

СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ТУПИКОВЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ ПУТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СТРУИ В ЗАБОЯХ

*А. А. Лапшин, канд. техн. наук (Криворожское горнопромышленное
территориальное управление Госгорпромнадзора Украины)*

Виявлено причини нагрівання повітря в гірничих виробках і проаналізовано способи його охолодження. Розв'язано рівняння теплового балансу при змішуванні струменів вентиляційного та стиснутого повітря, визначено їх об'ємні співвідношення для зниження температури в тупикових виробках. Дано економічну оцінку охолодження вентиляційного струменя у вибоях.

The causes of air heating in mines are established and methods of their cooling are analyzed. The equation of thermal balance at mixing jets of ventilating and compressed air is solved, their volumetric ratio for temperature reduction in blind drifts are defined. The economic estimation of ventilating jet cooling in faces is given.

В горных выработках глубоких шахт в результате сложного, нестационарного тепло- и массообмена между рудничным воздухом, горными породами и другими источниками тепла и влаги происходит существенное изменение тепло-влажностных параметров вентиляционной струи. Температура насыщенного влагой воздуха в очистных и подготовительных выработках становится значительно выше максимально допустимой величины – 26 °С. Согласно требованиям правил безопасности при разработке рудных месторождений подземным способом при температуре воздуха выше 26 °С должны приниматься специальные меры по ее снижению [1].

Для создания приемлемых климатических условий требуется проведение специальных дорогостоящих мероприятий по искусственному охлаждению и осушению рудничного воздуха.

Установлено, что основными причинами формирования температурного фактора являются нагревание воздуха от горных пород, заполнение камер твердеющей закладкой, работа дизельных и электрических машин [2]. Кроме того, на повышение температуры рудничного воздуха существенное влияние оказывает адиабатическое сжатие ввиду увеличения барометрического давления.

Повышение температуры при заполнении очистных камер твердеющей закладкой обуславливается выделением тепла в процессе гидратации закладочного материала.

Так, максимальная температура в центре заложенной камеры составляет 50 °С. На расстоянии 250 м от центра наблюдается ее снижение до 30 °С, то есть допустимое значение так и не достигается. Нарастание температуры в твердеющей закладке продолжается в течение 6 месяцев, снижение до уровня температур вмещающих пород – 1,5...2 мес. Расчеты показали, что экзотерми-

ческие процессы, протекающие в твердеющей закладке, оказывают влияние на формирование микроклимата в боковых выработках. Например, температура воздуха в выработках вблизи заложённых камер может достигать 26...28 °С [3].

Исходя из этого, вопрос снижения температуры воздуха в горных выработках шахт, применяющих системы разработки с заполнением отработанных камер твердеющей закладкой, является весьма актуальным и требует своего решения уже в настоящее время.

Рекомендуются различные мероприятия для снижения температуры воздуха в горных выработках, которые по различным причинам не нашли широкого применения. Так, снижение температуры воздуха за счет интенсификации общешахтного проветривания требует увеличения производительности главных вентиляторных установок (ГВУ) почти в 8,5 раз [3]. Как показывают результаты воздушно-депресссионных съёмок шахт, резерва производительности ГВУ в настоящее время не имеется.

Применение местных душирующих установок ДУМ-2 и УВ-20 вместе с вентиляторами местного проветривания (ВМП) позволяет нормализовать тепловые условия в выработках за счет увеличения скорости воздуха и эффекта расширения. Однако опыт показывает, что при температуре воздуха в тупиковых выработках больше 28 °С снижение ее этим способом является неэффективным [4].

Анализ научных разработок свидетельствует о том, что при температуре рудничной атмосферы выше 35 °С нормализовать тепловой режим в выработках можно только путем искусственного охлаждения воздуха. Для этого предлагается применять передвижные холодильные установки с холодопроизводительностью 116...140 кВт, а также стационарные машины с холодопроизводительностью 4,4...4,5 тыс. кВт [4].

Применение холодильных установок в шахтах в настоящее время сдерживается их высокой энергозатратностью, что повышает себестоимость добываемого полезного ископаемого.

Учитывая вышеизложенное, целью настоящей работы является разработка способа и средств снижения температуры в горных выработках шахт, которые были бы эффективными и не приводили к удорожанию технологических процессов горных работ.

Учитывая использование при проходке горных выработок сжатого воздуха для перфораторов, станков глубокого бурения и породопогрузочных машин, выполним теоретическое обоснование и экономический расчет эффективности снижения температуры воздуха в тупиковых выработках путем охлаждения вентиляционной струи в забоях. Сущность местного охлаждения заключается в том, что в вентиляционную струю, поступающую в забой по трубопроводу, подается сжатый воздух, который за счет эффекта адиабатического расширения при смешивании снижает температуру воздуха в забое выработки.

На рисунке приведена схема местного охлаждения вентиляционной струи в забоях сжатым воздухом. ВМП 1 нагнетает по вентиляционному трубопроводу 3 воздух из сквозной выработки 5 для проветривания тупиковой выработки 4. С целью охлаждения вентиляционной струи в трубопровод 3

подается сжатый воздух из трубопровода 2. За счет эффекта адиабатического расширения сжатого воздуха происходит снижение его температуры, а при смешивании в трубопроводе 3 с вентиляционной струей она охлаждается. Исходными данными для расчета параметров охлаждения вентиляционной струи принимаем: температура вентиляционной струи на дневной поверхности $t_{в0} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ (295 К), давление в струе: $p_{a0} = 101 \text{ кПа}$; температура сжатого воздуха в магистрали после выхода из компрессора $t_{с0} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (293 К), давление в магистрали $p_{с0} = 701 \text{ кПа}$.

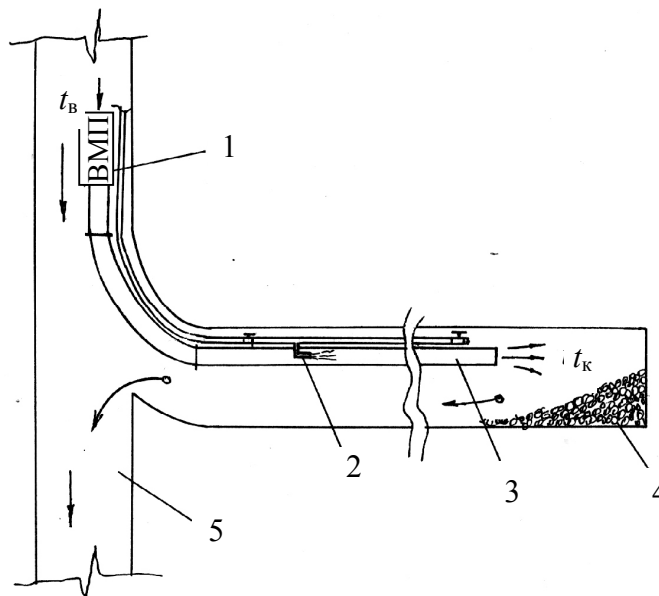


Схема местного охлаждения вентиляционной струи сжатым воздухом: 1 – вентилятор местного проветривания; 2 – трубопровод сжатого воздуха; 3 – вентиляционный трубопровод; 4 – забой тупиковой выработки; 5 – сквозная выработка

Используем уравнение состояния газов [5]

$$p = \rho RT, \quad (1)$$

где p – абсолютное давление, Па; ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ; $R = 297 \text{ Дж/кг}$; K – удельная газовая постоянная для воздуха; T – абсолютная температура воздуха.

Согласно этому уравнению плотности воздуха $\rho_{в0}$ и $\rho_{с0}$ (в вентиляционной струе и в магистрали сжатого воздуха на дневной поверхности) будут соответственно равны 1,19 и 8,33 кг/м^3 .

Двигаясь вниз, вентиляционный и сжатый воздух адиабатически сжимается. При этом увеличивается его давление и плотность и повышается температура. Уравнение адиабатического процесса для воздуха имеет вид

$$p_1 T_1^{3,5} = p_2 T_2^{3,5}, \quad (2)$$

где индексы 1 и 2 указывают значения давления p и температуры T при соответствующих состояниях.

Из начальных значений давлений и температур и известной конечной температуры воздуха находим конечное давление в вентиляционной струе на глубине свыше 1250 м:

$$p_{\text{вк}} = p_{\text{в0}} \left(T_{\text{вк}} / T_{\text{в0}} \right)^{3,5} = 1,01 \cdot 10^5 (1,11/105)^{3,5} = 1,11 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Аналогичным образом рассчитываем конечное давление в магистрали сжатого воздуха при $T_{\text{ск}} = 362 \text{ К}$ ($t_{\text{ск}} = 27 \text{ °C}$):

$$p_{\text{ск}} = 7,61 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Снова используя уравнение (1), определяем плотности воздуха в вентиляционной струе $\rho_{\text{вк}} = 1,28 \text{ кг/м}^3$ и в магистрали сжатого воздуха $\rho_{\text{вк}} = 8,93 \text{ кг/м}^3$.

Через малое отверстие сжатый воздух будет поступать при критической температуре истечения [6]

$$T = 2T_{\text{ск}} / (k + 1) = 2 \cdot 300 / 2,4 = 250 \text{ К} (-23 \text{ °C}).$$

При этом критическая плотность истекающего газа будет определяться из условия (для адиабаты)

$$\rho_{\text{к}} = 0,635 p_{\text{ск}} = 0,635 \times 8,93 = 5,67 \text{ кг/м}^3.$$

В процессе смешивания вентиляционной струи плотностью $\rho_{\text{в}} = 1,28 \text{ кг/м}^3$, расходом $Q_{\text{в}} = 2 \text{ м}^3/\text{с}$ и температурой $t_{\text{к}} = 30 \text{ °C}$ со струей сжатого воздуха расходом $q_{\text{сж}}$, плотностью $\rho_{\text{к}} = 5,67 \text{ кг/м}^3$ и температурой $t_{\text{к}} = -23 \text{ °C}$ необходимо в конечном итоге получить объемный расход $Q_{\text{в}} + q_{\text{сж}}$ с конечной температурой $t_{\text{к}} = 25 \text{ °C}$. Составим уравнение теплового баланса до и после смешивания двух струй с итоговой плотностью $\rho = 1,31 \text{ кг/м}^3$.

$$C_{\text{рв}} Q_{\text{в}} t_{\text{в}} + C_{\text{рк}} q_{\text{к}} t_{\text{к}} = C_{\text{рсм}} (Q_{\text{в}} + q_{\text{сж}}) t_{\text{см}}. \quad (3)$$

Его решение относительно неизвестного расхода q сжатого воздуха имеет вид

$$q_{\text{сж}} = (\rho_{\text{см}} t_{\text{см}}) Q (\rho_{\text{см}} - \rho_{\text{к}} t_{\text{к}})^{-1}. \quad (4)$$

Подставив в эту зависимость значение параметров $\rho_{\text{в}} = 1,28 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{см}} = 1,31 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{к}} = 5,67 \text{ кг/м}^3$, получим объемный расход сжатого воздуха $q_{\text{сж}} = 0,07 \text{ м}^3/\text{с}$ (массовый расход m будет равняться $m = q_{\text{сж}} \cdot \rho_{\text{к}} = 0,393 \text{ кг/с}$).

Определим диаметр отверстия в трубопроводе сжатого воздуха, при котором будет обеспечиваться требуемый массовый расход m .

При критическом истечении сжатого воздуха его расход характеризуется зависимостью

$$m = 0,49 f \sqrt{p_{\text{к}} \rho_{\text{к}}}, \quad (5)$$

где f – площадь отверстия, м^2 .

Диаметр отверстия d (в мм) на основании (5) можно определить по формуле

$$d = 1,61 \cdot 10^3 \sqrt{m(\rho_{\text{ск}} p_{\text{ск}})^{-0,25}}. \quad (6)$$

Для нашего конкретного случая при $m = 0,393$ кг/с; $\rho_{\text{ск}} = 8,93$ кг/м³; $p_{\text{ск}} = 7,61 \cdot 10^5$ Па получаем значение $d = 19,8$ мм. Скорость истечения воздуха будет равна

$$V = \sqrt{1,17RT_{\text{ск}}} = \sqrt{1,17 \cdot 287 \cdot 300} = 317,4 \text{ м/с}$$

при адиабатической скорости звука в выработке

$$a = \sqrt{1,4RT_{\text{ск}}} = \sqrt{1,4 \cdot 287 \cdot 300} = 347 \text{ м/с}.$$

Сравнивая значение критической скорости и истечения со скоростью звука, следует отметить, что скорость истечения сжатого воздуха будет дозвуковой, что исключает образование скачка уплотнения. Однако и такое истечение может создавать значительный шум, что требует дополнительных экспериментальных измерений его уровня.

Оценим теперь стоимость охлаждения вентиляционной струи сжатым воздухом. В рассматриваемом случае расход сжатого воздуха на охлаждение составляет $m = 0,393$ кг/с. В перерасчете на объемный расход при манометрическом давлении в 6 атм (при выходе из компрессорной станции). Это составит

$$q_{\text{с0}} = 0,393 / 8,33 = 0,047 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (170 м}^3/\text{ч)}.$$

Стоимость одного кубического метра сжатого воздуха составляет около 0,02 грн./м³. Таким образом, стоимость охлаждения вентиляционной струи посредством сжатого воздуха будет составлять порядка 3,40 грн./ч.

Учитывая возможность и эффективность охлаждения воздуха вентиляционной струи в тупиковых выработках путем использования адиабатического расширения сжатого воздуха при выпуске его из отверстий трубопроводов и пневмомашин в забоях, считаем целесообразным проведение дальнейших теоретических исследований и разработку средств нормализации микроклимата в горных выработках, например высокопроизводительных вентиляторов с пневмоприводом.

Выводы

1. Опыт ведения горных работ в глубоких шахтах, применяющих системы разработки с закладкой очистных камер, показывает, что температура воздуха в тупиковых выработках превышает 26...28 °С.

2. Основными причинами нагревания воздуха в горных выработках является экзотермические процессы, протекающие в твердеющей закладке, высокая температура горных пород, работа машин и адиабатическое сжатие воздуха в глубоких выработках.

3. Снизить температуру вентиляционной струи можно путем охлаждения ее сжатым воздухом в забоях. Стоимость охлаждения вентиляционной струи с 30 до 25 °С составляет около 3,5 грн./ч.

4. Разработка технических средств охлаждения воздуха в забоях требует дальнейших исследований для установления параметров адиабатического расширения воздушной струи и воздухообмена в ограниченных объемах горных выработок шахт.

1. *Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и рассыпных месторождений.* – НПАОТ 0.00-0.34-71. – 71 с.

2. *Исследование тепловых условий и средств нормализации микроклимата в шахтах Запорожского железорудного комбината / С. И. Зайцев, В. И. Сахновский, А. А. Бойченко, В. М. Куроченко // Охрана труда и техника безопасности в горнорудной промышленности (ВНИИБТГ).* – М.: Недра. – 1978. – Вып. 3. – С. 32–45.

3. *Исследование способов снижения температуры рудничного воздуха в переходной период / В. И. Сахновский, П. В. Дмитрийчук, В. М. Куроченко, А. Р. Микитенко // Снижение уровня вредных производственных факторов на горнорудных предприятиях (ВНШБТГ).* – М., 1986. – С. 23–27.

4. *Сахновский В. Л. Нормализация теплового режима в глубоких железорудных шахтах // Защита рабочих горнорудной промышленности от производственных опасностей и вредностей (ВНШБТГ).* – М.: Недра. – 1983. – С. 39–48.

5. *Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике.* – М.: Наука, 1968. – С. 160–165.

6. *Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа.* – М.: Наука, 1973. – С. 122–128.