



Рис. 2. Изменение температуры на период измерений, °С

пендикулярной к оси визирования. Методику можно рекомендовать для наблюдений вертикальной и горизонтальной рефракции, так как он отвечает всем вышеизложенным требованиям. Фотограмметрическая методика требует дальнейшего исследования, необходимо установить технические характеристики методики, точность определения влияния рефракции, предельные длины, время работы.

Список литературы

1. Загребин Д. В. Введение в астрометрию / Д. В. Загребин, М. — Л., 1966. 123 с.
2. Изотов А. А., Пеллинен Л. П. Исследования земной рефракции и методов геодезического нивелирования / А. А. Изотов, Л. П. Пеллинен. - М., 1955. - 240 с.
3. Мороз О. І. Теоретичні основи вертикальної рефракції, способи її визначення, врахування і прогнозування: дис... доктор технічних наук :05.24.01 / Мороз Олександр Іванович. – К., - Львів, - 2003. – 281 с.
4. Краснощекова И. А., Нормандская О. Б., Кислова А.М., Кислов В. В. Фотограмметрия / И. А. Краснощекова, О. Б. Нормандская, А.М. Кислова, В. В. Кислов. - М., - Недра, - 1978. -471 с.

Рукопись поступила в редакцию 18.02.13

УДК 622.272.3.01:536.24

О. Є. ЛАПШИН, д-р техн. наук, проф.,
А. А. НЕМЧЕНКО, В. А. КОНОВАЛЮК, кандидати техн. наук,
Д.О. ЛАПШИНА, студентка, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІТРООБМІНУ В КАМЕРОПОДІБНИХ ВИРОБКАХ З ВЕЛИКИМИ ТЕПЛОПРИТОКАМИ

Наведено стан теплового режиму в камеро подібних виробках з великими штучними теплопритоками, а також вплив основних факторів на цей процес.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Температура повітря в камерах з великими штучними теплопритоками, особливо на глибоких горизонтах, може значно перевищувати допустимі санітарні норми (26 °С) і сягати 35-36 °С.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням теплового режиму в шахтних виробках присвячено велику кількість робіт, але безпосередній вплив штучних теплопритоків освітлень в недостатній мірі.

Викладання матеріалу та результати. Шахтні камероподібні виробки здебільшого використовуються для розміщення в них різного обладнання, що виділяє велику кількість тепла (насосні підстанції, підйомні машини сліпих стволів, перевантажувальні вузли конвеєрів та ін.). Кількість тепла, що виділяється в подібних камерах може бути настільки суттєвою, що виникає потреба у спеціальному провітрюванні з метою видалення надлишків тепла. У свою чергу ефективність конвективного теплообміну залежить від швидкості повітряного потоку. Провітрювання камер може здійснюватись наскрізним повітряним потоком і не наскрізним. При наскрізному провітрюванні перемішування холодних та гарячих мас більш інтенсивне. Розрахунок провітрювання камер може полягати у визначенні температури струменю на виході з камери або необхідної кількості повітря для підтримання необхідної температури в ній.

Складемо рівняння теплового балансу для довільної камероподібної виробки – камери шахтного водовідливу.

Через камеру проходить повітря із витратою M , кг/с при початковій температурі T_0 . За рахунок тепла, що виділяється від обладнання у кількості Q , кДж/с, температура повітря в камері зростає до величини T . Частина тепла за рахунок конвекції передається оточуючим породам, температура поверхні яких дорівнює T_n . У камері має місце турбулентна дифузія, у результаті чого, повітря, що виходить із неї має температуру $T_{\text{вих}}$ нижчу, ніж температура повітря в камері. Математично рівняння теплового балансу запишеться так

$$McT_0 dt + Qdt - McT_{\text{вих}} dt - \alpha F(T - T_n) dt = V\rho c dt, \quad (1)$$

де c - питома теплоємність повітря, кДж/кг·К; dt - час протікання процесу, с; α - коефіцієнт конвективного теплообміну, кДж/м²·К·с; F - поверхня камери, м²; V - об'єм камери м³; ρ - густина повітря в камері, а також на вході та виході з неї, кг/м³.

Перший доданок рівняння - це кількість тепла, що надходить у камеру із повітрям, другий - кількість тепла, що виділяється в камері за той самий час від обладнання, третій - кількість тепла, що виходить із камери із повітрям, четвертий - тепло що сприймається породами методом конвекції. Алгебраїчна сума цієї кількості тепла дорівнює теплоприросту повітря у камері. Теплоємністю обладнання нехтуємо, а температуру стінок у камері при періодичному включенні двигунів приймаємо постійною.

Температура вихідного повітря залежить від температури повітря у камері та коефіцієнту турбулентної дифузії, який визначається формою камери, місцем примикання до неї виробок, площею їх поперечного перерізу, а також швидкістю повітря.

У загальному випадку температуру вихідного повітря можна виразити так, К

$$T_{\text{вих}} = T \cdot k, \quad (2)$$

де k - коефіцієнт турбулентної дифузії.

Розділимо змінні диференційного рівняння (1)

$$dt/V\rho c = dT/Q + McT_0 + \alpha FT_n - T(Mck + \alpha F). \quad (3)$$

Проінтегруємо рівняння (3), задаючись граничними умовами, що при зміні часу від 0 до t , температура в камері зростає від T_0 до T_k .

$$t/V\rho c = -[(1/Mck + \alpha F) \cdot \ln(Q + McT_0 + \alpha FT_n - T_k Mck - T_k \alpha F / Q + McT_0 + \alpha FT_n - T_0 Mck - T_0 \alpha F)]. \quad (4)$$

Запишемо кінцевий вид рівняння (4) через температуру повітря у камері

$$T_k = Q + McT_0 + \alpha FT_n - [Q + McT_0(1-k) - \alpha F(T_0 - T_n)] \exp(-t(Mck + \alpha F/V\rho c)). \quad (5)$$

Рівняння (4) можна розв'язати і відносно M , тоді ми отримаємо значення необхідної кількості повітря для підтримання температури в камері у заданих межах.

Особливістю шахтних камер водовідливу є наявність в них потужних насосів до 800 кВт кожний, а їх кількість може досягати від 3 до 8. Коефіцієнт корисної дії електродвигуна достатньо високий (0,96-0,98), а водяного насоса значно менший (0,8-0,85), тобто сумарний ккд дорівнює приблизно 0,8. Таким чином насосні агрегати безпосередньо в камері при їх роботі виділяють 20 % тепла від їх потужності. Крім того, в камері може бути електропідстанція, апарати якої мають ккд не менше 98 %. Велике значення має глибина розміщення камери водовідливу. Так як зараз рудники Кривбасу і ЗЖРК працюють на глибинах 1000 м і більше, то велике значення має температура корінних порід, яку можна визначити із залежності, °С

$$t = t_{\text{н.ш.}} + H - Z_0/H_r, \quad (6)$$

де $t_{\text{н.ш.}}$ - температура нейтрального шару, яка для умов Кривбасу дорівнює 10,8 °С, а ЗЖРК 11,2 °С; H - глибина розміщення насосної, м; Z_0 - глибина нейтрального шару, яка для Кривбасу складає 35 м, а для ЗЖРК - 30 м; H_r - геотермічна ступінь для Кривбасу 90 м, а для ЗЖРК - 65 м.

Виходячи з цього температура корінних порід в Кривбасі на глибині 1000 м буде дорівнювати, °С

$$t_k = 10,8 + (1000 - 35)/90 = 21,5, \\ t_3 = 11,2 + (1000 - 30)/65 = 26.$$

Тобто на глибині 1000 м на шахтах ЗЖРК навіть при відсутності будь-яких джерел тепловиділення, які фактично завжди є, температура повітря буде перевершувати допустимі санітарні норми (26 °С). В Кривбасі ж такі температури будуть мати місце починаючи з глибини, м

$$H = (26 - 10,8)90 + 35 = 1400.$$

Другий фактор, який визначає температуру повітря в шахті в залежності від глибини це процес політропного стиснення. Цей фактор стає особливо суттєвим, коли температура корінних порід близька до допустимої. Так як повітря завжди при опусканні нагрівається і тепловід-

дача в породі перестає діяти, або ж навпаки породи нагрівають повітря.

Залежність зміни тиску з висотою має вигляд (барична формула)

$$P/P_0 = [1 + \rho \cdot g \cdot H(n-1)/P_0 \cdot n]^{n/n-1}, \quad (7)$$

а залежність температури від статичного тиску

$$P/P_0 = (T/T_0)^{n/n-1}, \quad (8)$$

де P – величина тиску на відповідній глибині, Па; P_0 – величина тиску на денній поверхні, Па; T – величина температури на відповідній глибині, °К; T_0 – величина температури на денній поверхні, °К.

Сумісне рішення рівнянь (7) і (8) дає:

$$T = T_0 [1 + \rho \cdot g \cdot H(n-1)/P_0 \cdot n]. \quad (9)$$

Якщо прийняти для літньої пори року $T_0 = 300$ °К; $\rho = 1,2$ кг/м³; $H = 1000$ м; $n = 1,35$ (згідно нашим вимірам); $P_0 = 760$ мм рт. ст. (103332 Па), то будемо мати:

$$T = 300 [1 + 1,2 \cdot 9,81 \cdot 1000(1,35-1)/103332 \cdot 1,35] = 309 \text{ °К.}$$

Тобто на кожні 100 м глибини по причині політропного стиснення температура зростає на 0,9 °К. Виходячи з аналізу впливу геотермії і стиснення повітря визначальним фактором є тепло, яке виділяють насоси та їх привід.

На рис. 1 наведено графік залежності температури повітря в камерах водовідливу від часу безперервної роботи насосів в шахтах ім. Леніна і «Гвардійська» при роботі одного насоса.



Рис. 1. Залежність температури в камері від часу роботи насосів

З рисунка наглядно видно що незалежно від глибини розміщення камери водовідливу – 527 м чи – 1190 м температура повітря достатньо швидко через 2-3 години піднімається до 36 °С навіть при роботі одного насоса. Ці насоси працюють як правило у нічний час так як відпускна вартість електроенергії вночі значно нижча ніж вдень.

Процес теплообміну в насосних камерах можна описати рівнянням теплового балансу

$$q + k(t_{\text{пов}} + t_{\text{ст}}) \cdot F + Q \cdot \rho \cdot c(t_{\text{вих}} - t_{\text{вх}}) = 0, \quad (10)$$

де q – кількість тепла, яку виділяють механізми, кВт; k – коефіцієнт нестационарного теплообміну, кДж/м²с°С; Q – кількість повітря, яка проходить через камеру, м³/с; ρ – густина повітря, кг/м³; c – теплоємність повітря кДж/кг°С; $t_{\text{пов}}$ – середня температура повітря, °С; $t_{\text{ст}}$ – середня температура стінок камери, °С; $t_{\text{вх}}$ – температура повітря на вході, °С; $t_{\text{вих}}$ – температура повітря на виході, °С.

Кількість тепла, яку виділяють механізми буде дорівнювати

$$q = N \cdot (1 - \eta) = 800 \cdot (1 - 0,8) = 160 \text{ кВт.}$$

Так як теплообмін в камерах не є головним термодинамічним процесом, то з достатньою точністю при штучному виділенні великої кількості тепла можна вважати, що все тепло витрачається для нагрівання повітря. При цьому нам відомо, яка температура повітря, що входить в камеру, тобто температура повітря в приствольній виробці ($t_{\text{вх}}$). Тепер, знаючи витрати повітря, або величину температури повітря на виході, знаходимо інший параметр.

Наприклад, $Q = q / \rho \cdot c(t_{\text{вих}} - t_{\text{вх}})$,

де ρ – густина повітря на відповідній глибині, наприклад, при $H = 1000$ м, $\rho = 1,4$ кг/м³; маюча теплоємність повітря $c = 1$ кДж/кг°С; $t_{\text{вх}} = 23$ °С, $t_{\text{вих}} = 30$ °С.

Тоді $Q = 160 / 1,4 \cdot 1 \cdot (30 - 23) = 16,3$ м³/с,

при поперечному перерізі камери 12 м² швидкість руху повітря дорівнюватиме:

$$V = Q/S = 16,3/12 = 1,36 \text{ м/с.}$$

Таким чином, якщо температура повітря при вході в камеру водовідливу менше допустимої температури, належної температури повітря в камері можна досягти за допомогою їх штучного провітрювання.

Висновки та напрямок подальших досліджень. В підземних камерах, де встановлені потужні машини і механізми, температура може значно перевершувати допустимі норми. Подальшим напрямком досліджень є пошук способів і засобів для локалізації тепла при допомозі аспірації гарячих викидів і ефективної вентиляції.

Рукопис подано до редакції 22.03.13