

ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ПРИМІЩЕНЬ ПРИ ПРОВІТРЮВАННІ

Вступ. Для багатьох типів приміщень сучасні будівельні норми не передбачають влаштування припливних систем вентиляції. У такому випадку подача припливного повітря здійснюється неорганізовано через квартирки чи фрамуги вікон. При цьому, повітрообмін у приміщенні змінюється у широкому діапазоні значень, практично від нульового (при добре ущільнених вікнах), до величин, що можуть значно перевищувати нормативний повітрообмін (при провітрюванні) [1]. Змінний повітрообмін і подача не підігрітого зовнішнього повітря, у свою чергу, призводить до значного коливання температури у приміщенні.

У будівельних нормах [2] наводяться вимоги щодо теплостійкості приміщень при змінному режимі роботи системи централізованого опалення, при цьому ніяк не враховується коливання температури внаслідок провітрювання.

Існуючі методики розрахунку режимів охолодження-нагрівання приміщень також в більшості випадків або взагалі не враховують наявність повітрообміну, або враховують лише величину тепловтрат на нагрівання постійної кількості повітря, розглядаючи приміщення як замкнений паралелепіпед з заданими характеристиками теплопровідності огорожувальних конструкцій. При цьому не враховується, що холодне повітря, яке потрапляє у приміщення суттєво змінює умови теплообміну на внутрішній поверхні конструкцій.

У ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель» запропонована залежність для розрахунку амплітуди коливань температури повітря в приміщенні при оцінці теплостійкості в зимовий період [2]. Дана залежність не підходить для аналізу охолодження приміщення внаслідок провітрювання. Оскільки, вона, по-перше, використовує коефіцієнт теплопоглинання конструкцій, який характеризує погли-

нання теплоти конструкцією при коливанні температури повітря за *гармонійним* законом, по-друге, фактор повітрообміну враховується лише як складова, що впливає на величину тепловтрат приміщення.

Найбільш правильно розглядати дану задачу як задачу разового охолодження-нагрівання приміщення. Залежність що описує разове охолодження, відома як «рівняння Соколова» [3]. Але і ця формула враховує повітрообмін лише як складову питомих тепловтрат будівлі, а теплоакмулююча маса будівлі зібрана в одну величину, а отже не враховується розподіл температури у огорожувальних конструкціях.

Досить ґрунтовні дослідження теплового режиму приміщень при охолодженні-нагріванні приміщень наведені у роботі професора А.Ф. Строя [4]. В запропонованій методиці температура повітря визначається на основі рішення системи диференціальних рівнянь, що описують теплообмін внутрішнього повітря з огорожувальними конструкціями та теплообмін тих же конструкцій з зовнішнім повітрям. Але і ця методика не враховує вплив повітрообміну.

Мета статті. Існуючі методики визначення теплового режиму приміщень здебільшого не враховують вплив повітрообміну тому не можуть бути використані для аналізу температур повітря та внутрішніх поверхонь приміщення при провітрюванні. Мета даної роботи – розробити математичну модель яка б дала змогу визначити температуру внутрішнього повітря у приміщенні під час процесів охолодження та нагрівання внаслідок провітрювання. Виконати аналіз теплового режиму приміщення у залежності від інтенсивності та часу провітрювання.

Результати дослідження. Диференціальне рівняння, що описує температуру внутрішнього повітря можна записати у вигляді:

$$c_{\Pi} \cdot m_{\Pi} \frac{dt_{\Pi}(z)}{dz} = (t_{\text{ПРИП}} - t_{\text{ВИП}}(z)) \cdot L \cdot \rho \cdot c_{\Pi} \quad (1)$$

$$- \sum_{i=1}^n \alpha_{B,i}^K \cdot (t_{\Pi}(z) - t_i(0, z)) \cdot F_i + Q_{C.O.}$$

де c_n – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·К); m_{Π} – маса повітря у приміщенні, кг; z – час, с; $t_{\Pi}(z)$, $t_{\text{ПРИП}}$, $t_{\text{ВИП}}(z)$, $t_i(0, z)$ – температура, відповідно, внутрішнього, припливного та витяжного повітря і температура внутрішньої поверхні i -тої огорожувальної конструкції приміщення К, °С; L – повітрообмін у приміщенні, м³/с; ρ – густина повітря, кг/м³; F_i – площа i -тої внутрішньої поверхні приміщення, м²; $\alpha_{B,i}^K$ – коефіцієнт конвективного теплообміну на внутрішній поверхні i -тої конструкції, Вт/(м²·К); n – кількість огорожувальних конструкцій приміщення; $Q_{C.O.}$ – теплова потужність системи опалення, Вт.

Для спрощення розв’язку рівняння можна припустити що температура витяжного повітря і середня температура повітря у приміщенні однакові, тобто $t_{\text{ВИП}}(z) = t_{\Pi}(z)$.

Як видно з рівняння (1) для визначення температури повітря у приміщенні необхідно знати температури внутрішніх поверхонь всіх його огорожувальних конструкцій, які також будуть змінюватись при провітрюванні приміщення. Для знаходження цих температур необхідно розглянути систему рівнянь, що включає рівняння теплопровідності (2) сумісно з граничними умовами на внутрішній (3) та зовнішній поверхнях (4).

$$c(x) \cdot \rho(x) \frac{\partial t(x, z)}{\partial z} = \lambda(x) \frac{\partial^2 t(x, z)}{\partial x^2} \quad (2)$$

$$\alpha_B^K (t_{\Pi}(z) - t(0, z)) + \alpha_B^{\text{ПП}} \times (t_R(z) - t(0, z)) = -\lambda(x) \frac{\partial t(x, z)}{\partial x} \Big|_{x=0} \quad (3)$$

$$\alpha_3 (t(\delta, z) - t_3) = -\lambda(x) \frac{\partial t(x, z)}{\partial x} \Big|_{x=\delta} \quad (4)$$

де $c(x)$, $\rho(x)$, $\lambda(x)$ – відповідно, питома теплоємність, Дж/(кг·К); густина, кг/м³ та коефіцієнт теплопровідності матеріалу конструкції, Вт/(м·К); $t(x, z)$ – температура конструкції, К, °С; $t_R(z)$ – середньорадіа-

ційна температура поверхонь приміщення, по відношенню до поверхні конструкції, що розглядається; x – координата по осі перпендикулярній до внутрішньої поверхні конструкції (для кожної конструкції власна вісь x). $x=0$ – координата на внутрішній поверхні конструкції, $x=\delta$ – координата на зовнішній (по відношенню до приміщення, що розглядається) поверхні конструкції; $\alpha_B^{\text{ПП}}$ – коефіцієнт променевого теплообміну на внутрішній поверхні конструкції, Вт/(м²·К); α_3 – коефіцієнт теплообміну на зовнішній поверхні конструкції, Вт/(м²·К).

У рівнянні (3) окремо розглядається конвективна і променева складова теплообміну, оскільки швидкість зміни температури внутрішнього повітря і поверхонь огорож різна. Для визначення коефіцієнтів теплообміну можна скористатися рівняннями (5) та (6) [5].

$$\alpha_B^K = A \cdot \sqrt[3]{t_{\Pi}(z) - t(0, z)} \quad (5)$$

$$\alpha_B^{\text{ПП}} = \frac{C_0 \cdot \varepsilon_{\text{ПП}} \left[\left(\frac{t_R(z) + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t(0, z) + 273}{100} \right)^4 \right] \cdot \varphi_{i-R}}{t_R(z) - t(0, z)}, \quad (6)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від орієнтації конструкції, та напрямку теплового потоку; C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла; $\varepsilon_{\text{ПП}}$ – приведена ступінь чорноти; φ_{i-R} – коефіцієнт опромінення з i -тої поверхні до оточуючих поверхонь.

Сукупність рівнянь (1-6) та початкових умов складають систему рівнянь, вирішення якої дає можливість визначити температуру внутрішнього повітря, а також температуру на поверхнях всіх конструкцій приміщення та в їх товщі. Аналітичне вирішення такої системи якщо і можливе то досить складне. Значно простіше для її вирішення застосувати метод кінцевих різниць [6]. Крім того, при застосуванні зазначеного методу також досить просто задавати початкові умови.

Розглянемо результати розрахунків для рядового приміщення площею 20 м² і висотою 3 м. Приміщення має одну зовнішню стіну площею 9,3 м² з керамзитобетону з утепленням мінеральною ватою із зовнішньої сторони. Вікно площею 2,7 м² з двокамерним склопакетом. Внутрішні

перегородки цегляні, товщиною 120 мм – 42 м². Перекриття з залізобетонних пустотних панелей – 20 м². Для розрахунку тепловтрат прийнятий однократний повітрообмін. Розрахункова внутрішня температура складає 18 °С, зовнішня -23 °С. Загальні тепловтрати приміщення при цьому склали 1100 Вт. Початковий розподіл температури в товщі конструкцій визначений за стаціонарних умов.

На рис. 1 представлений графік зміни температур внутрішнього повітря та внутрішніх поверхонь конструкцій приміщення у часі. Під час провітрювання був прийнятий трьохкратний повітрообмін, протягом 12 хвилин. Як видно з графіка протягом перших 3-4 хвилин провітрювання відбувається швидке зниження температури внутрішнього повітря, температура ж внутрішніх поверхонь змінюється набагато менш інтенсивно за рахунок теплоакumuлюючої здатності конструкцій. При подальшому провітрюванні темп охолодження приміщення значно зменшується. Відновлення температури повітря до початкових значень відбувається протягом 6-7 хвилин після завершення провітрювання.

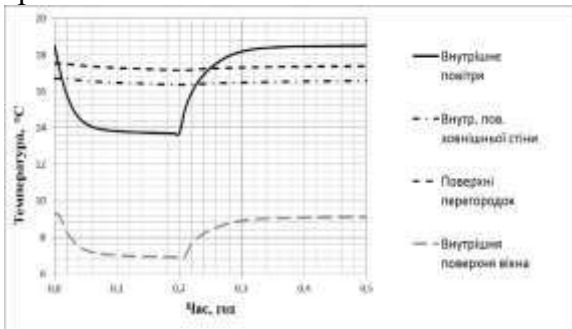


Рис. 1. Графік температур внутрішнього повітря та поверхонь приміщення при провітрюванні.

На рис. 2 представлений графік залежності температури повітря приміщення від часу та інтенсивності повітрообміну. З наведеного графіка можна зробити висновок про те, що хоча час повного відновлення температури до вихідних значень певною мірою залежить від інтенсивності та часу провітрювання, проте через 5-6 хвилин після його завершення різниця температур між різними варіантами становить менше 1 °С для 3-х кратного і 10-ти кратного повітрообміну. Водночас, час

повного відновлення температури повітря до початкових значень значно скорочується при зменшенні часу провітрювання. Так для 10-ти кратної інтенсивності провітрювання протягом трьох хвилин температура повітря відновлюється до початкової за приблизно 8-9 хв., а при тій же інтенсивності протягом 12 хв. відновлення триває понад годину.

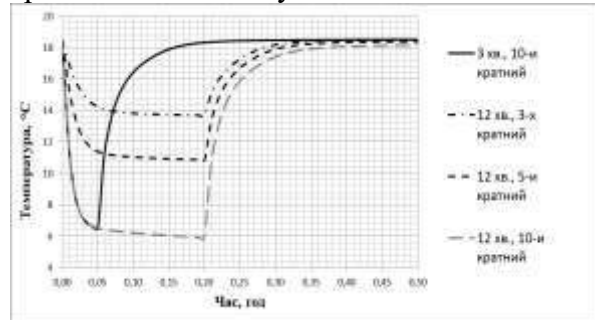


Рис. 2. Залежність температури внутрішнього повітря від інтенсивності та часу повітрообміну.

Висновки. Запропонована у роботі методика визначення охолодження-нагрівання приміщення дає можливість аналізувати його тепловий режим з урахуванням повітрообміну, що в свою чергу може бути використано для оптимізації режиму провітрювання. Водночас, для більш глибокого аналізу одержаних результатів дана робота потребує подальших досліджень у напрямку співставлення теплового режиму приміщення та якості повітря, а також у напрямі співставлення загальних енергетичних витрат для різних варіантів повітрообміну [7]. Крім того, з точки зору санітарних норм необхідно визначити допустиме зниження температури приміщення при провітрюванні і тривалість такого зниження.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Строй А.Ф. Зміна концентрації шкідливих речовин в приміщеннях при періодичній вентиляції / А.Ф. Строй, О.В. Макаренко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. – Вип. 56. – С. 233-237.
2. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінрегіонбуд, 2017.–33с.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – 5-е изд., перераб. / Е.Я. Соколов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.

4. Строй А.Ф. Управление тепловым режимом зданий и сооружений / А.Ф. Строй. – К.: Вища школа, 1993. – 155с.
5. Богословский В.Н. Строительная теплофизика / В.Н. Богословский. – М.: Стройиздат, 1970. – 375с.
6. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. – Издание 4-е, перераб. и доп. / К.Ф. Фокин. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.
7. Строй А.Ф. Економія теплової та електричної енергії при експлуатації систем вентиляції / А.Ф. Строй, О.В. Макаренко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. – Вип. 62. – С. 251-257.

Рецензент: д-р техн. наук Д.А. Єрмоленко

УДК 628.179.2

Назаренко О.М., Кузьменко А.А.
Запорізька державна інженерна академія

БЕНЧМАРКІНГ ДЖЕРЕЛ ЖИВИЛЬНОЇ ВОДИ

Вступ. Всі форми життєдіяльності взаємодіють з навколишнім середовищем різними шляхами. В результаті цього, комплексні екологічні структури розвиваються в рамках різної форми життя, взаємодіючи один з одним [1, 2]. За замовчуванням, планета Земля являє собою поверхню середовища у вигляді взаємодії біологічних процесів зі своїм оточенням в довгостроковому проміжку часу.

Останні дослідження. У дослідженнях проф. Епоєна С.М., проф. Пантелята Г.С., проф. Тарадай О.М., проф. Василенко О.А., проф. Константинова Ю.М., проф. Тугай А.М., Аргатенко Т.В. [5,6]. раніше піднімалися питання раціонального використання поверхневих вод, поточного контролю і прогнозування перспектив розвитку техногенного соціуму. Подібні дослідження актуальні на сьогоднішній день у зв'язку з тенденціями глобального потепління і загроз для територіальних громад.

Мета і завдання. Дана робота виконувалась у відповідності до вимог надійності систем водопостачання та забезпечення прогнозу сталості економічного розвитку країн та суспільства. Також враховані вимоги забезпечення сталості розвитку прісноводних ресурсів Міжнародної конференції по прісноводним ресурсам 2001 г. (м.Бонн), Саміт ООН «Цілі розвитку на тисячоліття» до 2015 г, програма WENAB (Water and Sanitation, Energy, Health, Agriculture, Biodiversity), Програми оцінки

водних ресурсів світу (ПОВРМ), Програма розробки «Інтегрованого управління водними ресурсами» (ІУВР), Всесвітній портал з водних ресурсів, Програми з навколишнього середовища ООН (UNEP), Програми Державного Агентства водних ресурсів України.

Мета роботи - Вивчення можливості раціонального використання всіх видів вод на підприємствах для повторного та багаторазового використання.

Завдання роботи – дослідження умов використання умовно чистих стічних вод для паропостачання виробництв.

Результати дослідження. Якість життя є важливим аспектом для всіх водокористувачів, будь то питного водопостачання, зрошення, промислового або бродильного процесу. Якість вхідної води (сировини) в технологічних процесах займає важливу роль, оскільки залежить від хімії води [3].

Водна хімія займає центральне місце в розумінні процесів життєзабезпечення, основні чинники з яких:

- джерела хімічних компонентів в поверхневій воді;
- важливі природні процеси, що відбуваються в атмосферних водах;
- новоутворення в хімічному складі ґрунтових вод в просторі і часі.

Одним із серйозних наслідків антропогенного впливу на водне джерело є забруднення стічними відходами, такими як: