLG. Using the obtained in the algorithm, it is possible to determine the amount of surface leakage current on the air as well as on the projected potash mines.

Key-words: air leakage, the main fan installation, air supply trunk, potash mine, the planned mine, sucking scheme airing algorithm.

Введение

На рудниках Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) применяется всасывающая схема проветривания, т.е. воздух в рудник подается по воздухоподающим стволам 1 за счет разрежения, создаваемого главной вентиляторной установкой (ГВУ) 2, расположенной на вентиляционном стволе 3 (рис. 1). Кроме воздуха, засасываемого в рудник Q_p , при подобной схеме проветривания в канал ГВУ 4 также засасывается наружный воздух через устье вентиляционного ствола 5, который, смешиваясь с общим потоком, будет снова выбрасываться в атмосферу. Поэтому помимо полезной работы (подачи свежего воздуха в рудник) ГВУ будет совершать бесполезную работу (обусловленную внешними утечками воздуха).

При проектировании рудников величина поверхностных утечек воздуха согласно [1, 2, 3 и др.] устанавливается равной 5–25 % (0,05–0,25 о.е. – так называемый коэффициент поверхностных утечек $K_{ут}$, зависящий от типа ствола). Однако на практике согласно [4] утечки воздуха на рудниках ВКМКС колеблются от 9 до 51 %. Разность закладываемого в проект и реального $K_{ут}$ будет сказываться на работе ГВУ, так как реальный режим ее работы может не соответствовать проектному. Подобное несоответствие наблюдается и на других рудниках [5, 6].

Ранее предлагалась методика определения величины поверхностных утечек воздуха только на действующих рудниках при известной производительности ГВУ [7, 8].

В связи с этим требуется разработать алгоритм расчета, позволяющий определить величину поверхностных утечек воздуха уже на стадии проектирования рудника.

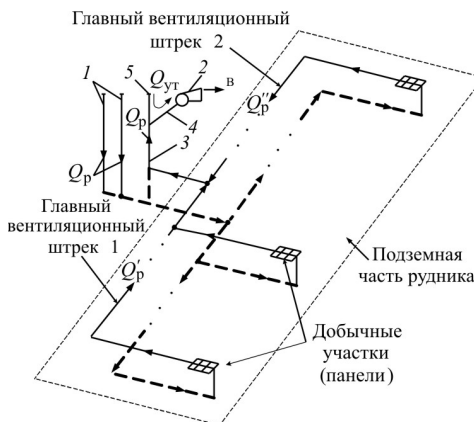


Рис. 1. Упрощенная схема (центральная) рудника, работающего по всасывающему способу проветривания

Величина поверхностных утечек воздуха может быть определена как разность производительности ГВУ Q_B и объема воздуха, поступающего в рудник Q_p :

$$Q_{ут} = Q_B - Q_p \quad (1)$$

Величина Q_p определяется на стадии проектирования рудника исходя из общего объема воздуха, который необходимо подавать на все добычные участки. В связи с этим величина поверхностных утечек воздуха будет зависеть от производительности ГВУ, которая, в свою очередь, будет зависеть от многих факторов, основным из которых является величина разрежения, создаваемого ГВУ P_k в вентиляционном стволе (рис. 2).

Определение барометрического давления в околоствольном дворе вентиляционного ствола и разрежения ГВУ

Разрежение ГВУ может быть определено с помощью двух формул: согласно [9]

$$P_k = P_a - K(h_B - R_{кан} Q_B^2), \quad (2)$$

согласно [10]

$$P_k = P_{од.вент} - K(\rho_{ср.вент} H_{вент} - R_{вент} Q_p^2), \quad (3)$$

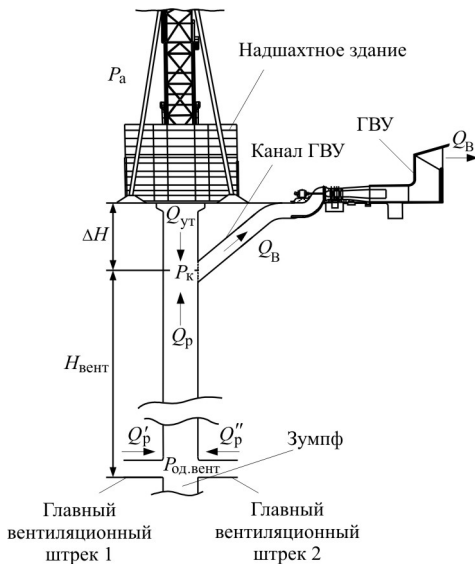


Рис. 2. Воздушные потоки в вентиляционном стволе

где P_a – атмосферное давление воздуха, мм рт. ст.; K – коэффициент пересчета из P_a в мм рт. ст., равный 0,0075; h_b – давление, создаваемое вентилятором, Па; $R_{кан}$ – аэродинамическое сопротивление канала ГВУ, $H \cdot c^2/m^8$; $P_{од.вент}$ – барометрическое давление в околоствольном дворе вентиляционного ствола, мм рт. ст.; $\rho_{ср.вент}$ – средняя плотность воздуха в вентиляционном стволе, $кг/м^3$; $H_{вент}$ – участок вентиляционного ствола от сопряжения с околоствольным двором до сопряжения с вентиляционным каналом ГВУ (рис. 2), м; $R_{вент}$ – аэродинамическое сопротивление $H_{вент}$, $H \cdot c^2/m^8$.

Величину барометрического давления в околоствольном дворе вентиляционного ствола согласно [10] можно найти как

$$P_{од.вент} = P_{од.возд} - 9,81KR_{пчр}Q_p^2, \quad (4)$$

где $P_{од.возд}$ – барометрическое давление в околоствольном дворе воздухоподающего (воздухоподающих) ствола (стволов), мм рт. ст.; $R_{пчр}$ – аэродинамическое сопротивление подземной части рудника, $H \cdot c^2/m^8$.

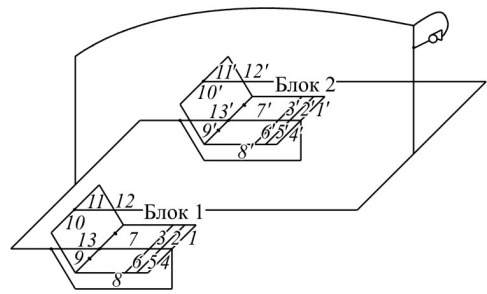


Рис. 3. Пример расчетной схемы

Определение аэродинамического сопротивления подземной части рудника

Аэродинамическое сопротивление подземной части рудника можно определить при составлении его расчетной схемы и дальнейшем ее расчете, который проводится следующим образом.

Представим, что рудник обрабатывается блоками по схеме, приведенной на рис. 3.

Для расчета воздухораспределения в приведенной сети первоначально необходимо ее упростить. Рассмотрим блок 1. В нем выработки (ветви) 1, 2, 3 и 4, 5, 6 соединены параллельно. Следовательно, можно найти их эквивалентное аэродинамическое сопротивление по формулам [2]

$$R_{эkv.1} = \frac{R_1}{\left(1 + \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} + \sqrt{\frac{R_1}{R_3}}\right)^2},$$

$$R_{эkv.2} = \frac{R_4}{\left(1 + \sqrt{\frac{R_4}{R_5}} + \sqrt{\frac{R_4}{R_6}}\right)^2}, \quad (5)$$

где R_i – аэродинамическое сопротивление i -й выработки в расчетной схеме, $H \cdot c^2/m^8$.

В результате получим схему, приведенную на рис. 4, а, в которой ветви 1, 2, 3 и 4, 5, 6 заменены эквивалентными. Ветви, соединенные последовательно, находятся как их алгебраическая сумма. Сложив значения аэродинамических сопротивлений ветвей 9, 10 и 11, 12, а затем, определив их общее аэродинамическое сопротивление по формуле (5), полу-

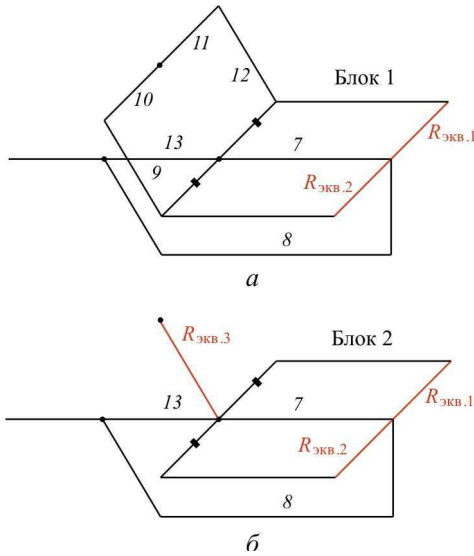


Рис. 4. Пример расчетной схемы:
 а – замена ветвей 1–6 рассчитываемого блока эквивалентными сопротивлениями $R_{экв.1}$ и $R_{экв.2}$;
 б – замена ветвей 9–12 рассчитываемого блока эквивалентным сопротивлением $R_{экв.3}$

лучим ветвь с эквивалентным аэродинамическим сопротивлением $R_{экв.3}$ (рис. 4, б). Аналогичным образом находится эквивалентное аэродинамическое сопротивление всей подземной части рудника ($R_{пчр}$).

Аэродинамическое сопротивление каждой отдельной выработки согласно [2] определится по формуле

$$R_i = 0,096138 \frac{K_i L_i}{S_i^{2,5}}, \quad (6)$$

где K_i – коэффициент, определяющий степень шероховатости, способ проходки и назначение i -й выработки [2]; L_i и S_i – длина (м) и сечение (m^2) i -й выработки.

Расчет поверхностных утечек воздуха

Барометрическое давление в околоствольном дворе воздухоподающего ствола согласно [11] определяется по формуле

$$P_{од.возд} = a_1 P_a^{n_1} + a_2 t_{нар}^{n_2} + a_3 H_{возд}^{n_3} + a_4 D_{возд}^{n_4} + a_5 Q_{возд}^{n_5}, \quad (7)$$

где a_i – коэффициенты регрессии [11]; n_i – степени при параметре [11]; P_a – атмосферное давление воздуха, мм рт. ст.; $t_{нар}$ – температура наружного воздуха, °С; $H_{возд}$, $D_{возд}$, $Q_{возд}$ – соответственно глубина (м), диаметр воздухоподающего ствола (м) и объем воздуха, проходящего по нему (m^3/c).

Средняя плотность воздуха в вентиляционном стволе определяется по формуле [10]

$$\begin{aligned} \rho_{ср.вент} = & \left[\frac{1}{273,15 + t_{од.вент} - Y \cdot H_{вент}} \times \right. \\ & \times 0,2325 (273,15 + t_{од.вент} - \\ & \left. - H_{вент} (0,01705 - Y)) \right] \times \\ & \times \left[\frac{1}{273,15 + t_{од.вент}} \times \right. \\ & \times (P_a + (0,0735 \rho_{ср.возд} H_{вент}) - \\ & \left. - 0,0075 ((R_{возд} + R_{пчр}) Q_p^2)) \right] + \\ & + \frac{1}{273,15 + t_{од.вент} - Y H_{вент}} \times \\ & \times (P_a + (0,0735 \rho_{ср.возд} H_{вент}) - \\ & \left. - 0,0075 ((R_{возд} + R_{пчр} + R_{вент}) Q_p^2)) \right], \quad (8) \end{aligned}$$

где $t_{од.вент}$ – температура воздуха в околоствольном дворе вентиляционного ствола (в течение года имеет практически постоянное значение и находится по формулам [12]), °С; Y – температурно-влажностный градиент, °С/м [10, 12]; $\rho_{ср.возд}$ – средняя плотность воздуха в воздухоподающем (воздухоподающих) стволе (стволах), kg/m^3 ; $R_{возд}$ – аэродинамическое сопротивление воздухоподающего (воздухоподающих) ствола (стволов), $H \cdot c^2/m^8$.

Средняя плотность воздуха в воздухоподающем стволе согласно [10] определяется по формуле

$$\rho_{\text{ср.возд}} = \left\{ 0,2325 \left[P_a (546,3 + 2t_{\text{нар}} - \right. \right. \\ \left. \left. - XH_{\text{возд}}) - 0,0075R_{\text{возд}} Q_{\text{возд}}^2 \times \right. \right. \\ \left. \left. \times (273,15 + t_{\text{нар}}) \right] \right\} / \left\{ (273,15 + t_{\text{нар}}) \times \right. \\ \left. \times [273,15 + t_{\text{нар}} + H_{\text{возд}} (X - 0,01705)] \right\}. \quad (9)$$

где X – температурно-влажностный градиент, °С/м [10, 12]; $H_{\text{возд}}$ – глубина воздухоподающего ствола, м.

Величина разрежения создаваемого ГВУ находится по формуле (3). Формулы (8) и (9) справедливы для случая, если устья стволов находятся на равных абсолютных отметках. В противном случае необходимо произвести добавочные расчеты, учитывающие параметры наружного воздуха по алгоритму [13].

Развиваемое вентилятором ГВУ давление согласно [2] может быть определено по формуле

$$h_B = A + BQ_B + CQ_B^2, \quad (10)$$

где A, B, C – коэффициенты кривой, соответствующей определенным углам установки лопаток направляющих аппаратов (центробежный вентилятор), рабочего колеса (осевой вентилятор) вентилятора или скорости вращения рабочего колеса ГВУ [2].

Тогда, решив уравнение (2) относительно уравнения (10), получим

$$(C - R_{\text{кан}}) Q_B^2 + BQ_B + A - NP_a + NP_k = 0, \quad (11)$$

где N – коэффициент пересчета из мм рт. ст. в Па, равный 133,332.

Аэродинамическое сопротивление канала в зависимости от формы поворота из ствола в канал, способа присоеди-

нения вентилятора к каналу, расположения канала по отношению к стволу и его геометрических размеров определяется по формулам [14, 15].

$$\text{Обозначив } A_1 = (C - R_{\text{кан}}); \quad B_1 = B; \\ C_1 = A - N(P_a - P_k); \quad a = \frac{B_1}{A_1} \quad \text{и} \quad b = \frac{C_1}{A_1},$$

получим

$$Q_B = -\left(\frac{a}{2}\right) + \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - b}. \quad (12)$$

Из формул (12) и (1) находим величину поверхностных утечек воздуха.

Заключение

Таким образом, предложенный вариант позволит рассчитать величину поверхностных утечек воздуха при изменении режима проветривания (производительности вентилятора), атмосферных параметров (температуры наружного воздуха и атмосферного давления), аэродинамических сопротивлений канала ГВУ и подземной части рудника, в результате чего появляется возможность применять его как для действующих, так и для проектируемых рудников. На действующих рудниках с учетом изменяющихся климатических параметров можно спрогнозировать величину поверхностных утечек и выбрать режим работы ГВУ. Для проектируемых рудников предложенный алгоритм будет иметь большее значение, так как от величины поверхностных утечек воздуха зависит выбор вентилятора ГВУ и режим его работы (характеристика и КПД), а следовательно, энергоэффективность проветривания.

Список литературы

1. Справочник по рудничной вентиляции / под ред. К.З. Ушакова. – М.: Недра, 1977. – 328 с.
2. Мохирев Н.Н., Радько В.В. Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. – 324 с.
3. Бурчаков А.С., Мустель П.И., Ушаков К.З. Рудничная аэрология. – М.: Недра, 1971. – 376 с.
4. Алыменко Н.И., Минин В.В. Вентиляторные установки и их применение. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 223 с.

5. Gillies A.D.S., Hsin Wei Wu. A comparison of air leakage prediction techniques for auxiliary ventilation ducting systems // *Proceedings Eighth US Mine Ventilation Symposium / Society of Mining Engineers, University of Missouri-Rolla Press.* – Missouri, 1999. – P. 681–690.
6. Andrew O.E. Ventilation of lake shore mines // *Mining in Canada / Northern Mines Press LTD,* 1957. – 38 p.
7. Morris I.N., Walker G. Changes in the approach to ventilation recent years // *The Mining Eng.* – 1982. – Vol. 141, № 244. – P. 401–413.
8. Dzidziguri A.A., Cholikidze G.V. Calculation of the total air losses in long air ducts, soviet mining science. – 1977 – Vol. 13, № 5. – P. 333–341.
9. Николаев А.В., Гаврилов В.М. О возможности использования тепловой депрессии, возникающей при работе нагревателей, расположенных в устье вентиляционного ствола, для снижения поверхностных утечек // *Молодой ученый.* – 2011. – № 6. – С. 85–89.
10. Николаев А.В. Анализ теоретической формулы, определяющей величину естественной тяги, действующей между воздухоподающим и вентиляционным стволами // *Геология, геофизика и разведка нефтяных и газовых месторождений.* – 2009. – № 10. – С. 72–75.
11. Николаев А.В. Управление тепловыми депрессиями в системах вентиляции калийных рудников: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь, 2012. – 20 с.
12. Николаев А.В. Уточнение формулы, определяющей величину естественной тяги, действующей между воздухоподающими и вентиляционным стволами // *Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений: тр. III междунар. конф.* – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. горн. ун-та, 2010. – С. 246–250.
13. Alymenko N.I., Nikolaev A.V. Influence of mutual alignment of mine shafts on thermal drop of ventilation pressure between the shafts // *Journal of Mining Science.* – 2011. – Vol. 47, № 5. – P. 636–642.
14. Руководство по типовым каналам вентиляторов для шахт Кузбасса / *ВостНИИ.* – Кемерово, 1964. – 189 с.
15. Алыменко Н.И. Выбор конфигурации вентиляционных каналов // *Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы ежегод. науч. сессии ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2009 г.* – Пермь, 2010. – С. 227–230.

References

1. *Spravochnik porudnichnoj ventiljacii [Handbook of mine ventilation].* Ed. K.Z. Ushakova. Moscow: Nedra, 1977. 328 s.
2. Mohirev N.N., Rad'ko V.V. *Inzhenernye raschety ventiljacii shaht. Stroitel'stvo. Rekonstrukcija. Jekspluatacija [Engineering calculations of ventilation shafts. Construction. Reconstruction. Operation].* Moscow: Nedra-Biznescentr, 2007. 324 s.
3. Burchakov A.S., Mustel' P.I., Ushakov K.Z. *Rudnichnaja ajerologija [Mine aerology].* Moscow: Nedra, 1971. 376 s.
4. Alymenko N.I., Minin V.V. *Ventiljatornyje ustanovki i ih primenenie [Ventilation system and its application].* Yekaterinburg: UrO RAN, 1999. 223 s.
5. Gillies A.D.S., Hsin Wei Wu. A comparison of air leakage prediction techniques for auxiliary ventilation ducting systems. *Proceedings Eighth US Mine Ventilation Symposium.* Missouri, 1999, pp. 681–690.
6. Andrew O.E. Ventilation of Lake Shore mines. *Mining in Canada.* Northern Mines Press LTD, 1957. 38 p.
7. Morris I.N., Walker G. Changes in the approach to ventilation recent years. *The Mining Eng.* 1982, vol. 141, no. 244, pp. 401–413.
8. Dzidziguri A.A., Cholikidze G.V. Calculation of the total air losses in long air ducts, soviet mining science. 1977, vol. 13, no. 5, pp. 333–341.
9. Nikolaev A.V., Gavrilov V.M. O vozmozhnosti ispol'zovanija teplovoj depressii, vznikajuwej pri rabote nagrevatelej, raspolozhennyh v ust'e ventiljacionnogo stvola, dlja snizhenija poverhnostnyh utechek [The possibility of using the heat of depression that occurs when using a heater located at the mouth ventilation shaft, to reduce surface leakage]. *Molodoj uchenyj.* 2011, no. 6, pp. 85–89.
10. Nikolaev A.V. Analiz teoreticheskoj formuly, opredel'jajuwej velichinu estestvennoj tjagi, dejstvujajuwej mezhdu vozduhopodajuwim i ventiljacionnym stvolami [Theoretical analysis of the formula that determines the amount of natural draft, acting between the air supply and ventilation shafts]. *Geologija, geofizika i razrabotka nefjnyh i gazovyh mestorozhdenij,* 2009, no. 10, pp. 72–75.

11. Nikolaev A.V. Upravlenie teplovymi depressiyami v sistemakh ventiljatsii kalijnykh rudnikov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Control of thermal depression in ventilation potash mines: Abstract of thesis. ... candidate. technical. sciences.]. Perm, 2012. 20 s.

12. Nikolaev A.V. Utochnenie formuly, opredeljavuwej velichinu estestvennoj tjagi, dejstvujuwej mezhdvu vozduhopodajuwimi i ventiljacionnym stvolami [Refinement of the formula that determines the amount of natural draft, acting between the air supply and ventilation shafts]. *Trudi III mezhdunar. konf. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. gos. gorn. un-ta*, 2010, pp. 246–250.

13. Alymenko N.I., Nikolaev A.V. Influence of mutual alignment of mine shafts on thermal drop of ventilation pressure between the shafts. *Journal of Mining Science*, 2011, vol. 47, no. 5, pp. 636–642.

14. Rukovodstvo po tipovym kanalam ventiljatorov dlja shaht Kuzbassa [Guidance on channel types of fans for Kuzbass mines]. Kemerovo: VostNII, 1964. 189 s.

15. Alymenko N.I. Vybor konfiguracii ventiljacionnyh kanalov [Configurable for ventilation ducts]. *Materialy ezhegod. nauch. sessii GI UrO RAN po rezul'tatam NIR v 2009 godu*. Perm, 2010, pp. 227–230.

Об авторах

Николаев Александр Викторович (Пермь, Россия) – ассистент кафедры электрификации и автоматизации горных предприятий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, ул. Комсомольский просп., 29; e-mail: nikolaev0811@mail.ru).

Альменко Николай Иванович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник УРАН «Горный институт Уральского отделения РАН» (614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а; e-mail: nik.alymenko@yandex.ru).

Садьков Руслан Ильгизович (Пермь, Россия) – старший преподаватель кафедры электрификации и автоматизации горных предприятий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, ул. Комсомольский просп., 29; e-mail: sadykovrus@mail.ru).

About the authors

Nikolaev Aleksandr Viktorovich (Perm, Russian Federation) – assistant, Department for electrification and mining company automation, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky ave., 29; e-mail: nikolaev0811@mail.ru).

Alymenko Nikolaj Ivanovich (Perm, Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor, research engineer, Mining Institute, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614007, Perm, ul. Sibirskaia, 78 a; e-mail: nik.alymenko@yandex.ru).

Sadykov Ruslan Il'gizovich (Perm, Russian Federation) – senior lecturer, Department for electrification and mining company automation, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky ave., 29; e-mail: sadykovrus@mail.ru).

Получено 28.04.2012