

№2. – С. 13 – 18. 2. Майстренко А.Ю. Топал А.І. Екологічно чисті вугільні технології. – К.: Наукова думка, 2004. – 186 с. 3. Фальбе Ю. Химические вещества из угля. – М.: Химия, 1980. – 516 с. 4. Трошенякін В.Б. Електрохімічна газифікація вугілля // Енерготехнології та ресурсозбереження. – 2009. – №5. – С. 9 – 16. 5. Rostrup-Nielsen J.R. High temperature methanation: Sintering and structure sensitivity // Catalysis. – 2007. – Vol. 330. – P. 134 – 138. 6. Румар Т.І. Дюмін Д.С. Оптимальної температури свіжої пари термодинамічного циклу ПГУ – 182 // ЕРЕС. – 2011. – №3. – С.130 – 131.

УДК 621.311

М.А. Мартиняк, Й.С. Мисак
Національний університет “Львівська політехніка”

УЗАГАЛЬНЕНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ПРИМІЩЕННЯ ТА СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БУДИНКУ

© Мартиняк М.А., Мисак Й.С., 2013

Розв’язано актуальну наукову задачу, що полягає у розробленні математичної моделі теплового режиму приміщення та системи теплопостачання будинку з врахуванням теплообміну на зовнішніх огорожуючих конструкціях та на теплопередаючих поверхнях.

Ключові слова: теплопередача, ізольований трубопровід, кількість теплоти, система теплопостачання, математична модель.

The paper solved an actual scientific problem that is developing mathematical models of thermal treatment facilities and home heating systems, taking into account heat transfer to the external envelope and the heat transfer surfaces.

Key words: heat, insulated pipe, the amount of heat supply system, the mathematical model.

Актуальність досліджень

Створення необхідного теплового комфорту в приміщеннях різного призначення, для забезпечення нормальних умов життя і діяльності людини, вимагає виробництва і транспортування великої кількості теплової енергії. Структура забезпечення теплотою житлових будинків в Україні відбувається за рахунок використання природного газу, екологічно чистих палив. Індивідуальні джерела теплоти поступово замінюються котлами іншого, прогресивнішого типу. Проте, цей процес є довготривалим, він вимагає значних фінансових витрат і послідовної проєкологічної політики. Сьогодні режим роботи системи теплопостачання диктується умовами функціонування об’єктів теплоспоживання: змінними втратами теплоти в навколишнє середовище через огорожуючі конструкції будівель, режимом споживання гарячої води населенням та умовами експлуатації технологічного устаткування.

Мета та задача досліджень

Метою дослідження є розроблення математичної моделі теплового режиму приміщення та системи теплопостачання будинку з врахуванням зовнішніх та внутрішніх параметрів будівель. Задачею є математичне дослідження теплообміну на зовнішніх огорожуючих конструкціях та на теплопередаючих поверхнях.

Об'єкт дослідження

Система теплопостачання будинку з застосуванням теплової помпи і сучасних газових водогрійних котлів.

Вступ

Результати експериментальних досліджень показників теплової надійності конструкцій, що забезпечують теплоізоляцію нових будинків та будинків під час реконструкції, свідчать про необхідність удосконалення системи проектування таких конструкцій, яка повинна бути спрямована на забезпечення необхідних характеристик енергоефективності та теплової надійності. Для цього математична модель формування теплового режиму приміщень повинна включати можливість оцінки температурного стану приміщень з урахуванням особливостей його формування внаслідок процесів теплообміну та енергетичної взаємодії з навколишнім середовищем.

Отримані результати

Температурний режим опалювального приміщення формується внаслідок сукупного впливу метеорологічних умов (температури зовнішнього повітря t_z , швидкості вітру v , інтенсивності сонячної радіації) та побутово-технологічних надходжень $Q_{\text{поб}}$. Задача полягає в тому, щоб визначити закон зміни температури повітря у приміщенні t_v і внутрішніх поверхонь огорожень $t_{\text{огор}}$ залежно від зазначених факторів з урахуванням роботи опалювальних приладів.

Характерною особливістю сучасних будівель є велика різноманітність конструкцій і широкий діапазон їх роботи. До конструктивних особливостей будівель, які визначають теплові якості приміщення, належать:

- розміщення і геометричні розміри будівлі;
- коефіцієнт повітропроникності вікон і огорожень;
- спосіб вентиляції будівлі, теплофізичні якості огорожень.

При розробці математичної моделі теплового режиму приміщення були вибрані приміщення сучасної забудови, та прийняті такі спрощення:

- у всіх приміщеннях будівлі підтримується тепловий режим, аналогічний розрахунковому;
- температура повітря в кожний конкретний момент часу є однаковою у всьому об'ємі приміщення;
- температура на внутрішній поверхні зовнішнього та внутрішнього огороження залишається в кожний конкретний момент часу постійною;
- теплофізичні якості матеріалу огорожень не змінюються із зміною температури;
- температура повітря вздовж опалювального приладу однакова;
- у приміщенні діє природна вентиляція.

Система теплопостачання є сукупністю великої кількості теплообмінних пристроїв, об'єднаних у єдину систему генерації, транспортування, відпуску теплоти, і може бути представлена у вигляді єдиної структурної схеми. Основними елементами системи, динамічні характеристики якої найбільше впливають на режим її роботи, є такі:

- зовнішні огороження приміщення;
- ізольовані теплопроводи;
- опалювальні прилади та неізольовані теплопроводи;
- радіаційні поверхні нагрівання котлів;
- водоводяні підігрівачі, повітрянагрівачі, конвективні поверхні нагрівання котлів, теплообмінники.

Елементи системи теплопостачання відрізняються за:

- способом передавання теплоти (конвекцією теплопровідністю, випромінюванням);
- фізичними властивостями теплоносіїв (газ, рідина, двофазний теплоносій);
- конструктивним виконанням (прямотечія, протитечія, перехресна течія).

Крім того, умови експлуатації, теплові та гідравлічні режими впливають на динамічні властивості елементів, які у зв'язку з цим не підтримуються на сталому рівні.

Для математичного опису теплових процесів, що відбуваються в елементах системи теплопостачання і опалення, найдоцільніше використовувати аналітичний метод, який базується на фізичній суті процесів, що відбуваються в елементах системи теплопостачання. Врахування стохастичних факторів, які впливають на режим роботи системи, найдоцільніше проводити експериментально з використанням методів статистичного опрацювання результатів досліджень.

Якщо розглядати систему теплопостачання і опалення як сукупність тепломасообмінних елементів, тоді початковим рівнянням для побудови математичної моделі системи буде рівняння, яке описує швидкість зміни температури середовища залежно від загальної кількості теплоти, що передається різними шляхами:

$$m dt = Q_k + Q_\lambda + Q_{\text{вун}} + Q_\phi + Q_m \quad (1)$$

де $m = \rho \cdot V$ – маса середовища; $t = (t_1, t_2 \dots t_i)$ – температура поверхні тіла або теплоносія;

$Q_k = \pm \sum_{i=1}^n \alpha_i A_i (t_i - t_{i-1})$ – сумарна кількість підведеної (відведеної) теплоти конвекцією;

$Q_\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i A_i \frac{\partial^2 t_i}{\partial x_i^2}$ – сумарна кількість підведеної (відведеної) теплоти теплопровідністю;

$Q_{\text{вун}} = \sum_{i=1}^n A_i q_i(\tau)$ – сумарна кількість підведеної (відведеної) теплоти випромінюванням;

$Q_\phi = \sum_{i=1}^n K_\phi A_i (t_i - t_{i-1})$ – сумарна кількість підведеної (відведеної) теплоти за рахунок інфільтрації;

Q – джерело теплоти, зміна параметрів якого може бути задана будь-яким законом.

Після підстановки відповідних значень у праву частину рівняння (1) будемо мати систему диференціальних рівнянь для кожного елемента системи теплопостачання. Спершу розглянемо їх для зовнішніх огорожень приміщення (рис. 1).

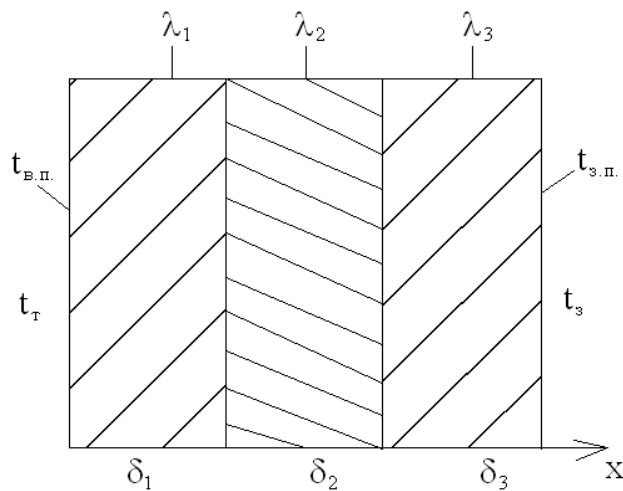


Рис. 1. Зовнішні огороження приміщення

Диференційні рівняння:

$$\frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} = \alpha_1 \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial t_2(x, \tau)}{\partial \tau} = \alpha_2 \frac{\partial^2 t_2(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (3)$$

$$\frac{\partial t_3(x, \tau)}{\partial \tau} = \alpha_3 \frac{\partial^2 t_3(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (4)$$

Граничні умови:

$$\left. \frac{\partial t_1}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{\alpha_6}{\lambda_1} (t_{36} - t_{вн.о}) \quad (5)$$

$$\left. \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot \frac{\partial t_1}{\partial x} \right|_{x=\delta_1} = \left. \frac{\partial t_2}{\partial x} \right|_{x=\delta_2} \quad (6)$$

$$\left. \frac{\lambda_2}{\lambda_3} \cdot \frac{\partial t_2}{\partial x} \right|_{x=\delta_2} = \left. \frac{\partial t_3}{\partial x} \right|_{x=\delta_2} \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial t_3}{\partial x} \right|_{x=\delta_3} = -\frac{\alpha_3}{\lambda_3} (t_3 - t_6) + \frac{q_3}{\lambda_3} \quad (8)$$

$$t_1|_{x=\delta_1} = t_2|_{x=\delta_2}$$

$$t_2|_{x=\delta_1} = t_3|_{x=\delta_2} \quad (9)$$

Систему диференціальних рівнянь для внутрішніх огорожень приміщення наведено на рис. 2.

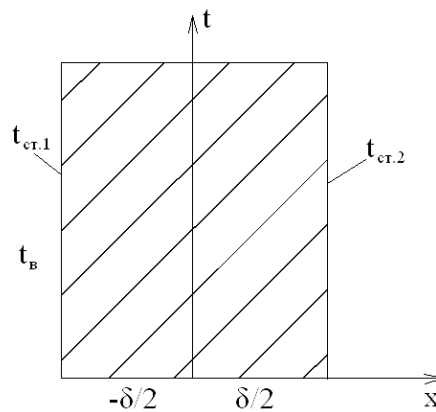


Рис. 2. Внутрішні огороження приміщення

Диференційне рівняння:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (10)$$

Граничні умови:

$$\left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=\frac{\delta}{2}} = -\frac{\alpha_6}{\lambda} (t_6 - t_{ст.п}) + \frac{q}{\lambda} \quad (11)$$

$$\left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=-\frac{\delta}{2}} = \frac{\alpha_3}{\lambda} (t_в - t_{ст.п}) + t_{вх} \quad (12)$$

$$\left. \frac{\partial t}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad \text{— умова симетричного теплообміну} \quad (13)$$

Диференційне рівняння розрахунку об'єму повітря в приміщенні :

$$c_в \cdot V_в \frac{\partial t_в(\tau)}{\partial \tau} = Q_{он}(\tau) + Q_{інс}(\tau) + Q_{ноб}(\tau) - \alpha_6 A_{вн} (t_6 - t_{ст.п}) - \alpha_6 A_{вн} (t_6 - t_{ст.вн}) - \alpha_6 A_{вік} (t_6 - t_{вік.вн}) - k_{ф} A_{ф} (t_6 - t_{із}) \quad (14)$$

Система диференціальних рівнянь для ізоляційного трубопроводу (рис.3):

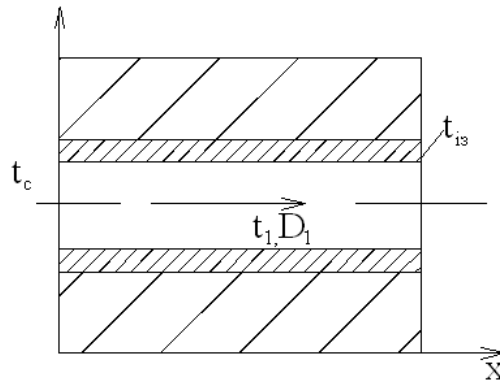


Рис.3. Ізольований трубопровід

Диференційні рівняння:

$$c_1 m_1 \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} + c_1 D_1 \ell \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial x} = \alpha_1 A_1 (t_c - t_1) \quad (15)$$

$$\frac{\partial t_c(y, \tau)}{\partial \tau} = \alpha_c \frac{\partial^2 t_c(y, \tau)}{\partial y^2} \quad 0 \leq y \leq \delta_1 \quad (16)$$

$$\frac{\partial t_{i3}(y, \tau)}{\partial \tau} = \alpha_{i3} \frac{\partial^2 t_{i3}(y, \tau)}{\partial y^2} \quad 0 \leq y \leq \delta_2 \quad (17)$$

Граничні умови:

$$\left. \frac{\partial t_c}{\partial y} \right|_{y=0} = -\frac{\alpha_1}{\lambda_c} (t_1 - t_c) \quad (18)$$

$$t_c|_{y=-\delta_1} = t_{i3}|_{y=\delta_1} \quad (19)$$

$$\left. \frac{\lambda_c}{\lambda_{i3}} \frac{\partial t_c}{\partial y} \right|_{y=\delta_1} = \left. \frac{\partial t_{i3}}{\partial y} \right|_{y=\delta_1} \quad (20)$$

$$\left. \frac{\partial t_{i3}}{\partial y} \right|_{y=\delta_2} = -\frac{\alpha_2}{\lambda_{i3}} (t_{i3} - t_3(\tau)) \quad (21)$$

Диференційні рівняння для опалювальних приладів та неізольованих трубопроводів:

$$c_1 m_1 \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} + c_1 D_1 \ell \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial x} = \alpha_1 A_1 (t_c - t_1) \quad (22)$$

$$c_c m_c \frac{\partial t_c(x, \tau)}{\partial \tau} = \alpha_1 A_1 (t_c - t_1) - \alpha_2 A_2 (t_c - t_e) \quad (23)$$

$$c_e m_e (t_e'' - t_e') + \alpha_2 A_2 \int_0^l (t_c - t_e) dx = \frac{dQ(\tau)}{d\tau} \quad (24)$$

Граничні умови:

$$x=0; t_1(x, \tau) = t_1'; x=l; t_1(x, \tau) = t_1'' \quad (25)$$

Рівняння, які складають математичну модель, можна розв'язати з достатньо високою точністю за допомогою комп'ютера. Але навіть коли розв'язок моделі буде отримано, використовувати його для керування діючими системами теплопостачання і опалення складно через невідповідність конструктивних особливостей існуючих систем експлуатаційним вимогам.

Режими відпуску теплової енергії у діючих системах не гнучкі і не піддаються маневруванню, вони не можуть враховувати різноманітні зовнішні впливи на їх роботу, не забезпечують можливості програмованої зміни температури повітря в приміщеннях, не передбачають паралельну

роботу декількох джерел теплоти в загальній тепловій мережі. Традиційні системи опалення і теплопостачання здебільшого обладнані елеваторними схемами приєднання, які не піддаються точному регулюванню, а також системами опалення, які практично унеможливають індивідуальне поквартирне автоматичне регулювання теплових режимів приміщень.

Враховуючи це, можемо зробити висновок про те, що використання математичної моделі системи теплопостачання може бути ефективним для нових систем, які проектують з урахуванням сучасних вимог.

Визначальним для аналізу динаміки теплообмінних процесів в опалювальних приладах є модель розповсюдження теплоти від гарячого елемента до холодного. Ці процеси є дуже складними і істотно відрізняються залежно від виду теплообміну.

Для складання диференційного рівняння теплового балансу охарактеризуємо довільний елементарний шар теплообмінного приладу, який має товщину Δx .

Рівняння теплового балансу записується у вигляді:

$$\Delta Q_x + \Delta Q_A + \Delta Q_w = 0 \quad (26)$$

де ΔQ_x – різниця кількості теплоти, яка проходить через шар товщиною x та $x+\Delta x$; ΔQ_A – приріст кількості теплоти, акумульованої в елементарному шарі; ΔQ_w – кількість теплоти, що надходить від елементарної поверхні теплообміну.

Значення змінної Q_x є сумою кількості теплоти, яка принесена гарячою водою з трубки теплообмінника Q_v , теплоти переданої від стінок приладу до повітря приміщення $Q_{\lambda s}$:

$$Q_x = Q_v + Q_{\lambda w} + Q_{\lambda s} \quad (27)$$

Кількість теплоти, принесеної гарячою водою, можна розрахувати так:

$$Q_v = f_w \cdot v \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot t \cdot \Delta \tau \quad (28)$$

де f_w – площа поперечного перерізу трубок теплообмінника, m^2 ; ρ_w , c_w – густина та питома теплоємність води; t – температура гарячої води.

Кількість теплоти, переданої від гарячої води до стінок теплообмінника $Q_{\lambda w}$ і від теплообмінника – повітря приміщення, становить $Q_{\lambda s}$:

$$Q_{\lambda w} = -f_w \cdot \lambda_w \frac{\partial t}{\partial x} \Delta \tau \quad (29)$$

$$Q_{\lambda s} = -f_s \cdot \lambda_s \frac{\partial t}{\partial x} \Delta \tau \quad (30)$$

де λ_w – коефіцієнт теплопровідності води; f_s – площа поперечного перерізу каналів теплообмінника; λ_s – коефіцієнт теплопровідності матеріалу труби теплообмінника.

Висновки

1. Для забезпечення нормованих чи заданих умов мікроклімату в приміщеннях будинку необхідно розглядати будівлю, як єдину енергетичну систему, спільно враховуючи математичні залежності і зв'язок між теплопостачанням системи опалення, вентиляції, водопостачання і теплотехнічними властивостями зовнішніх огорожувальних конструкцій.

2. Характер енерговитрат та енергозабезпечення будинку визначається рівнянням теплового, повітряного та вологісного балансу будинку, внутрішніх та зовнішніх поверхонь огорожувальних конструкцій, джерел надходження теплоти.

3. Рівняння, які складають математичну модель теплового будинку, найбільшою мірою ефективно можна використовувати під час проектування теплозабезпечення нових будинків з врахуванням сучасних технологій і джерел теплової енергії.

1. Янко П.І., Мисак Й.С. *Режими експлуатації енергетичних котлів.* – Львів: НВФ „Українські технології”, 2004 – 271 с. – Монографія. 2. Дубовой В. М., Кабачій В. В., Паночішин Ю. М. *Контроль та керування в мережах теплопостачання: Монографія.* – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 190 с. 3. Лабай В. Й. *Тепломасообмін / В. Й. Лабай.* – Львів: Триада-Плюс, 1998. – 255 с.