

Рада України. – К.: Парламентське видавництво, 2005. – 25 с.

2.Оптимальное управление централизованными системами теплоснабжения с учетом транспортного запаздывания теплоносителя / С.Ю.Андреев, Ф.А.Стоянов, А.Ю.Андреев и др. – Харьков: Золотые страницы, 2006. – 144 с.

3.Шарапов В.И., Ротов П.В. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения – М.: Новости теплоснабжения, 2007. – 164 с.

4.Андрійчук Н.Д., Соколов В.И., Коваленко А.А., Дядичев К.М. Пути совершенствования систем теплоснабжения. – Луганск: СНУ им. Даля, 2003. – 244 с.

5.Бобух А.А., Ковалев Д.А. Разработка системы диагностики аварийных ситуаций объектов централизованного теплоснабжения // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.84. – К.: Техніка, 2008. – С.167-172.

6.Ковалев Д.А. Экономия тепловой энергии в системе централизованного теплоснабжения // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2009. – №4 (62). – С.63-69.

7.Ковалев Д.А. Некоторые аспекты экономии тепловой энергии в закрытой системе централизованного теплоснабжения // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2009. – №7 (65). – С.19-23.

Получено 25.12.2009

УДК 697.1 : 697.9

А.Ф.СТРОЙ, д-р техн. наук

Светокшинська політехніка, м.Кельце (Польща)

ОХОЛОЖДЕННЯ І НАГРІВАННЯ ПРИМІЩЕННЯ ПРИ ПЕРІОДИЧНІЙ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Розглядається процес охолодження і нагрівання приміщення при періодичній вентиляції. Одержано рівняння, яке дає можливість визначити температуру в приміщенні в будь-який момент часу при його охолодженні чи нагріванні.

Рассматривается процесс охлаждения и нагрева помещения при периодической вентиляции. Получено уравнение, позволяющее определить температуру в помещении в любой момент времени при его охлаждении или нагревании.

In the article the process of cooling and heating of apartment at periodic ventilation is considered. Equation which allows to define a temperature in an apartment at any moment of time at his cooling or heating is received.

Ключові слова: нагрівання приміщення, охолодження приміщення, періодична вентиляція, повітрообмін.

В школах, лікарнях, вищих і середніх навчальних закладах та інших громадських будинках, а також у житлових будинках досить часто зменшують концентрацію шкідливих речовин у приміщенні за рахунок провітрювання приміщення. При цьому відкривають квартиру у вікні, частину вікна, а можливо і двері. Провітрювання приміщення в холодний період року призводить до його охолодження. Після провітрювання приміщення нагрівається. Така вентиляція приміщень набула досить широкого розповсюдження. Але наукове й інженерне підґрун-

тя, яке необхідне для її проектування, на наш погляд, недостатнє. Перш за все необхідно визначити час, протягом якого потрібно провітрювати приміщення, залежно від його об'єму, зовнішньої температури, розмірів квартирки. Потрібно також знати періодичність провітрювання залежно від інтенсивності надходження шкідливих речовин і об'єму приміщення. Ці питання не вирішені, точніше не зовсім вирішені.

Потім треба, з гігієнічної точки зору, визначити, до якої температури можна охолоджувати приміщення. А з іншої необхідно мати інженерний апарат, тобто рівняння і методику розрахунку, яка б давала можливість визначити температуру повітря в приміщенні, при його охолодженні або нагріванні. Зміна температури в приміщенні відбувається за рахунок нестационарних процесів теплообміну. Дослідженням цих процесів присвячено багато наукових робіт. Рівняння, які в першому наближенні можна використати для розрахунку температури в приміщеннях будинку при його охолодженні чи нагріванні, наведено в роботах [1, 2]. Але ці рівняння не враховують вплив повітрообміну на зміну температури в приміщенні. При періодичній вентиляції приміщення фактор повітрообміну, на наш погляд, відіграє найбільш суттєву роль в процесах охолодження і нагрівання приміщення.

З метою одержання рівняння, яке буде характеризувати процес охолодження і нагрівання приміщення при періодичній вентиляції, з врахуванням повітрообміну, розглянемо приміщення, розташоване, наприклад, на середньому поверху (рис.1). В початковий період процес теплообміну в приміщенні стаціонарний. Квартирка у вікні і ґратка вентиляційного каналу закриті, тобто вентиляція приміщення відсутня. Рівняння теплового балансу для початкового періоду має вигляд:

$$Q_0 = \sum_{i=1}^n K_i \cdot F_i (t_B - t_3), \quad (1)$$

де Q_0 – тепловий потік, що надходить в приміщення від системи опалення, Вт; K_i – коефіцієнт теплопередачі для i -ї огорожувальної конструкції, Вт/(м²·°C); F_i – площа i -ї огорожувальної конструкції, м²; t_B – температура повітря в приміщенні, °C; t_3 – температура зовнішнього повітря, °C; n – кількість огорожувальних конструкцій, через які втрачається тепло.

Це рівняння характеризує той факт, що тепловий потік, який надходить до приміщення від системи опалення, дорівнює тепловтратам крізь огорожувальні конструкції.

Якщо відкрити квартиру у вікні і ґратку у вентиляційному каналі, то приміщення буде провітрюватись і одночасно охолоджуватись. Середня температура повітря в приміщенні буде знижуватись. Для визна-

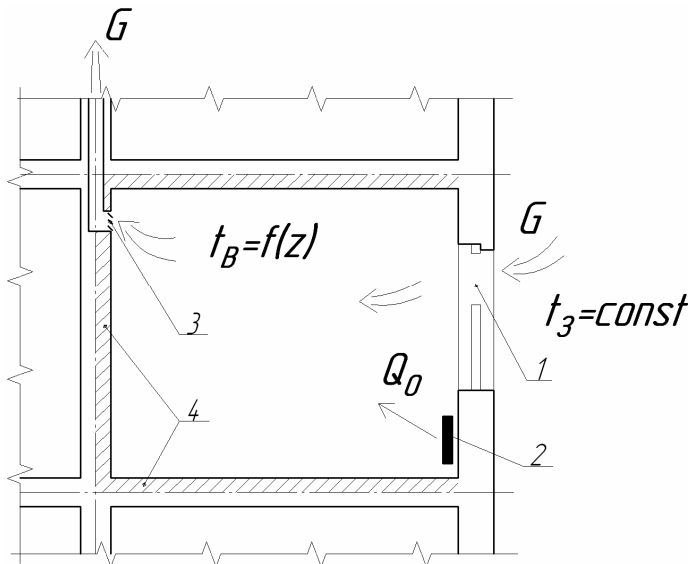


Рис.1 – Схема приміщення:

1 – квартира у вікні; 2 – опалювальний прилад; 3 – ґратка в витяжному вентиляційному каналі; 4 – теплоакумуюча маса стін і перекриття.

чення середньої температури в приміщенні складемо диференційне рівняння, яке характеризуватиме процес охолодження або нагрівання приміщення. Це рівняння має вигляд:

$$c \cdot G \cdot t_3 \cdot dz + Q_{\text{явн}} \cdot dz - c \cdot G \cdot t_B \cdot dz - \sum_{i=1}^n K_i \cdot F_i (t_B - t_3) \cdot dz + Q_0 \cdot dz = \\ = \sum_{i=1}^m c_i^{cm} \cdot m_i^{cm} \cdot dt_i^{cm} + \sum_{i=1}^k c_i^{nep} \cdot m_i^{nep} \cdot dt_i^{nep}, \quad (2)$$

де c – теплоємність повітря, $c = 1$ кДж/(кг·°С); G – масова витрата зовнішнього повітря, що потрапляє у приміщення через квартиру або відводиться з приміщення через ґратку вентиляційного каналу, кг/с; t_3 – температура зовнішнього повітря, °С; dz – елементарний проміжок часу, с; $Q_{\text{явн}}$ – явний тепловий потік, який надходить до приміщення внаслідок технологічного процесу, від людей чи побутового обладнання, Вт; c_i^{cm} , m_i^{cm} – відповідно теплоємність, кДж/(кг·°С), і маса, кг, матеріалу i -го конструктивного шару зовнішньої стіни; t_i^{cm} – середня температура i -го конструктивного шару зовнішньої стіни, °С; m – кількість конструктивних шарів у зовнішній стіні; c_i^{nep} , m_i^{nep} – відповідно

теплоємність, кДж/(кг·°C) і маса, кг, матеріалу з якого виконані внутрішні стіни або перекриття в приміщенні, а також теплоємність і маса меблів і обладнання, які знаходяться в приміщенні; t_i^{nep} – середня температура внутрішніх стін, меблів і обладнання в приміщенні, °C; K – загальна кількість внутрішніх стін, груп меблів і обладнання приміщення.

Інші умовні позначення в рівнянні (2) такі ж, як і в рівнянні (1). Щоб визначити, як змінюється температура повітря в приміщенні залежно від часу, тобто щоб визначити функцію $t_B = f(z)$, необхідно проінтегрувати диференціальне рівняння (2). Але в такому вигляді як воно представлено це неможливо зробити. Якщо прийняти, що параметри $c, G, t_3, Q_{явн}, K, F_i, Q_0, c_i^{cm}, m_i^{cm}, c_i^{nep}, m_i^{nep}$ є постійними величинами і не змінюються у часі, то t_i^{cm} і t_i^{nep} за рахунок процесів теплообміну будуть змінюватись у часі. Таким чином, диференціальне рівняння (2), крім невідомої функції $t_B = f(z)$, яку потрібно визначити, має ще ряд невідомих функцій, наприклад, для i -го шару зовнішньої стіни і i -го внутрішньої стіни $t_i = f_1(z)$ і $t_i = f_2(z)$. Тому, щоб вирішити диференціальне рівняння (2), введемо наступні спрощуючі передумови.

1. У першому наближенні прийемо, що середня температура внутрішніх стін або перекриття, а також меблів і обладнання в будь-який момент часу дорівнює середній температурі повітря у приміщенні, тобто $t_i^{nep} = t_B$, тоді

$$dt_i^{nep} = dt_B. \quad (3)$$

Введення такої спрощуючої передумови можна обґрунтувати тим, що приміщення охолоджується або нагрівається як одне ціле.

2. Багат шарову зовнішню стінку замінимо одношаровою при умові, що буде виконуватися рівність

$$\sum_{i=1}^n c_i^{cm} \cdot m_i^{cm} = c^{cm} \cdot m^{cm}, \quad (4)$$

і прийемо, що швидкість зміни середньої температури окремих шарів дорівнює швидкості зміни середньої температури одношарової еквівалентної стінки (стінка охолоджується або нагрівається як одне ціле)

$$\frac{dt_i^{cm}}{dz} = \frac{dt_{cm}}{dz}, \quad (5)$$

де t_{cm} – середня температура еквівалентної одношарової зовнішньої стінки, яку можна визначити за допомогою виразу

$$t_{cm} = (t_B + t_3) / 2. \quad (6)$$

На основі рівняння (6) маємо, що

$$dt_{cm} = \frac{dt_B}{2}. \quad (7)$$

З урахуванням виразів (4), (5) і (7) диференціальне рівняння (2) можна переписати у вигляді:

$$\begin{aligned} c \cdot G \cdot t_3 \cdot dz + Q_{явн} \cdot dz - c \cdot G \cdot t_B \cdot dz - \sum_{i=1}^n K_i \cdot F_i(t_B - t_3) \cdot dz + Q_0 \cdot dz = \\ = c^{cm} \cdot m^{cm} \cdot \frac{dt_B}{2} + \sum_{i=1}^k c_i^{nep} \cdot m_i^{nep} \cdot dt_B. \end{aligned} \quad (8)$$

Таким чином, за рахунок введення спрощуючих передумов диференціальне рівняння (2) приведено до вигляду (8). Останнє рівняння має невідому функцію $t_B = f(z)$, яку можна визначити в результаті інтегрування цього рівняння.

В той же час, слід відмітити деяку некоректність загального вигляду рівняння (8), тому що диференціальне рівняння описує нестационарний процес, а, наприклад, коефіцієнт теплопередачі, який входить до цього рівняння, характеризує тільки стаціонарні процеси.

Але, як показують дослідження [3], при зміні теплових режимів досить близьких до стаціонарного, використання в розрахунках коефіцієнту теплопередачі не вносить суттєвої помилки в результати розрахунків.

Щоб проінтегрувати рівняння (8), виконаємо деякі математичні перетворення. Перепишемо це рівняння у вигляді:

$$\begin{aligned} c \cdot G \cdot t_3 + Q_{явн} - c \cdot G \cdot t_B - \sum_{i=1}^n K_i \cdot F_i \cdot t_B + \sum_{i=1}^n K_i \cdot F_i \cdot t_3 + Q_0 = \\ = \left(\sum_{i=1}^m c_i^{cm} \cdot m_i^{cm} / 2 + \sum_{i=1}^k c_i^{nep} \cdot m_i^{nep} \right) \frac{dt_B}{dz} \end{aligned} \quad (9)$$

або

$$\begin{aligned} \left(c \cdot G + \sum_{i=1}^n K_i \cdot F_i \right) t_3 + Q_{явн} - \left(c \cdot G + \sum_{i=1}^n K_i \cdot F_i \right) t_B + Q_0 = \\ = \left(\sum_{i=1}^m c_i^{cm} \cdot m_i^{cm} / 2 + \sum_{i=1}^k c_i^{nep} \cdot m_i^{nep} \right) \frac{dt_B}{dz}. \end{aligned} \quad (10)$$

Позначимо $\sum_{i=1}^m c_i^{cm} \cdot m_i^{cm} / 2 + \sum_{i=1}^k c_i^{nep} \cdot m_i^{nep} = C_{np}$, а параметр

$c \cdot G + \sum_{i=1}^n K_i \cdot F_i = K_{np} \cdot C_{np}$ – характеризує теплоємність приміщення,

яке охолоджується або нагрівається, а K_{np} – тепловтрати приміщення і витрати тепла на нагрівання повітря при провітрюванні приміщення. З врахуванням цих позначень рівняння (10) має вигляд:

$$K_{np} \cdot t_3 + Q_{явн} - K_{np} \cdot t_B + Q_0 = C_{np} \frac{dt_B}{dz}. \quad (11)$$

Щоб проінтегрувати рівняння (11), введемо ще одне позначення, зокрема ліву частину рівняння (11) позначимо

$$K_{np} \cdot t_3 + Q_{явн} - K_{np} \cdot t_B + Q_0 = \Theta, \quad (12)$$

де Θ – функція, яка залежить від часу. На основі рівняння (12) маємо

$$\frac{d\Theta}{dz} = -K_{np} \frac{dt_B}{dz} \quad \text{або} \quad \frac{dt_B}{dz} = \frac{1}{-K_{np}} \frac{d\Theta}{dz}. \quad (13)$$

З урахуванням позначення (12) і виразу (13) диференціальне рівняння (11) перепишемо у вигляді:

$$\Theta = -\frac{C_{np}}{K_{np}} \frac{d\Theta}{dz}. \quad (14)$$

Розділимо величини, які змінюються, і проінтегруємо рівняння (14), одержимо

$$\int_0^z dz = -\frac{C_{np}}{K_{np}} \int_{\Theta_0}^{\Theta} \frac{d\Theta}{\Theta}. \quad (15)$$

Після інтегрування маємо

$$\Theta = \Theta_0 \cdot e^{-\frac{K_{np}}{C_{np}} z}. \quad (16)$$

Після підстановки позначень Θ і Θ_0 отримаємо

$$t_B = \frac{K_{np} \cdot t_3 + Q_{явн} + Q_0}{K_{np}} - \frac{K_{np} \cdot t_3 + Q_{явн} - K_{np} \cdot t_B|_{z=0} + Q_0}{K_{np} \cdot e^{-\frac{K_{np}}{C_{np}} z}}. \quad (17)$$

Останнє рівняння дає можливість визначити температуру повітря в приміщенні при його охолодженні або нагріванні в будь-який момент часу. Рівняння можна використати для розрахунку змін температури у приміщенні при його нагріванні. Теплоакумуючу масу внутрішніх стін або перекриття, при розрахунках слід визначати як частину внутрішньої стіни відносно її осі (рис.1). Іншими словами, частина

внутрішньої стіни відноситься до приміщення, для якого виконуються розрахунки, а друга частина, відносно осі, до суміжного приміщення.

Приклад. Розрахуємо зниження температури у приміщенні спортзалу при періодично працюючій системі вентиляції. Розміри спортзалу $48 \times 30 \times 12$ м. Площа зовнішніх стін $F_{з.ст} = 1325$ м², покриття $F_{пер} = 1440$ м², вікна $F_{вік} = 225$ м². Маса зовнішніх стін та покриття $m_{з.ст.} = 23500$ кг. Коефіцієнти теплопередачі $K_{з.ст} = 0,34$ Вт/(м²·°C), $K_{пер} = 0,23$ Вт/(м²·°C), $K_{вік} = 2,4$ Вт/(м²·°C). Площа внутрішніх стін з повнотілої цегли $F_{в.ст} = 369$ м². Маса внутрішніх стін та покриття $m_{в.ст.} = 169374$ кг. $Q_{явн} = 5$ кВт, $Q_0 = 80$ кВт, $t_3 = -23^\circ\text{C}$, $t_B = 16^\circ\text{C}$. Витрати вентиляційного повітря $G = 2800$ кг/год.

$$C_{np} = \frac{840 \cdot 23500}{2} + 880 \cdot 169374 = 158919000 \text{ Дж/}^\circ\text{C}.$$

$$K_{np} = 1005 \cdot \frac{3000}{3600} + 1325 \cdot 0,34 + 1440 \cdot 0,23 + 225 \cdot 2,4 + 312 \cdot 0,46 + \\ + 264 \cdot 0,23 + 232 \cdot 0,12 + 648 \cdot 0,07 = 2436 \text{ Вт/}^\circ\text{C}.$$

Температура у приміщенні через 1 годину з початку провітрювання (рис.2)

$$t_B = \frac{2436 \cdot (-23) + 5000 + 80000}{2436} - \frac{2436 \cdot (-23) + 5000 - 2436 \cdot 16 + 80000}{2436 \cdot e^{\frac{2436}{158919000} \cdot 3600}} = \\ = 15,78^\circ\text{C}.$$

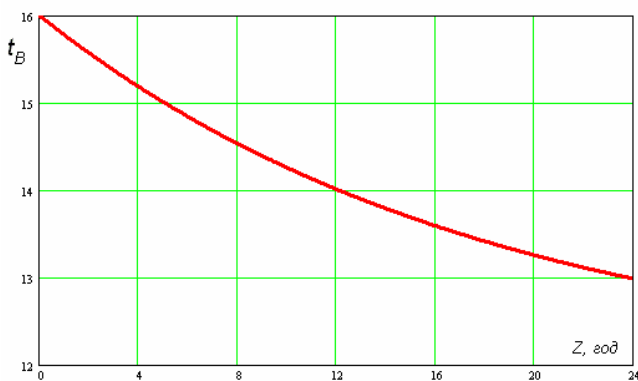


Рис.2 – Графік зміни температури у приміщенні протягом доби

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.
2. Строй А.Ф., Пиотровски Е.З. Основы расчетов управления тепловым и воздушным режимом помещений. – Полтава: ПолтНТУ, 2008. – 171 с.
3. Хацкевич Ю.В. Численное моделирование температурных режимов помещений с системами воздушно-лучистого отопления // Науковий вісник НГУ. Вип.2. – 2006. – С.81-84.

Отримано 15.02.2010

УДК 531.3

А.А.УСЫК, И.Л.ДЕРКАЧ, Э.А.ШИШКИН

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАССОПЕРЕНОСА СЕРОВОДОРОДА В СИСТЕМЕ «ГАЗ – ЖИДКОСТЬ»

Определены факторы, влияющие на массоперенос сероводорода в газовую среду. Представлены результаты исследования закономерностей массопереноса сероводорода в системе «газ – жидкость». Получено уравнение для расчета интенсивности массопереноса сероводорода из жидкой фазы в подводящее пространство канализационного коллектора.

Визначено фактори, що впливають на масоперенос сірководню у газове середовище. Представлено результати досліджень закономірностей масопереносу сірководню в системі «газ – рідина». Отримано рівняння для розрахунку інтенсивності масопереносу сірководню із рідинної фази у підводячий простір каналізаційного колектора.

The factors influencing on weight carrying over of hydrogen sulphide in the gas environment are defined. Results of research of laws weight carrying over of hydrogen sulphide in system «gas – liquid». The equation for intensity calculation weight carrying over of hydrogen sulphide from a liquid phase in the top space of a sewer collector is received.

Ключевые слова: массоперенос, система, интенсивность, сточная вода, газовая среда.

Проблемы устойчивого жизнеобеспечения городов неразрывно связаны с эксплуатацией коллекторов глубокого заложения, являющихся дорогостоящими сооружениями канализации. В связи с этим актуальными являются вопросы повышения их надежности и долговечности.

Процесс транспортировки сточных вод в сетях канализации сопровождается выделением вредных газов, разрушающих свод коллектора и сокращающих срок их службы. Именно поэтому вопрос неоднократно рассматривался как научно-исследовательскими, так и эксплуатационными организациями и в специальной литературе [1-3].

На стадии проектирования, а также в процессе эксплуатации предусматриваются мероприятия, направленные на снижение выделений вредных газов.