



УДК 536.244

В. И. БЕЛОУСОВ, Р. Г. ШВАБ, А. Л. БАТЯНОВСКИЙ (ОАО «Белгорхимпром»)

УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПОДАВАЕМОГО В РУДНИК ВОЗДУХА



В. И. БЕЛОУСОВ,
старший научный сотрудник,
канд. техн. наук



Р. Г. ШВАБ,
зав. отделом



А. Л. БАТЯНОВСКИЙ,
инженер 1-й категории

В статье представлены существующие способы управления температурой подаваемого в рудник воздуха и предложен новый, основанный на рациональном использовании законов природы. Дано обоснование, методика и примеры расчета как подогрева, так и охлаждения воздуха. Показаны преимущества предлагаемого способа.

Ключевые слова: рудник, температура воздуха, подогрев, охлаждение, нейтральный слой, вентиляционный канал, теплообмен, потери давления.

Согласно нормативным документам, для предотвращения обмерзания воздухоподающего ствола и разрушения его крепи поступающий в этот ствол в холодный период года воздух должен иметь температуру не ниже $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$, а для создания комфортных условий труда температура воздуха на рабочих местах в рудниках не должна превышать $+26\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1].

На рудниках и шахтах со всасывающим способом проветривания порядка 90 % воздуха в воздухоподающий ствол поступает по калориферному каналу, а оставшиеся 10 % в виде внешних подсосов — через надшахтное здание (копер). В холодный период года подогрев воздуха, поступающего по калориферному каналу, осуществляется в специальных водяных или паровых рекуперативных трубных калориферах. Для лучшего перемешивания подогретого и поступающего через устье ствола холодного атмосферного воздуха обычно делают два калориферных канала. В общих затратах на добычу полезных ископаемых доля затрат, связанных с подогревом воздуха в холодный период года, в некоторых случаях достигает 30 % [2].

Снижение высоких температур воздуха в рудниках и шахтах осуществляется путем применения комплекса специальных горно- и теплотехнических мероприятий [3]. К последним относится использование различных холодильных установок, размещаемых как на поверхности, так и на рабочих горизонтах. Затраты на искусственное охлаждение рудничного воздуха весьма велики. Так, капитальные затраты для размещенных на поверхности стационарных установок составляют до 1,53 млн евро на 1 МВт

холодильной мощности установок, эксплуатационные — до 0,76 млн евро/год на 1 МВт [4].

В земной коре существует нейтральный слой (НС) с постоянной температурой в любой период времени и примерно равной среднегодовой температуре поверхности почвы конкретного района. Выше НС температура пород в основном определяется радиационным балансом земной поверхности (ночью и в холодный период года температура уменьшается, а днем и в теплый период увеличивается; ниже НС она обуславливается внутренним теплом Земли, т. е. повышается с ростом глубины.

Это повышение температуры породы характеризуется величиной геотермического градиента.

Мощность НС составляет порядка нескольких метров; глубина залегания в зависимости от характера и теплофизических свойств породы, климата, географических координат местности и др. составляет, как правило, 6–20 м. Для каждого района температура и глубина НС, точнее его горизонтальной оси, определяются по результатам обработки данных термометрических замеров в геологических скважинах.

Подогрев атмосферного воздуха в холодный период года и охлаждение его в теплый период предлагается производить в специальных вентиляционных каналах за счет теплообмена с вмещающей породой. Каналы размещают в НС, совмещая их горизонтальные оси с горизонтальной осью НС, а длину каналов с учетом их поперечного сечения, расхода воздуха и крепления рассчитывают с условием обеспечения величины требуемого нагрева (охлаждения) подаваемого в рудник воздуха (см. рисунок).

При расчете параметров вентиляционных каналов для управления температурой подаваемого в рудник воздуха исходными данными являются: глубина расположения оси $h_{н.с.}$ в данном районе; температура пород НС $t_{н.с.}$; минимальная и максимальная температура атмосферного воздуха t_A ; его относительная влажность φ_A и барометрическое давление P_0 ; объемный V_0 и массовый G_0 расходы подаваемого в рудник воздуха; объемный $V_{под}$ и массовый $G_{под}$ расходы внешних подсосов через надшахтное здание; объемный V и массовый G расходы воздуха, подде-

жащего для подогрева (охлаждения); число каналов, их размеры (высота, ширина, площадь поперечного сечения S , периметр Π) и тип крепления.

Температура воздуха, поступающего в вентиляционные каналы t_1 из внешних подсосов $t_{\text{под}}$, принимается равной температуре атмосферного воздуха t_A . Необходимая температура воздуха t_2 на выходе из вентиляционных каналов после его подогрева (охлаждения) определяется по зависимости теплового баланса:

$$t_2 = (G_0 t_0 - G_{\text{под}} t_{\text{под}}) / G, \quad (1)$$

где t_0 — нормативная температура подаваемого в рудник воздуха, °С.

Далее при соответствующей температуре t рассчитываются параметры атмосферного воздуха, воздуха на выходе из вентиляционных каналов и воздуха, поступающего в рудник:

парциальное давление насыщенного водяного пара:

$$P_H = 10^{-3} \cdot 6,149 P_6 \cdot \exp[17,18t / (236 + t)]; \quad (2)$$

парциальное давление содержащегося в воздухе водяного пара:

$$P = P_{H\phi} / 100, \quad (3)$$

где ϕ — относительная влажность воздуха, %.

Теплопроизводительность или холодопроизводительность канала Q_1 определяется по формуле

$$Q_1 = Gc(t_2 - t_1), \quad \text{кДж/с}, \quad (4)$$

где G — массовый расход воздуха в одном канале, кг/с; c — удельная теплоемкость воздуха (≈ 1 кДж/(кг·К)).

В процессе движения воздуха по каналу за счет теплообмена с вмещающей породой он получает от породы или отдает ей следующее количество тепла Q_2 :

$$Q_2 = 10^{-3} \alpha_T \Pi L (t_n - \bar{t}), \quad \text{кДж/с}, \quad (5)$$

где α_T — коэффициент теплоотдачи от воздуха породе или наоборот, Вт/(м²·К); L — длина канала, м; t_n — температура породы, °С (в данном случае $t_n = t_{\text{н.с}}$); \bar{t} — средняя температура воздуха в канале, °С ($\bar{t} = 0,5 (t_1 + t_2)$).

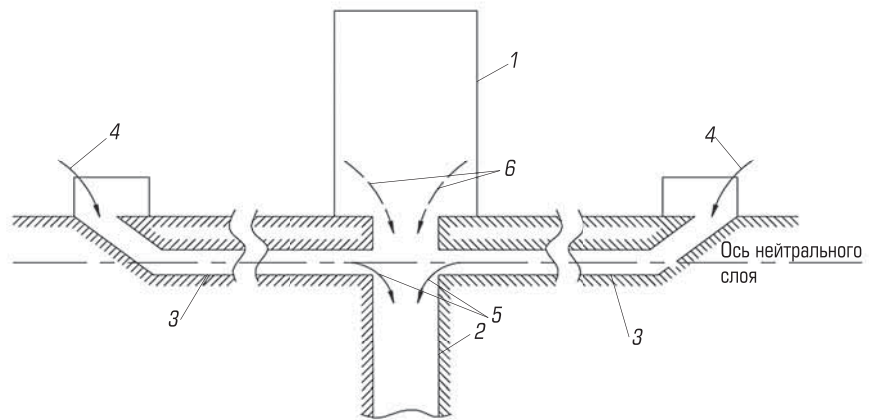


Схема управления температурой подаваемого в рудник воздуха:

1 — надшахтное здание; 2 — воздухоподающий ствол; 3 — вентиляционные каналы; 4 — атмосферный воздух; 5 — подогретый (охлажденный) воздух; 6 — внешние подсосы воздуха

Согласно результатам натурных исследований, коэффициент теплоотдачи α_T для выработок с бетонным креплением ориентировочно может быть определен по зависимости

$$\alpha_T = 0,0105(G/S)^{3,18}, \quad \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}. \quad (6)$$

Оптимально Q_1 должно быть равно Q_2 . Приравняв правые части зависимостей (4) и (5), решаем их относительно L . Тогда искомая длина канала

$$L = G_c(t_2 - t_1) / \alpha_T \Pi (t_n - \bar{t}), \quad \text{м}. \quad (7)$$

Приведенные далее расчеты вентиляционных каналов выполняются для условий стационарного режима теплообмена без массообмена, т. е. испарения воды или конденсации водяных паров.

Значения величин подогрева (охлаждения) воздуха

$L, \text{ м}$	Холодный период года, $t_0 = 2 \text{ }^\circ\text{C}$			Теплый период года, $t_0 = 20,5 \text{ }^\circ\text{C}$		
	$t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_2, \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta t = t_2 - t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	$t_2, \text{ }^\circ\text{C}$	$\Delta t = t_2 - t_1, \text{ }^\circ\text{C}$
226	-8,9	3,2	12,1	30,3	19,4	-10,9
263	-11,7	3,5	15,2	32,9	19,1	-13,8
294	-14,6	3,8	18,4	35,6	18,8	-16,8

Примечание. В расчетах приняты следующие показатели: $G = 164,1$ кг/с; $\Pi = 14$ м; $\alpha_T = 43$ Вт/(м²·К); $t_n = t_{\text{н.с}} = 11,7$ °С; $t_A = t_{\text{под}} = t_1$.

Расстояние между вентиляционными каналами должно быть не меньше 5 их эквивалентных диаметров d_3 , м ($d_3 = 4S/\Pi$).

Расчеты параметров вентиляционных каналов, выполненные для условий калийного рудника, расположенного в Волгоградской области РФ, показали, что в случае применения предлагаемой методики управления температурой подаваемого в подземные выработки воздуха депрессия в вентиляцион-



ных каналах увеличивается примерно на 10 % по сравнению с общерудничной.

Следует отметить, что одной из особенностей калийных рудников является их малая общерудничная депрессия, что зачастую затрудняет выбор вентилятора главного проветривания по критерию величины КПД. Поэтому увеличение депрессии рудника при наличии вентиляционных каналов не всегда можно отнести к недостаткам.

Увеличение длины вентиляционных каналов позволяет обеспечить нормативные температуры поступающего в рудник воздуха при менее низких и более высоких температурах атмосферного воздуха (см. таблицу).

Предлагаемый способ управления температурой подаваемого в рудник воздуха не исключает и варианты комбинации вентиляционных каналов с другими способами подогрева (охлаждения) воздуха (калориферы с горячей и/или холодной водой, испарение воды и др.). Например, при низкой относительной влажности атмосферного воздуха его дополнительное охлаждение путем испарения тонкодиспергированной воды позволяет снижать температуру воздуха еще на 5–10 °С и более [4].

Выводы

Вентиляционные каналы, расположенные на глубине нейтрального слоя Земли, позволяют без применения каких-либо установок и средств, а только за счет рационального использо-

вания законов природы осуществлять в холодный период года подогрев подаваемого в рудник (шахту) воздуха, а в теплый период года — охлаждение. По сравнению с существующими способами подогрева и охлаждения подаваемого в рудник (шахту) воздуха капитальные и эксплуатационные затраты по предложению существенно ниже.

Библиографический список

1. Правила технической безопасности при разработке подземным способом соляных месторождений Республики Беларусь. — Минск : Госпроматомнадзор РБ, 2006. — 167 с.
2. Левин Л. Ю. Исследование и разработка энергосберегающих систем воздухоподготовки для рудников : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Пермь, 2004. — 18 с.
3. Щербань А. Н., Кремнев О. А., Журавленко В. Я. Руководство по регулированию теплового режима шахт. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Недра, 1977, — 359 с.
4. Белоусов В. И., Шваб Р. Г., Батыновский А. Л., Лукша Е. М. Вопросы охлаждения подаваемого в рудник воздуха // Горная механика. 2009. № 2. С. 43–53. [ГЖ](#)

Белоусов Валерий Иванович,
Шваб Роберт Григорьевич,
Батыновский Андрей Леонидович:
тел.: +375 (17) 334-52-02

CONTROL OF TEMPERATURE OF MINE SUPPLY AIR

Belousov V. I.¹, Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences, phone: +375 (17) 334–52–02

Shvab R. G.¹, Head of Department

Batyanovskiy A. L.¹, First Category Engineer

¹ «Belgorkhimprom» JSC (Minsk, Republic of Belarus)

Heating of atmospheric air in cold period and its cooling in heat period is offered in special ventilation channels due to the heat exchange with deads. Channels are placed in neutral layer, combining their horizontal axils with horizontal axle of neutral layer. Taking into account the cross-section, air consumption and timbering of channels, their length is calculated, taking into account the provision of the size of required heating (cooling) of mine supply air.

Parameters of ventilation channels were calculated for conditions of potassium mine, placed in Volgograd Oblast (Russian Federation). These calculations have shown that in case of application of offered methodology of temperature control of underground excavations supply air, depression in ventilation channels is increased approximately by 10% from total mine. Increasing of length of ventilation channels makes possible to provide the normative temperatures of mine supply air with lesser and higher temperatures of atmospheric air.

Ventilation channels, situated on the depth of neutral layer of Earth, make it possible to realize the heating of mine (shaft) supply air in cold period of year, and cooling in the warm period, without application of any installations and means, but due to rational use of laws of nature. In comparison with existing methods of heating and cooling of mine (shaft) supply air, the capital and exploitation costs are significantly lower.

Key words: mine, air temperature, heating, cooling, neutral layer, ventilation channel, heat exchange, losses of pressure.

REFERENCES

1. *Pravila tekhnicheskoy bezopasnosti pri razrabotke podzemnym sposobom solyanykh mestorozhdeniy Respubliki Belarus* (Technical safety regulations during the underground development of salt deposits of Republic of Belarus). Minsk : Gospromatomnadzor of Republic of Belarus, 2006, 167 p.
2. Levin L. Yu. *Issledovanie i razrabotka energosberegayushchikh sistem vozdukhopodgotovki dlya rudnikov : avtoreferat dissertatsii ... kandidata tekhnicheskikh nauk* (Research and development of energy-saving systems of air protection for mines : thesis of inauguration of dissertation ... of Candidate of Engineering Sciences). Perm, 2004, 18 p.
3. Shcherban A. N., Kremnev O. A., Zhuravlenko V. Ya. *Rukovodstvo po regulirovaniyu teplovogo rezhima shakht* (Guide for regulation of heat regime of mines). Third edition, revised and enlarged. Moscow : Nedra, 1977, 359 p.
4. Belousov V. I., Shvab R. G., Batyanovskiy A. L., Luksha E. M. *Gornaya mekhanika — Mining Mechanical Engineering*, 2009, No. 2, pp. 43–53.