

## **НОРМАЛІЗАЦІЯ МІКРОКЛІМАТУ У ВИРОБКАХ ШАХТ ІЗ ЗАПОВНЕННЯМ ОЧИСНОГО ПРОСТОРУ ТВЕРДЮЧОЮ ЗАКЛАДКОЮ**

*О. О. Лапшин, канд. техн. наук (Криворізьке гірничопромислове територіальне управління Держгірпромнагляду України)*

*Установлены причины нагревания воздуха в рудничных шахтах и рекомендованы мероприятия по уменьшению температуры в горных выработках. Предложена схема вентиляции с охлаждением воздуха в главных и тупиковых выработках с помощью орошающего теплообменника.*

Проектами рудникових шахт передбачається розробка руди на глибинах 1300...1500 м. Згідно з вимогами Правил безпеки при розробці рудних покладів підземним способом при температурі повітря понад 26 °С повинні прийматися спеціальні заходи для її зниження [1]. Досвід ведення гірничих робіт на Південно-Білозірському родовищі на глибині понад 700 м доводить, що температура повітря у тупикових виробках перевищує +27 °С. За таких умов нормалізація мікроклімату у виробках шахт, яка передбачає зменшення температури повітря, є актуальною і своєчасною задачею.

Виявлено, що основними причинами, які впливають на формування температурного фактора, є нагрівання повітря від гірських порід, впровадження систем розробки із заповненням очисних камер твердіючою закладкою, а також робота породонавантажувальних комплексів і електричних машин [2]. Вимірювання температури гірських порід у більш ніж 200 свердловинах на максимальній глибині (1545 м) показали температуру 56,3 °С [3]. Дослідами доведено, що підвищення температури по вертикалі підпорядковується залежності, близькій до прямолінійної, що дає можливість здійснювати прогноз температур на великих глибинах методом екстраполяції даних, отриманих в інтервалі вимірювань. Так, у південно-західній частині Донбасу величини геотермічного градієнта змінюються від 14,4 до 43,2 град/км. У центральній частині Донецько-Макіївського району геотермічний градієнт становить 37,7...43,2 град/км [4].

Температура рудних покладів у Криворізькому залізорудному басейні підвищується зі збільшенням глибини по залежності, близькій до лінійної. Величина геотермічного ступеня в середньому прийнята такою, що дорівнює 1 °С на 60 м [5]. Зменшення температури у вибоях тупикових виробок шахт можна досягти, збільшуючи об'єм подачі повітря шляхом зміни схеми вентиляції та охолодження вентиляційного струменя.

Для шахт ЗЗРК, СхіднГЗК та інших шахт, що застосовують систему із закладкою виробленого простору, доцільно нормалізувати мікроклімат за рахунок загальношахтного провітрювання. При цьому передбачається

використовувати існуючу на шахтах всмоктувальну схему вентиляції з подачею повітря у гірничі виробки по головних стовбурах і видачею забрудненого повітря по вентиляційних стовбурах. Провітрювання очисних блоків і тупикових виробок здійснюється охолодженням повітрям за допомогою зрошувального теплообмінника.

Згідно з запропонованою схемою вентиляції (рис. 1) свіже повітря по стовбуру 1 надходить в шахту, а потім на вентиляційний 3, основний 4 та підготовчий 13 горизонти. Подача повітря в очисні блоки 2 здійснюється по ходовим висхідним 5, а з основного горизонту 4 свіже повітря надходить в орти-заїзди 6 для провітрювання навантажувально-доставочних виробок 7. Після провітрювання бурових та навантажувально-доставочних виробок забруднене повітря спрямовується до збірних виробок 8, а потім до вентиляційного стовбура 9. Очищення повітря від пилу і газів відбувається у стовбурі 9 та в каналі ГВУ 10, потім повітря викидається в атмосферу.

Така схема вентиляції дозволяє збільшити кількість повітря, що надходить у гірничі виробки. В існуючих схемах вентиляційний горизонт 3 передбачає виведення забрудненого повітря, а в запропонованій схемі він застосовується для проходу чистого повітря з головного стовбура 1, завдяки чому значно збільшується кількість повітря, що надходить в очисні блоки.

На підвищення температури рудникового повітря, крім нагрівання від гірських порід, твердіючої закладки та роботи електричних машин і механізмів, суттєвий вплив має адіабатичне стиснення через зростання барометричного тиску.

Досвід вітчизняної і світової практики провітрювання глибоких шахт свідчить про те, що на великих глибинах розташування гірничих виробок неможливо створити нормальні умови для роботи без штучного охолодження повітря [6, 7].

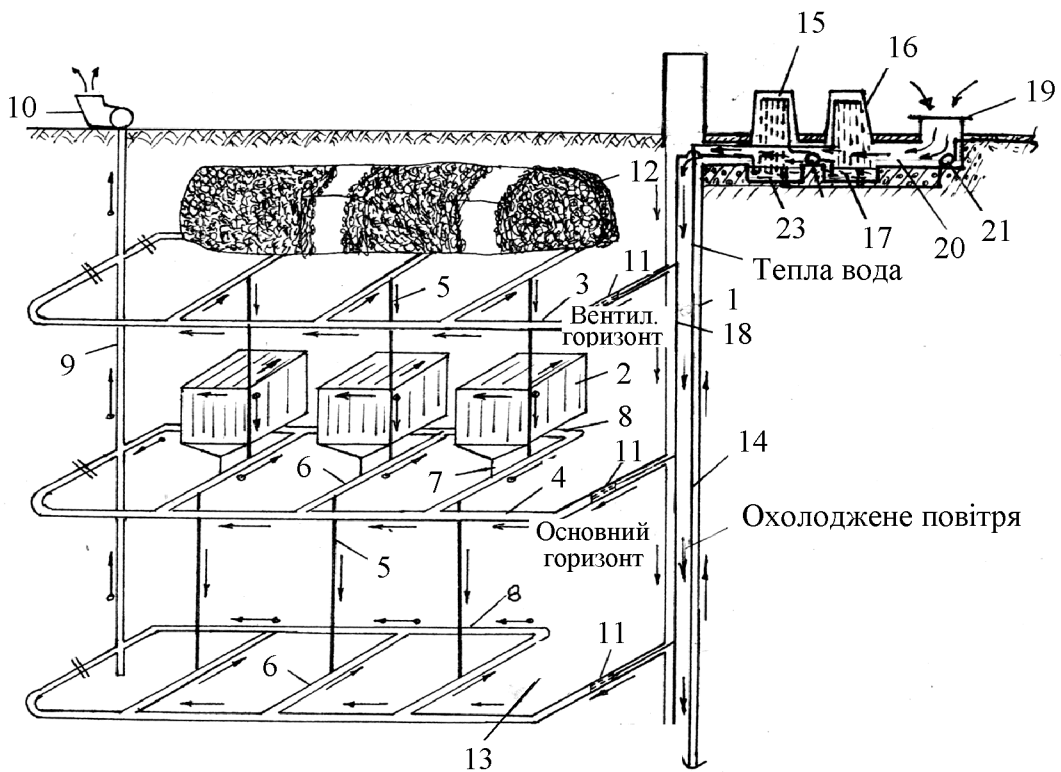


Рис. 1. Схема провітрювання очисних блоків: 1 – повітроподавальний стовбур; 2 – очисні блоки; 3 – вентиляційний горизонт; 4 – основний горизонт; 5 – ходові висхідні; 6 – ортизаїзди; 7 – навантажувально-доставочні виробки; 8 – збірний штрек; 9 – вентиляційний стовбур; 10 – ГВУ; 11 – зрошувальні теплообмінники; 12 – відпрацьовані камери; 13 – підготовчий горизонт; 14 – трубопровід для теплої води; 15, 16 – градирні; 17, 23 – охолоджувальні басейни; 18 – трубопровід для холодної води; 19 – повітрязабиральний пристрій; 20 – канал для проходу повітря в шахту; 21, 22 – насоси

Ведеться жвава дискусія про те, де розміщувати холодильні установки – на поверхні чи під землею, в зоні пристовбурного цілика або на дільниці гірничих робіт. При розташуванні охолоджувальних установок під землею має місце додаткове виділення тепла електроприводом. Якщо ж розміщувати їх на поверхні, то збільшується витрата енергії і холоду в процесі його переміщення на велику відстань до підземних виробок.

Більш поширеним є поверхнєве розташування холодильних установок. При цьому зменшуються капітальні і експлуатаційні затрати, є можливість використання дешевого холодагенту аміаку, застосування на першій стадії охолодження економічних градирень, використання технічної води як головного холодоносія. Найдоцільніше охолоджувати воду на поверхні із застосуванням у комплексі з холодильними установками градирень баштового типу. Так, поверхнєва холодильна станція на руднику «Десль Крааль» [8] забезпечує значну економію. Проект станції передбачає попереднє охолодження води, яка надходить з шахти, в чотирьох (і одній резервній) градирнях баштового типу. Максимальна потужність кожної 3500 кВт. При підземному варіанті для отримання адекватного ефекту потрібно чотири працюючих і одна резервна холодильна машина.

Велике значення має теплоізоляція водопроводу. Підраховано, що неізолюваний трубопровід діаметром 200 мм до гор. 960 м поглинатиме 1500 кВт тепла. Для запобігання цьому передбачається покрити трубопровід шаром пенопласту товщиною 40 мм, поміщеного у поліхлорвінілову оболонку.

Запропонована схема вентиляції (див. рис. 1) передбачає охолодження повітря в поверхневих і підземних зрошувальних теплообмінниках. Процес охолодження повітря здійснюється так. Тепла шахтна вода по трубопроводу 14 надходить до градирні 16, розбризкується і збирається в басейні частково охолодженою. У цьому басейні відбувається очищення шахтної води від твердих домішок, потім вода подається до градирні 15 насосом 22 для остаточного охолодження і очищення в басейні 23. Охолоджена до температури 5...10 °С вода по трубопроводу 18 подається в підземні зрошувальні теплообмінники 11, розташовані у відкотних або тупикових виробках.

Свіже повітря надходить у шахту через повітрозабірний пристрій 19 і по каналу 20 прямує через градирні 15, 16 до головного стовбура 1; при цьому відбувається його охолодження в теплий період року і нагрівання взимку. Надлишки шахтної води з басейнів 17 і 23 виводяться насосом 21 у ставок-накопичувач (на схемі не показаний).

Схема зрошувального підземного теплообмінника наведена на рис. 2, де ілюструється перекриття перерізу виробки водою, що розбризкується форсунками. При з'єднанні теплого повітря з краплями води відбувається зміна параметрів суміші до встановлення рівноважного стану (рис. 3). Визначимо рівноважний стан суміші.

Для повітря, що надходить до зрошувального теплообмінника, приймаємо початкові умови:  $t_{\text{по}}, J_{\text{по}}, d_{\text{по}}, G_{\text{п}}$ , а початкові умови для води такі:  $t_{\text{во}}, J_{\text{во}}, d_{\text{во}}, G_{\text{в}}$ , де символами  $t_{\text{в}}, J_{\text{в}}, d_{\text{в}}$  позначені температура, ентальпія і вміст вологи у насиченому водяною паром повітрі безпосередньо біля поверхні води з температурою  $t_{\text{в}}$ .

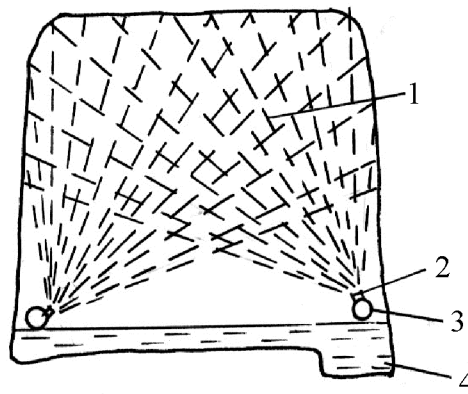


Рис. 2. Схема підземного зрошувального теплообмінника: 1 – вода, що розбризкується; 2 – форсунка; 3 – трубопровід; 4 – водозливна канава

Кінцеві параметри рівноважного стану  $t_{\infty}, J_{\infty}, d_{\infty}$  будуть загальними для повітря і води. Величини  $G_{\text{п}}$  і  $G_{\text{в}}$  залишаються практично незмінними, оскільки припускаємо, що  $G_{\text{в}} \gg G_{\text{п}} (d_{\infty} - d_{\text{по}})$  [9].

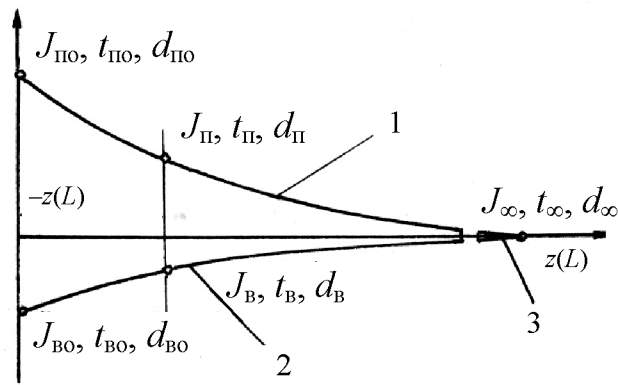


Рис. 3. Зміна параметрів повітря і води в підземному зрошувальному теплообміннику: 1, 2, 3 – параметри повітря, води, суміші відповідно

Рівняння балансу тепла без урахування надходження його від боків має вигляд

$$\Delta Q_T = (J_{\Pi 0} - J_{\infty})G_{\Pi} = (t_{\infty} - t_{\text{В}0})G_{\text{В}}C_{\text{В}}, \quad (1)$$

де  $C_{\text{В}}$  – теплоємність води, кДж/кг·К.

При  $G_{\text{В}}/G_{\Pi} = \mu$  різницю ентальпій можна записати у вигляді

$$J_{\Pi 0} - J_{\infty} = (t_{\infty} - t_{\text{В}0})\mu C_{\text{В}}. \quad (2)$$

Для розв'язання рівняння (2) використаємо наближені аналітичні залежності [9], згідно з якими різниця ентальпій

$$\Delta J \approx 0,245\Delta t + 0,605\Delta d, \quad (3)$$

а рівняння зв'язку між параметрами повітря на межі насичення  $\phi = 100\%$ :

$$J = 2,2 + 0,345t + 0,011t^2; \quad (4)$$

$$d = 3,8 + 0,25t + 0,017t^2. \quad (5)$$

Після заміни в рівнянні (2)  $\Delta J$  з формули (3) і  $d$  з формули (5) шляхом нескладних математичних перетворень отримаємо залежність для визначення температури суміші на виході з теплообмінника:

$$t_{\infty} = \frac{J_{\Pi 0} + \mu t_{\text{В}0} - 2,3}{0,43 + \mu + 0,01t_{\text{В}0}}. \quad (6)$$

У виробку площиною перерізу  $S_{\text{В}} = 9 \text{ м}^2$  надходить повітря у кількості  $Q_{\Pi} = 2,5 \text{ м}^3/\text{с}$  (або  $G_{\Pi} = 3 \text{ кг}/\text{с}$ ) з температурою  $t_{\Pi 0} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для його охолодження в зрошувальний теплообмінник надходить очищена від забруднення шахтна вода з температурою  $t_{\text{В}0} = 9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Кількість води, яка розбризкується форсунками, становить  $G_{\text{В}} = 5,5 \text{ кг}/\text{с}$ , а ентальпія повітряного потоку –  $J_{\Pi 0} = 18,0 \text{ Ккал}/\text{кг}$ .

Виходячи з того, що  $\mu = G_{\text{В}}/G_{\Pi} = 1,83$ , температура повітря, що виходить з теплообмінника, розрахована за формулою (6), дорівнює  $13,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , що задовольняє вимогам охолодження в умовах підземних виробок.

## Висновки

1. Досвід ведення гірничих робіт у шахтах на глибині понад 700 м з використанням систем із закладкою виробленого простору доводить, що температура повітря у виробках перевищує +27 °С.

2. Основними факторами, що впливають на підвищення температури повітря у виробках, є гідротермічні процеси при твердінні закладки в камерах, нагрівання від гірських порід та робота електричних машин.

3. Охолодження повітря, що надходить у гірничі виробки, доцільно здійснювати у два етапи:

попереднє охолодження на поверхні шахти в теплий період в градирнях;  
подальше охолодження повітря в підземних зрошувальних теплообмінниках.

4. Розрахунок температури повітря, охолодженого в підземному зрошувальному теплообміннику, свідчить про можливість і ефективність нормалізації мікроклімату в підземних виробках шахт, які проводять виймання корисних копалин на глибоких горизонтах.

1. *Единые правила безопасности при разработке нерудных и россыпных месторождений.* – НПАОТ 0.00-1.34-71. – 71 с.

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

3. *Веселов А. И. Охлаждение рудничного воздуха.* – Свердловск: Изд-во Свердловского горного института, 1961. – 168 с.

4. *Кашиур Я. Н. Геотермия угольных месторождений и теплофизические свойства горных пород юго-западной части Донбасса // Всесоюзная научно-техническая конференция по вентиляции и вентиляторостроению.* – Углетехиздат, 1959.

5. *Дуганов Г. В. Тепловые атмосферные условия в рудных шахтах и способы их улучшения при переходе горных работ на большие глубины // Всесоюзная научно-техническая конференция по вентиляции и вентиляторостроению.* – Углетехиздат, 1959.

6. *Зырянов А. Г., Ривкин Г. М. Охлаждение рудничной атмосферы при разработке глубоких месторождений за рубежом: Обзорная информация.* – М.: ЦНИИЭИ цветной металлургии, 1979. – 30 с.

7. *Баратов Э. И., Хохотова Н. Н. Вентиляция и кондиционирование воздуха на глубоких шахтах Бельгии.* – К.: Изд-во технической литературы. – 1961. – 71 с.

8. *Willer J. Underground refrigeration the pros and cons of surface as underground plants // S. A. Mining and Engineering Journal.* – 1978. – V. 89. – № 89. – P. 48, 51.

9. *Отопление и вентиляция.* Ч. II. Вентиляция. Под ред. В. Н. Богословского. – М.: Стройиздат, 1976. – С. 60–63.