

КРИВОРІЗЬКИЙ ГІРНИЧОРУДНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

КУРОЧЕНКО Віталій Михайлович

РОЗРОБКА СПОСОБІВ НОРМАЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОВИХ  
УМОВ ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ВИРОВОК В  
ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТАХ

С п е ц і а л ь н і с т ь - 05.26.01

Охорона праці і пожежна безпека

А в т о р е ф е р а т  
дисертації на здобуття наукового ступеню  
кандидата технічних наук

Кривий Ріг - 1994 р.



00756502 (P)

АВ 30.485

Робота виконана в Українському Державному науково-дослідному інституті безпеки праці і екології в гірничорудній та металургійній промисловості.

Наукові керівники:

доктор технічних наук

В.Л.Сахновський

доктор технічних наук, професор

П.В.Бересневич

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

П.Г.Гагауз

кандидат технічних наук

В.В.Гладирь

Провідна організація СПТ "Кривбасшахтопроходка", місто Кривий Ріг.

Захист дисертації відбудеться " 1 " липень 1994 р.  
о 13 годині на засіданні спеціалізованої ради Д068.ІІ.01  
Криворізького гірничорудного інституту за адресою: 324027  
м.Кривий Ріг, вул.ХХІІ партз'їзду, ІІ.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці інституту  
за адресою: 324002, м.Кривий Ріг, вул.Пушкіна, 37.

Автореферат розісланий " 14 " 05 1994 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої ради,

кандидат технічних наук, професор

Г.Т.Шаустов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Забезпечення потрібного об'єму металургійної сировини в умовах реалізації екологічних програм буде досягатись шляхом подальшого розвитку підземного способу видобутку залізних руд як за рахунок розробки покладів на глибоких горизонтах діючих шахт, так і освоєння нових родовищ.

Розробка залізорудних родовищ на великих глибинах, промислове освоєння нових родовищ з складним геотермічним режимом, концентрація гірничих робіт з використанням потужної, високопродуктивної техніки ведуть до підвищення температури рудникового повітря. В зв'язку з цим, останнім часом одним із факторів негативно впливаючих на продуктивність і безпеку праці є тепловий режим гірничих виробок. Внаслідок високої інтенсивності теплообміну між гірничими породами і вентиляційним повітрям, а також особливостей провітрювання незадовільні теплові умови праці в першу чергу виникають в тупикових забоях при проходці виробок.

Ефективне використання різних способів і засобів нормалізації теплових умов праці можливо забезпечити на основі точного прогнозу температури гірничих порід, які є головним джерелом теплопритоків в виробку. Існуючі методи прогнозу температури гірничих порід по величині геотермічного ступеню в умовах складної геологічної будови родовища приводить до значних помилок / 30% та більше / .

Практичне використання комплексу гірничо-технічних засобів не забезпечує потрібний тепловий режим в прохідницьких вибоях, температура повітря в яких вже зараз сягає 28°C, а охолодження рудникового повітря шахтними кондиціонерами на даному етапі є економічно не вигідним. Тому розробка способів та засобів, які забезпечують нормальні теплові умови праці при проведенні виробок та їх ефективне використання на основі точного прогнозу температури гірничих порід є актуальною і важливою науково-практичною задачею, рішення якої посвячена дана робота.

Мета роботи. Створення параметрів шахтного мікроклімату, які забезпечують нормальні теплові умови праці при проведенні гірничих виробок в залізорудних шахтах.

Ідея роботи полягає в використанні процесів теплообміну у закрученому повітряному потоці для усунення притоків тепла

в рудникову атмосферу від вентиляторів місцевого провітрювання /ВМП/, а також оптимального поєднання аеродинамічних параметрів вентиляційних потоків з їх температурою для розробки засобів локальної нормалізації теплових умов праці прохідників.

Методи досліджень. Аналіз та узагальнення результатів раніше виконаних досліджень. Теоретичні і експериментальні дослідження виконані із застосування методів кореляційного і техніко-економічного аналізу. Експериментальні дослідження проведені в лабораторних і промислових умовах як загальновідомими методами, так і розробленими автором.

Наукові положення, які захищаються в дисертації автором:

- точність визначення температури гірничих порід методом ЕГДА забезпечується за рахунок використання значень ізотерм, розрахованих по величині теплового потоку в межах одного типу порід;

- необхідною умовою охолодження вентиляційного потоку з використанням його енергії на виході ВМП і передачі тепла воді, яка має з потоком однакову початкову температуру, є квазітверде його обертання.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень і рекомендацій підтверджується використанням провірених методів теоретичного аналізу, задовільним збігом результатів теоретичних і експериментальних досліджень в лабораторних і промислових умовах, про що свідчать акти приймальних випробувань на шахтах РУ ім. Фрунзе і РУ ім. К.Лібкнехта ВО "Кривбасруда" та Запорізького ЗРК, високим значенням щільності статистичного зв'язку в одержаних рівняннях регресії /0,85+ 0,90/, ефективністю роботи розроблених і впроваджених у виробництво засобів нормалізації теплових умов праці при проходці виробок.

Наукове значення роботи:

1. Запропоновано метод визначення температури гірничих порід, яка розраховується по значенню теплового потоку;

2. Визначено закономірності протікання процесів теплообміну поміж обертавчим вентиляційним потоком і водою, які мають однакову початкову температуру;

3. Визначено закономірність формування повітряних потоків в тупикових виробках при аеродушируванні робочих місць;

4. Використання ефекту Ранка для інтенсифікації процесів теплообміну у вентиляційному потоці на виході ВМП.

### Практичне значення роботи:

1. Розроблено інженерні методику розрахунку конструкцій прохідницького повітроохолоджувача і аеродушируючих установок, а також оптимальних параметрів схем кондиціонування з використанням шахтних пересувних кондиціонерів.

2. Розроблено конструкції прохідницького повітроохолоджувача ПВ-5 і аеродушируючих установок ДУШ-2М та ПЕ-2, які забезпечують нормальні умови праці прохідників в інтервалі температур рудникового повітря 20-28°C.

Реалізація висновків і пропозицій. Результати досліджень по вивченню процесів теплообміну в вентиляційних потоках на виході ВМП та формуванню їх аеродинамічних параметрів в зонах аеродуширування та розроблені аеродушируючі установки ДУШ-2М, ПЕ-2, прохідницький повітроохолоджувач ПВ-5 пройшли приймальні випробовування та рекомендовані до впровадження на залізрудних шахтах. Їх промислове вироблення освоєно Ленінським рудоремонтним заводом ВО "Кривбасрудоремонт". Загальний обсяг впровадження розроблених засобів на шахтах ВО "Кривбасруда", СІП "Кривбасшахтопроходка", Запорізького залізрудного комбінату перевищує 1000 шт.

Інститутом "Діпруда" розроблені способи і засоби нормалізації теплових умов праці ураховані в "Основних напрямках проектування залізрудної промисловості СРСР до 2000 року". Розроблені і передані проектним організаціям, гірничорудним підприємствам "Посібник по використанню типових схем теплового кондиціонування рудникового повітря в залізрудних шахтах", затверджений Мінчорметом СРСР в 1985 р. та "Посібник по проектуванню вентиляції, розрахунку і контролю вентиляційних параметрів проектуємих та діючих шахт Кривбасу", який погоджено з Держгіртехнаглядом України і закрверджено Укррудпромом в 1991 р.

Апробація роботи. Основні положення роботи доповідались на: XI сесії Всесоюзного наукового семінару по гірничій теплофізиці "Наукові основи проектування теплового кондиціонування рудникового повітря" /м. Дніпропетровськ, 1983 р./; XII сесії Всесоюзного наукового семінару по гірничій теплофізиці "Системи контролю теплових параметрів рудникової атмосфери і гірничого масиву" /м.Київ, 1984 р./; XIV сесії Всесоюзного семінару по гірничій теплофізиці "Наукові основи і досвід зменшення теплонасиченості рудникового повітря в глибоких шахтах і рудниках" /м.Дніпропетровськ, 1984 р./, на технічних нарадах при головних

інженерах СІТ "Кривбасшахтопроходка" та Запорізького ЗРК, а також на науково-технічних нарадах НДІБПГ 1985+ 1993 р.р.

Публікації: За наслідками виконаних досліджень опубліковано 9 робіт, одна монографія, одержано 2 авторських свідоцтва.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти глав, висновку і списку використаної літератури, що зміщує 92 джерел, та викладена на 202 сторінках машинописного тексту. В роботі 16 таблиць, 37 малюнків, 4 додатка.

### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Значний вклад у вирішення проблеми створення нормальних санітарно-гігієнічних умов праці при шкідливій дії високих температур в шахтах внесли Щербань О.Н., Кремньов О.О., Журавленко В.Л., Воропаєв О.Ф., Дядькін Ю.Д., Цейтлин Ю.А., Баратов Б.І., Хохотва М.М., Стукало В.А., Черняк В.П., Дуганов В.Г., Малашенко Е.І., Зімін Л.Б., Мельський О.М., Янов О.П., Сахновський В.Л. та ін. Розроблені ними теоретичні основи процесів тепло-масообміну в гірничих виробках дозволяють робити прогноз параметрів шахтного мікроклімату і вибирати необхідні інженерні заходи по його нормалізації.

Аналіз літературних даних, патентних матеріалів і досвіду боротьби з високою температурою повітря при відробці вугільних родовищ дав змогу визначити два періоди з незадовільним тепловим режимом.

Перший – перехідний період має такі параметри шахтного мікроклімату, при яких нормалізація теплового режиму досягається способами і засобами, які не потребують організації на шахтах спеціальних підрозділів для здійснення контролю і технічного обслуговування систем кондиціонування рудникового повітря.

Другий період – потребує застосування штучного охолодження рудникової атмосфери з використанням холодильних машин, для яких потрібно організовувати спеціальні служби по їх експлуатації.

На основі проведеного аналізу і промислових досліджень параметрів мікроклімату в гірничих виробках шахт Кривбасу і Запорізького ЗРК визначено, що у більшості прохідницьких вибоїв мають незадовільні теплові параметри. Температура повітря в них перевищує 20°C. Проблема ускладнюється тим, що рудникове повітря

в прохідницьких забоях скрізь має високу, близьку до 100%, відносну вологість повітря. Тепловий режим гірничих виробок залізорудних шахт в цей час відповідає перехідному періоду. Основними джерелами притоків тепла в атмосферу тупикових забоїв є масив гірничих порід, вентиляційне устаткування, гірничопрохідницькі машини і вибухові роботи. Відомі роботи по прогнозу теплових умов в гірничих виробках не вміщують методів визначення температури порід в межах родовищ з складними гірничогеологічними умовами. Наявні в цей час способи і засоби нормалізації теплових параметрів рудникової атмосфери не достатньо ефективні в умовах залізорудних шахт, тому що не забезпечують потрібних по теплово-му фактору параметрів мікроклімату в межах температур рудниково-го повітря 20-28°C.

На основі викладеного вище складені наступні задачі досліджень:

1. Повести дослідження основних закономірностей формування геотемпературних полів в межах родовищ і розробити метод більш точного прогнозу температури гірничих порід;

2. Визначити ефективність охолодження повітря шахтними пересувними кондиціонерами і розробити раціональні схеми теплового кондиціювання;

3. Запропонувати спосіб і засіб усунення притоків тепла в атмосферу прохідницьких забоїв від ВМІ;

4. Розробити засоби аеродуширування робочих місць, які забезпечують оптимальне поєднання швидкості руху повітря з його температурою;

5. Розробити інженерні методики розрахунку конструкційних і режимних параметрів засобів нормалізації теплових умов праці;

6. Провести промислові випробування та впровадити у виробництво прохідницький повітроохолоджувач і аеродушируючі установ-ки, які забезпечують нормальні теплові умови праці при проходці виробок в перехідний період.

Для визначення температури гірничих порід в цей час вико-ристовується метод розрахунку її по значенню геотермічного гра-дієнту, який базується на основному рівнянні теплопровідності / Законі Фур'є /

$$q = -\lambda \nabla t,$$

де  $q$  - тепловий потік, Вт/м<sup>2</sup>;  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·град;  $\epsilon$  - температурний градієнт, град/м. При цьому робиться допущення, що тепловий потік має глибинне походження і не змінюється в межах родовища, а гірничі породи анізотронні з постійною теплопровідністю. Аналіз значень температури гірничих порід, замірених безпосередньо у виробках, даних термокаротажу геологічних свердловин з моделювання геотемпературних полів методом ЕГДА показує, що вона на заданій глибині не є постійною. Порівняння їх зі значеннями, розрахованими по геотермічному градієнту показує, що похибка при цьому сягає до 80%.

Для оцінки геотермічних аномалій, зв'язаних з ефектом контрастної теплопровідності розроблено ряд аналітичних, числових та аналогових методів. Всі вони приводять в кінцевому значенні до рішення рівняння теплопровідності в середовищі з відомими початковими та граничними умовами. Визначення температури порід в межах родовища зводиться до рішення диференційного рівняння в приватних похідних еліптичного типу. Рішення цього рівняння для умов залізородних родовищ через складну форму області, тоб то геологічної будови і складного характеру граничних умов точними аналітичними методами неможливе. Пошук рішення приблизними числовими методами з використанням ЕОМ зводиться до виконання великої кількості трудоемких операцій по підготовці до розрахунку і обробці вхідної інформації.

В умовах квазістаціонарного геотемпературного поля, яке спостерігається за період відпрацювання родовища, найкращим методом для рішення стаціонарних задач теплопровідності в неоднородних середовищах довільної форми є метод електрогідроаналогії /ЕГДА/, який широко використовується в теплофізиці. При цьому на моделі геологічного розрізу родовища на заданій глибині вибирається ділянка, на якій дві поряд лежачі ізотерми розташовані в межах одного типу порід. З урахуванням геометричного масштабу моделі визначають відстань між ними в натурі і різницю їх значень у відносних одиницях на моделі. Температура гірничих порід налюбій заданій глибині визначається по формулі:

$$T_i = T_0 + \frac{q(H_{i+1} - H_i) \rho_i}{\lambda_i(\rho_{i+1} + \rho_i)}, \quad | 2 |$$

де  $T_i$  - температура, що визначається, К;  $H_i$  - глибина, на якій визначається температура, м;  $\lambda_i$  - коефіцієнт теплопровідності порід в межах вибраної ділянки на заданій глибині, Вт/м·град;  $T_0$  - середня багаторічна температура ґрунту на глибині 1 м, К;  $n_i$  - значення ізотерми у відносних одиницях на моделі, розміщеної згідно масштабу на глибині  $H_i$ ;  $n_{i+1}$  - значення, поряд розташованої в межах одного типу гірничих порід ізотерми, у відносних одиницях на моделі;  $H_{i+1}$  - глибина розміщення  $n_{i+1}$  ізотерми в натурі, м.

До теперішнього часу накопичено багато даних по тепловому потоку на території країн СНД. При наявності даних по теплопровідності гірничих порід і їх температури по розрізу геологорозвідувальних свердловин, тепловий потік визначається як середньо зважене із поінтервальних значень для окремих верств порід з однаковою теплопровідністю по формулі:

$$q = \frac{T_z - T_0}{\sum \frac{n_i}{\lambda_i}}, \quad | 3 |$$

де  $T_z$  - температура порід на глибині  $Z$ , К;  $\lambda_i$  - теплопровідність окремих верств породи потужністю  $n_i$ ;  $T_0$  - екстрапольована до поверхності температура /в розрахунках може прийматися значення  $T_0 /$ , К.

Використовуючи дані термокаротажу геологорозвідувальних свердловин з застосуванням поінтервального методу були визначені значення теплового потоку для Криворізького родовища  $q = 28,4 \cdot 10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup>; Білозерського -  $q = 35,2 \cdot 10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup>; Яковлівського родовища КМА -  $q = 34,6 \cdot 10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup>; Таштагільського рудника /Горна Шорія/ -  $q = 26,2 \cdot 10^{-3}$  Вт/м<sup>2</sup>. Моделювання геотемпературних полів методом ЕГДА для вище зазначених родовищ показує, що похибка визначення температури порід з використанням розробленого методу не перевищує 5+7%. Одержана точність визначення температури гірничих порід дозволяє вибрати найбільш ефективні способи нормалізації теплових умов праці для кожного інтервалу температури рудникового повітря.

Найбільш ефективним, із умов забезпечення нормального температурного режиму виробки, є штучне охолодження рудникового повітря шахтними пересувними кондиціонерами. З урахуванням існуючих способів і устаткування для провітрювання прохідницьких забоїв в умовах залізорудних шахт можуть використовуватись схеми

кондиціювання з нагнітаючим провітрюванням для виробок малої довжини /до 200 м/ і з комбінованим провітрюванням для виробок значної довжини /більше як 200 м/.

В результаті промислових досліджень параметрів теплового кондиціювання на шахтах ВО "Кривбасруда" та Запорізького ЗРК визначено, що внаслідок високого вмісту вологи в рудниковому повітрі витрати холоду на конденсацію вологи сягають 70%, а ефективна холодопродуктивність шахтних кондиціонерів, з урахуванням нагріву охолодженого повітря в ВМП і коефіцієнту його доставки по вентиляційному трубопроводу, не перевищує 30%.

Один із основних критеріїв ефективної експлуатації холодильних установок, забезпечення в вибоях потрібної температури повітря при мінімальних економічних витратах, при прохідці виробок, головним чином залежить від кроку пересувки кондиціонера. Крок пересувки, при якому експлуатаційні витрати на кондиціювання повітря будуть мінімальні, визначаються по формулі:

$$L_n = \sqrt{\frac{C_n \cdot \omega_n \cdot 1000}{3,6 Q_T \cdot C_x \cdot \epsilon_x}} \quad | 4 |$$

де  $L_n$  - крок пересувки кондиціонера, м;  $C_n$  - вартість однієї пересувки, крб.;  $C_x$  - вартість однієї тисячі КДж холоду /без урахування витрат на пересувку/, крб.;  $\epsilon_x$  - кількість годин роботи холодильної установки на рік, год/рік;  $Q_T$  - коефіцієнт, який урахує зростання витрат холоду із збільшенням довжини повітропроводу, Вт/м. Значення  $C_n$ ,  $\omega_n$ ,  $C_x$ ,  $\epsilon_x$  приймається по результатам техніко-економічного аналізу при проведенні конкретної виробки та прийнятої схеми кондиціювання. Коефіцієнт при проведенні виробок в умовах залізрудних шахт і використанні кондиціонерів потужністю до 140 кВт може визначатися по експериментальним залежностям:

для гнучкого прорезиненого вентиляційного трубопроводу діаметром 0,5 м

$$a_T = (4527 - 15,1 T_{\text{пл}}) \frac{V_3 (K_T + 1)}{K_T \cdot \phi_3} + 55,66 T_{\text{пл}} - 0,105 T_{\text{пл}}^2 - 7260$$

| 5 |

для трубопроводу діаметром 0,6 м

$$a_T = (4050 - 13,5 T_{\text{пл}}) \frac{V_3 (K_T + 1)}{K_T \cdot \phi_3} + 62,08 T_{\text{пл}} - 0,115 T_{\text{пл}}^2 - 8254$$

| 6 |

де  $T_{г.п.}$  - температура повітря на вході у вентиляційний трубопровід, К;  $V_3$  - кількість повітря подаваного до забою, м<sup>3</sup>/с;  $K_T$  - коефіцієнт доставки повітря;  $F_3$  - площа поперечного перетину виробки, м<sup>2</sup>;

Температура повітря на вході у вентиляційний трубопровід дорівнює

$$T_{г.п.} = T_K + \Delta T_{ВМІ}, \quad 171$$

де  $T_K$  - температура повітря на виході випарювача кондиціонера, К;  $\Delta T_{ВМІ}$  - підвищення температури повітря у ВМІ, К.

Для визначення температури повітря на виході із випарювача кондиціонера і її підвищення у ВМІ, в залежності від кількості охолоджуваного повітря, його початкової температури і холодопродуктивності кондиціонера розроблена номограма, яка приведена на рис. 1.

Температура повітря, яке подається до забою, залежить від довжини вентиляційного трубопроводу і визначається за формулою:

$$T_{г.к.} = T_{г.п.} + \frac{a_T L_T K_T}{503 V_3 (K_T + 1)}, \quad 181$$

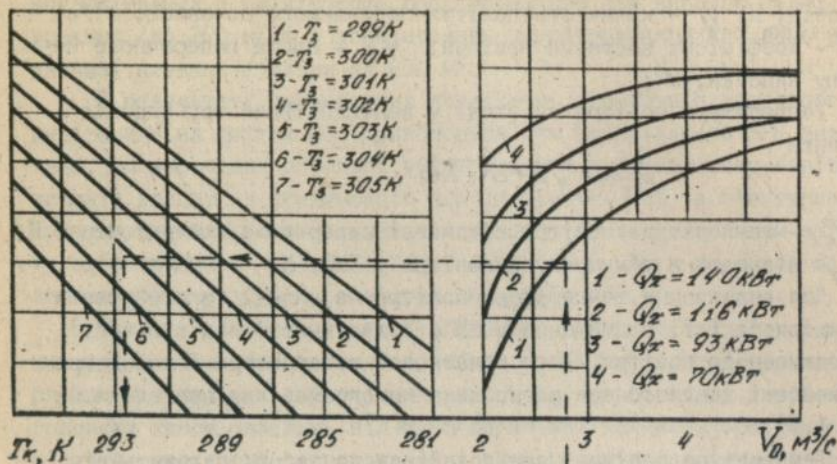
де  $L_T$  - довжина вентиляційного трубопроводу, м.

Для забезпечення нормальної температури повітря в забої крок пересувки кондиціонера повинен відповідати умові

$$L_K \leq L_{max} - L_0, \quad 191$$

де  $L_{max}$  - максимальна відстань між кондиціонером та забоєм, при якій температура повітря в забої не перевищує гранично допустимого значення, м;  $L_0$  - мінімальна відстань між кондиціонером і забоєм, яка з урахуванням технології проходки виробок в залізрудних шахтах не може бути меншою як 40 м. Максимально допустима відстань від кондиціонера до забою залежить від конкретних умов експлуатації системи кондиціонування. Для кондиціонерів потужністю 140 кВт при використанні гнучких трубопроводів і температурі рудникового повітря 30°C ця відстань може бути не більше як 200 м.

Ефективність використання кондиціонерів в значній мірі залежить від способу і схеми відводу тепла конденсації. Для ефективного кондиціонування повітря в умовах залізрудних шахт запропоновано оборотну схему охолодження конденсаторної води, з відводом тепла конденсації у вентиляційні підняткові виробки з вихідними потоками, шляхом розбризкування її у форсунках. Потрібне охолод-



Номограма визначення температури повітря на виході із теплообмінника кондиціонера і ВМП при різній холодопродуктивності кондиціонерів і кількості охолодженого повітря

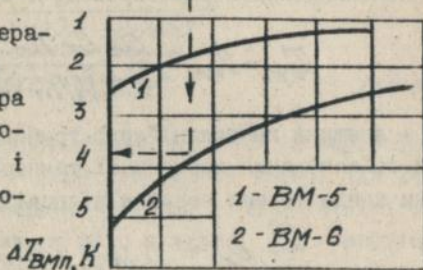


Рис. 1

ження води забезпечується при умові

$$\delta < \delta_p,$$

/ 9 /

де  $\delta$  - необхідні для потрібного охолодження води питомі витрати повітря, кг/кг;  $\delta_p$  - можливі питомі витрати повітря у підняттевій виробці, кг/кг

$$\delta = A \frac{(\Delta \theta)^a}{(\Delta P)^b},$$

/ 10 /

де  $A, a, b$  - емпіричні коефіцієнти, які залежать від конструкції водоохолоджувача;  $\Delta \theta$  - перепад температури води, К;  $\Delta P$  - початкова різниця парціальних тисків водяного пару у водоохолоджувачі, Па:

$$\Delta \theta = \frac{Q_x}{C_w \cdot W},$$

/ 11 /

де  $Q_k$  - теплова потужність, яка відводиться від охолоджуючої води і дорівнює сумі теплової потужності конденсатора холодильної машини і потужності на вакуу циркуляційного насосу, кВт;  $C_W$  - теплоємність води;  $W$  - втрати охолоджуючої води, кг/с

$$\Delta P = P_n^W - P_n^B, \quad / 12 /$$

де  $P_n^W, P_n^B$  - парціальний тиск водяного пару, відповідно при початковій температурі води, подаваної в водоохолоджувач, і у вентиляційному повітрі на вході у підняттеві виробці, Па.

$$g_p = \frac{\rho_B \cdot V_B}{W}, \quad / 13 /$$

де  $\rho_B$  - густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;  $V_B$  - витрати повітря у підняттеві виробці, м<sup>3</sup>/с.

З врахуванням того, що вентиляційне повітря на вході водоохолоджувача має 100% відносну вологість, ефективне відведення тепла конденсації забезпечується при витратах повітря у вентиляційно-підняттеві виробці не менше, як 6 м<sup>3</sup>/с при його початковій температурі 29°C.

Область ефективного застосування шахтних пересувних кондиціонерів визначається величиною коефіцієнту збільшення продуктивності праці при охолодженні повітря, який дорівнює:

$$K_n = \omega_n / \omega_x, \quad / 14 /$$

де  $\omega_n$  та  $\omega_x$  - швидкість проведення виробки, відповідно без охолодження і з ним, м/місяць.

Ефективне застосування кондиціонерів має місце якщо

$$K_n \geq 1 + \frac{\Delta M + \Delta A + \Delta B}{A + B}, \quad / 15 /$$

де  $\Delta A$  - амортизаційні відрахування по холодильному обладнанню, крб/місяць;  $\Delta M$  - сума витрат на матеріали і електроенергію при експлуатації кондиціонера, крб/місяць;  $\Delta B$  - фонд заробітної плати робочих, обслуговувачів систему кондиціонування, крб/місяць;  $A$  - місячна сума амортизаційних відрахувань, крб/місяць;  $B$  - умовно-змінна частина заробітної плати, яка залежить від продуктивності праці, крб/місяць.

Досвід експлуатації шахтних пересувних кондиціонерів в вугільних шахтах показує, що ефективне їх використання досягається при збільшенні продуктивності праці на 26+ 28%. Додаткові витрати на охолодження повітря при цьому компенсуються зниженням собівартості проходки виробки. При аналогічних експлуатаційних витратах

в умовах залізорудних шахт охолодження повітря шахтними пересувними кондиціонерами буде економічно вигідним при температурі повітря більше як  $28^{\circ}\text{C}$ .

Таким чином для нормалізації теплових умов праці в інтервалі температури рудникового повітря  $20+28^{\circ}\text{C}$  потрібна розробка більш економічних способів і засобів.

Одним із потужних і безперервно діючих джерел притоку тепла в атмосферу тупикових забоїв є вентилятори місцевого провітривання, теплопритоки від яких сягають 70% загальної кількості тепла, що надходить до гірничої виробки.

Найбільш простими по конструкції є контактні повітроохолоджувачі, процеси теплообміну поміж водою і повітрям, в яких протікають достатньо інтенсивно. Але в умовах залізорудних шахт, де початкова температура води і вентиляційного повітря в тупикових забоях однакова, навіть при максимально досягаемому коефіцієнті теплообміну в зродувальних камерах рівному 0,95, ефективність охолодження повітря не перевищує 0,5, тобто практично таким способом можливо відвести тільки половину кількості тепла, яке виділяє вентилятор.

Збільшити ефективність відводу тепла від вентиляційного потоку можливо шляхом інтенсифікації теплообміну в обертаючомуся повітряному потоці, закрученому робочим колесом вентилятора за рахунок збільшення різниці температури поміж повітрям і охолоджуючою водою. Відомо, що рухомий потік характеризується термодинамічною температурою  $T_g$  і температурою тормозіння  $T_0$ , тобто температурою, коли його швидкість  $v = 0$ . Зв'язок поміж температурою тормозіння і термодинамічною температурою встановлюється співвідношенням:

$$T_0 = T_g + \frac{v^2}{2c_p}, \quad / 16 /$$

де  $c_p$  - питома теплоємність повітря, Дж/кг·град.

Геометрія міжлопаточного вінця осьового вентилятора вибирається таким чином, щоб уздовж радіусу  $r$  виконувалась постійність осевої складової швидкості потоку  $|v_r|$  та його енергії  $|E|$ , тобто

$$\frac{dv_r}{dr} = 0; \quad \frac{dE}{dr} = 0, \quad / 17 /$$

$$v_r \cdot r = \text{const}, \quad / 18 /$$

де  $v_{\theta}$  - тангенційна складова швидкості потоку.

Але умови / 17 / і / 18 / справедливі для активної частини поток і не виконуються на ділянці його відриву, розміщеній за втулкою робочого колеса вентилятора. На цій ділянці мається дві області, для яких нехтуючи перехідною зоною поміж ними, де  $v_{\theta} \cdot r = const$  і  $v_{\theta} = \omega \cdot r$  тангенційна складова швидкості потоку дорівнює:

$$v_{\theta} = \begin{cases} \omega r & 0 \leq r \leq r_0 \\ \frac{\omega r_0^2}{r} & r_0 \leq r \leq R_{\text{ггп}} \end{cases} \quad / 19 /$$

де  $r$  - поточне значення радіусу трубопроводу;  $\omega$  - кутова швидкість потоку;  $R_{\text{ггп}}$  - радіус трубопроводу

Таким чином, максимальна швидкість обертаючогося повітряного потоку знаходиться на радіусі  $r_0$ , а температура тормозіння біля стінки трубопроводу нижча її значення на радіусі  $r_0$ . Лабораторними дослідженнями встановлено, що значення  $r_0$  безпосередньо за робочим колесом вентилятора дорівнює  $r_0 = r/R_{\text{ггп}} = 0,6 + 0,8$ . З збільшенням відстані від робочого колеса внутрішня область з квазітвердим обертанням потоку зменшується, а область квазіпотенційним рухом збільшується. При цьому максимум швидкості руху потоку переміщується в сторону осі трубопроводу.

Для забезпечення квазітвердого обертання потоку по усьому радіусу трубопроводу, при якому максимальне значення температури тормозіння буде біля стінки трубопроводу, за робочим колесом вентилятора необхідно встановлювати завихрювач, формуючий обертання потоку по закону  $v_{\theta} = \omega r$ . В цьому випадку інтенсифікація теплообміну, поряд з збільшенням швидкості руху, досягається за рахунок ефекту Ранку, тобто збільшенням різниці температур між повітрям і водою після завихрювача при однаковій початковій їх температурі на величину:

$$\Delta T = T_{\text{вмп}} + \frac{v_{\theta}^2}{2C_p} - T_n$$

/ 20 /

де  $T_{\text{вмп}}$  і  $T_n$  - температура повітря, відповідно на виході ВМП і в виробку, К.

По енергетичним і конструкційним параметрам для рішення поставленої задачі найбільше доцільним є використання лопаточних завихрювачів з змінним по радіусу кута  $\gamma$  закрутки лопаток, який дорівнює:

$$\tan \gamma = \frac{r}{R_{\text{ггп}}} \cdot \tan \gamma_n$$

/ 21 /

де  $\varphi_H$  - геометричний кут закрутки лопатки на зовнішньому радіусі завихрювача.

На основі одержаних результатів розроблена конструкція прохідницького прітвороохолоджувача /рис. 2 /, який працює таким чином. Повітряний потік, закручений робочим колесом вентилятора І надходить в лопаточний завихрювач 2 на виході якого формується потік з квазітвердим обертанням. Внаслідок того, що термодинамічна температура зменшується від осі трубопроводу до його стінки проходить передача тепла від внутрішніх шарів до зовнішніх. В цей час температура тормозіння потоку має максимальне значення біля стінки трубопроводу, за рахунок чого проходить інтенсивний теплообмін з охолоджуючою водою, яка подається на внутрішню поверхню теплообмінника 3 через щільовий податчик 5. Шар охолоджуючої води на внутрішній стінці теплообмінника утримується відцентровою силою обертуючогося повітряного потоку і переміщується разом з ним до водовідокремлювача 4, в якому тепла вода відокремлюється від вентиляційного повітря і відводиться за межі робочої ділянки забою. Охолоджене повітря, пройшовши спрямлюючий пристрій надходить по вентиляційному трубопроводу до забою. Кількість охолоджуючої води визначається із умови:

$$\Delta T_{max}^W \leq \Delta T_{BMP} + \frac{v_{CR}^2}{2c_p}, \quad / 22 /$$

звідки

$$V_{mix}^W \geq \frac{Q^B}{\Delta T_{max}^W \cdot c_w}, \quad / 23 /$$

де  $V_{mix}^W$  - мінімально необхідні витрати охолоджуючої води, м<sup>3</sup>/с;  
 $\Delta T_{max}^W$  - максимальне підвищення температури води в теплообміннику, К;  
 $\Delta T_{BMP}$  - підвищення температури повітря у вентиляторі, К;  
 $Q^B$  - кількість тепла, яка відводиться від повітряного потоку, Вт.

$$Q^B = (\Delta T_{BMP} + \frac{v_{CR}^2}{2c_p}) V_B \cdot \rho_B \cdot c_p. \quad / 24 /$$

Лабораторними дослідженнями аеродинамічних процесів теплообміну в потоці, закрученому лопаточним завихрювачем встановлено, що квазітверде обертання уздовж всього радіусу теплообмінника зберігається на відстані 10 його діаметрів від завихрювача. При подальшому збільшенні цієї відстані проходить трансформація обертального руху потоку з виникненням області квазіпотенційного руху

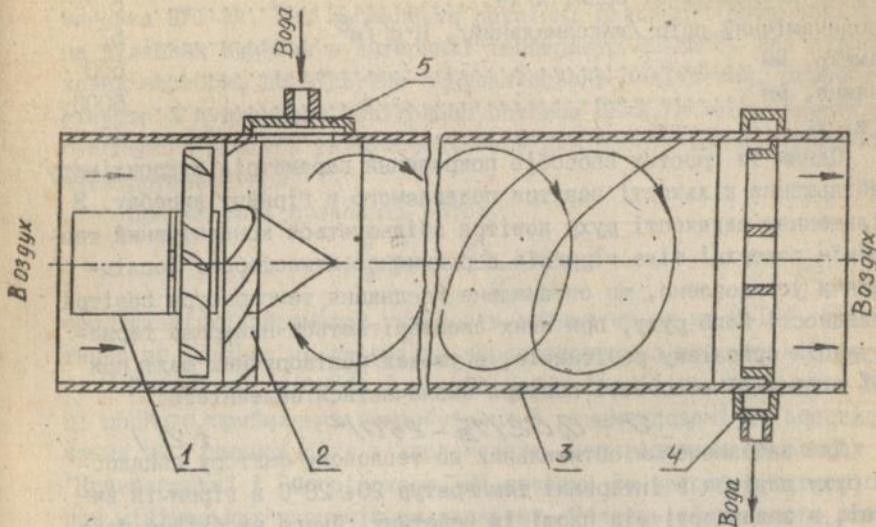


Рис. 2

зі зниженням ефективності охолодження повітря. Внаслідок перебудови поля швидкостей лопаточним завихрювачем в відповідності зі зміною режиму роботи вентилятора змінюється аеродинамічний опір переміщенню повітряного потоку. В залежності від кількості охолоджуваного повітря аеродинамічний опір повітроохолоджувача визначається за формулою

$$R_{\theta} = 10,98 \exp(-0,731 V_B) \quad / 25 /$$

Зменшення опору при збільшенні кількості охолоджуваного повітря  $V_B$  пов'язано зі зменшенням інтенсивності закрутки повітряного потоку та зменшенням при цьому витрат на тертя. Характеристика вентиляційної сіті, а яку працює вентилятор, будеться по загальним витратам тиску в повітроохолоджувачі і вентиляційному трубопроводі

$$H_{ст} = (R_B + R_{тр}) V_B^2 \quad / 26 /$$

де  $R_{тр}$  - аеродинамічний опір трубопроводу,  $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^8$ .

Розроблений прохідницький повітроохолоджувач має наступні технічні показники:

Діаметр робочого колеса вентилятора

для спільної роботи, мм ..... 500

Холодопродуктивність /максимальна/, кВт .....	8
Витрати охолоджуючої води, л/хв. ....	5
Аеродинамічний опір /максимальний/, Н·с <sup>2</sup> /м <sup>8</sup> .....	51
Діаметр, мм .....	500
Довжина, мм .....	6000
Вага, кг .....	49

Одним із простих способів покращення параметрів мікроклімату є збільшення кількості повітря подаваного в гірничу виробку. З збільшенням швидкості руху повітря збільшується конвективний теплообмін поверхні тіла гірників з рудничною атмосферою. Дослідженнями встановлено, що оптимальне поєднання температури повітря і швидкості його руху, при яких спостерігається найкраща терморегуляція організму робітників, в умовах залізорудних шахт при 100% відносній вологості повітря визначається залежністю:

$$v = 0,02(T_B - 290)^e \quad | 27 |$$

Для забезпечення оптимальних по тепловому фактору швидкостей руху повітря в інтервалі температур 20+ 28°C в гірничій виробці, в залежності від площі їх перетину, його необхідно подавати в кількості до 40 м<sup>3</sup>/с, що при наявних засобах провітрювання, технічно виконано не може бути. Більш ефективним способом нормалізації теплових умов в тупикових виробках є локальне збільшення швидкості руху повітря на ділянках виробки, де виконуються технологічні операції прохідницького циклу, довжина яких при наявній технології проведення виробок не перевищує 15 м. По техніко-економічним параметрам побуджувачами тяги в цьому разі доцільно використовувати пневмоежектори. Використання для цієї цілі вентиляторів є недоцільним по тій причині, що вони при роботі нагрівають повітря, мають великі розміри і вагу.

Аеродинамічні та конструкційні параметри ежектора в залежності від площі перетину виробки і температури повітря є можливим визначити по аналітичній формулі, одержаній на основі результатів лабораторних та промислових досліджень

$$V_0 = 0,0728(T_B - 290)^e d_e^2 \cdot a \cdot \bar{x} \exp b \bar{x}, \quad | 28 |$$

де  $V_0$  - продуктивність ежектора, м<sup>3</sup>/с;  $d_e$  - діаметр вихідного перетину ежектора, м;  $a$  - коефіцієнт структури турбулентного струменя;  $\bar{x}$  - відносна відстань від ежектора до робочого місця;  $b$  - функція стиснення струменя, числове значення якої для практичних розрахунків може прийматися  $b = 0,0021$ .

На основі виконаних досліджень розроблена аеродушируюча установка ДУШ-2М, яка забезпечує потрібні швидкості руху повітря на ділянках виробки в інтервалі температур 20-28°C. Для підповерхових виробок, де відсутнє централізоване освітлення, розроблено ежектор з пульсуючим повітряним потоком ПЕ-2, в якому енергія стисненого повітря використовується для роботи малогабаритного електрогенератора.

При частоті пульсації потоку

$$f_n \geq \frac{t_3 \cdot Q_e}{t_0 \cdot S_e \cdot L_e}$$

/ 29 /

аеродинамічні параметри установки зменшуються на 8-10%, що практично не впливає на параметри аеродуширування робочих місць.

Розроблені способи і засоби нормалізації теплових умов праці пройшли приймальні випробування і рекомендовані до впровадження на гірничорудних підприємствах. Впровадження на шахтах ВО "Кривбасруда" і Запорізького ЗРК показує їх високу ефективність при мінімальних економічних витратах. Область ефективного використання розроблених способів і додаткові витрати на створення нормальних теплових умов праці /у цінах 1990 р./, приведено в табл. I.

Таблиця I

Область використання і економічні показники способів нормалізації теплових умов праці

Показники	Штучне охолодження	Усунення притоків тепла ВМП	Аеродуширування робочих місць
економічні витрати, тис.крб./п.м.	4,5-6,3	1,0-1,4	0,4-0,6
інтервал температури	26-32°C	>20°C	20-28°C

#### ВИСНОВКИ

На основі результатів виконаних досліджень дано нове рішення актуальної науково-технічної задачі нормалізації теплових умов праці при проведенні гірничих виробок за рахунок усунення притоків тепла від вентиляторів місцевого провітрювання і оптимального поєднання швидкості повітряного потоку з його температурою на ділянці виконання технологічних операцій.

1. Для родовищ з складною геологічною будовою розроблено метод прогнозу температури гірничих порід по значенню ізотерм і теплового потоку в межах одного типу порід, похибка якого не перевищує 5-7%.

2. Досліджені фактори, які впливають на ефективність штучного охолодження повітря в умовах залізрудних шахт. Встановлено, що ефективна холодопродуктивність шахтних пересувних кондиціонерів при високій вологомісткості рудникового повітря і транспортуванні його в забій по гнучким прорезиненим трубопроводам складає 20-30%.

3. Визначені оптимальні параметри схем теплового кондиціювання рудникового повітря. Експериментально встановлені залежності для визначення раціональної відстані пересувки шахтних кондиціонерів. Визначена область ефективного використання серійно виробляємих шахтних кондиціонерів, яка в умовах залізрудних шахт знаходиться в інтервалі температури рудникового повітря  $26 \pm 32^{\circ}\text{C}$ .

4. Теоретично і експериментально доведена можливість охолодження повітряного потоку на виході осьових вентиляторів місцевого провітрювання. Встановлено, що процес теплообміну поміж вентиляційним повітрям і охолоджуючою водою, які мають однакову початкову температуру, досягається при квазітвердому обертанні повітряного потоку, який забезпечується лопаточним завихрувачем з змінним кутом закрутки лопаток.

5. Установлено основні залежності конструкційних параметрів побудувачів тяги, які забезпечують потрібні по тепловому фактору швидкості руху повітря на ділянках де виконуються технологічні операції прохідницького циклу.

6. На основі результатів досліджень і методик розрахунку конструкційних елементів розроблено прохідницький повітросохолоджувач, виконаний у вигляді приставки до вентиляторів місцевого провітрювання, який забезпечує усунення притоків тепла в вентиляційний потік повітря і зниження його температури на  $3 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

7. Розроблено конструкції аеродушируючих установок, що забезпечують нормальні умови праці в інтервалі температур рудникового повітря  $20-28^{\circ}\text{C}$  за рахунок створення оптимальної по тепловому фактору швидкості його руху на робочих місцях.

8. Промислове виробництво розроблених засобів нормалізації теплових умов праці при проведенні виробок освоєно Ленінським

рудоремонтним заводом ВО "Кривбасрудоремонт". Обсяг їх впровадження на гірничорудних підприємствах по становищу на 1994 рік становить більше як 1000 штук. Використання розроблених засобів забезпечує як соціальний ефект, який виявляється в створенні нормальних санітарно-гігієнічних умов праці і підвищенні її безпеки, так і економічний ефект, який виявляється в підвищенні продуктивності праці прохідників.

Основні положення дисертації опубліковані в роботах:

1. Куроченко В.М. Исследование параметров теплового кондиционирования рудничного воздуха при проведении выработок с применением шахтных передвижных кондиционеров - Шахтное строительство, 1983, № 9, с. 8-9.

2. Куроченко В.М. Регулирование теплового режима горных выработок при вскрытии и подготовке глубоких горизонтов железорудных шахт - В кн.: Защита рабочих горнорудной промышленности от производственных опасностей и вредностей. М.: Недра, 1983, с. 45-48.

3. Исследование способов снижения температуры рудничного воздуха в переходный период / В.Л.Сахновский, П.В.Дмитрийчук, В.М.Куроченко и др. - В кн. Снижение уровня вредных производственных факторов на горнорудных предприятиях. М.: Недра, 1984, с.22-27.

4. Способы и средства нормализации тепловых условий в горных выработках железорудных шахт / П.В.Дмитрийчук, В.М.Куроченко, А.Р.Никитенко и др. / Обзорная информация. М.: ЦНИИинформации и технико-эконом. исследований черной металлургии, 1984. - 19 с.

5. Совершенствование вентиляции железорудных шахт / В.Л.Сахновский, В.М.Куроченко, Е.К.Алексеев и др. / Информационный научн. техн. бюллетень - М.: ЦНИИинформации и технико-эконом. исследований черной металлургии, 1988, вып. 20, с. 25-33.

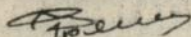
6. Куроченко В.М. Устранение притоков тепла от вентиляторов местного проветривания в атмосферу горной выработки. - Шахтное строительство, 1990, №3, с. 22-24.

7. Сахновский В.Л., Умнов А.Е., Куроченко В.М. Интенсификация проветривания глубоких рудников. - М.: Недра, 1992. - 143 с. В. А.с. № 866296 /СССР/ Эжектор / В.М.Куроченко, Э.В.Солгалов, В.Л.Сахновский, В.Д.Ковтанюк. - Опубл. в Б.И. 1981, №35.

9. А.с. № 1135909 /СССР/ Устройство для охлаждения воздуха

в горных выработках / В.М.Куроченко, В.Л.Сахновский, А.Н.Третьяченко, А.Р.Никитенко. - Оpubл. в Б.И. 1985, № 3.

Пошукач



В.М.Куроченко

РПН НДРГІ, м.Кривий Ріг,  
пр. Гагаріна, 57  
зак. № 4/ тираж 100 екс.  
Підписано до друку 19.05.94р.  
об'єм I др.л.

457966

AB 30.485