

УДК 631.22

Штиленко В.П.,  
Державне госпрозрахункове підприємство - Сертифікаційний  
випробувальний центр опалювального обладнання, м. Київ

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА МЕТОДИКА ІНЖЕНЕРНОГО РОЗРАХУНКУ ДИНАМІКИ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ ПРИМІЩЕННЯ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ РЕГУЛЮВАННІ СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ**

*Запропоновано математичну модель та методику інженерного розрахунку динаміки теплового режиму приміщення, для застосування в індивідуальному автоматичному регулюванні системи водяного опалення з програмним управлінням.*

Для досягнення максимальної енергоефективності при автоматичному регулюванні системи водяного опалення з програмним управлінням [1], важливо враховувати динамічні властивості опалюваного приміщення.

Ціллю даної статті є розрахунок та складання алгоритму зміни швидкості температури повітря в приміщенні при його регулюванні, враховуючи інерційність приміщення, інерційність опалювальних приладів та температуру зовнішнього повітря. Це необхідно для програмування контролера автоматичного регулювання системи опалення, щоб завчасно збільшити подачу кількості теплоносія в опалювальні прилади, відповідно підвищуючи температуру повітря в приміщенні до заданої, перед приходом людей чи після нічного режиму, або навпаки, передчасно знизити подачу кількості теплоносія в опалювальні прилади, для відповідного зниження температури повітря в приміщенні перед нічним режимом або перед відходом людей, в той же час утримуючи деякий період часу задану температуру за рахунок теплової інерційності приміщення та опалювальних приладів. Для виконання цієї функції автоматичну систему регулювання необхідно комплектувати датчиком температури зовнішнього повітря.

Розглянемо математичну модель динаміки системи опалення з герметично замкнутим контуром теплоносія. Нагріта вода поступає на обігрів приміщень по традиційній схемі водяного опалення (подавальний стояк, опалювальні прилади, зворотний стояк, циркуляційний насос).

Динаміка досліджуваного об'єкту описується системою диференціальних рівнянь похідних (рівняння теплопровідності Фур'є). Використання динамічних моделей з рівняннями похідних веде до ускладнення самої моделі і експериментальних досліджень на ній. Тому використаємо спрощений підхід

грубого обліку динаміки накопичення-витрати тепла в інерційному об'єкті – опалюваному приміщенні, що володіє значною тепловою ємністю повітря з тепловою інерцією масивних огорожуючих конструкцій (стін), і малоінерційному об'єкті – передачею тепла від опалювальних приладів.

На рис. 1 приведена структурно-функціональна схема математичної моделі динаміки системи опалення. Верхній блок моделює динаміку інерційної ланки – опалюваного приміщення, середній блок моделює малоінерційну ланку – опалювальні прилади, нижній блок – система управління.

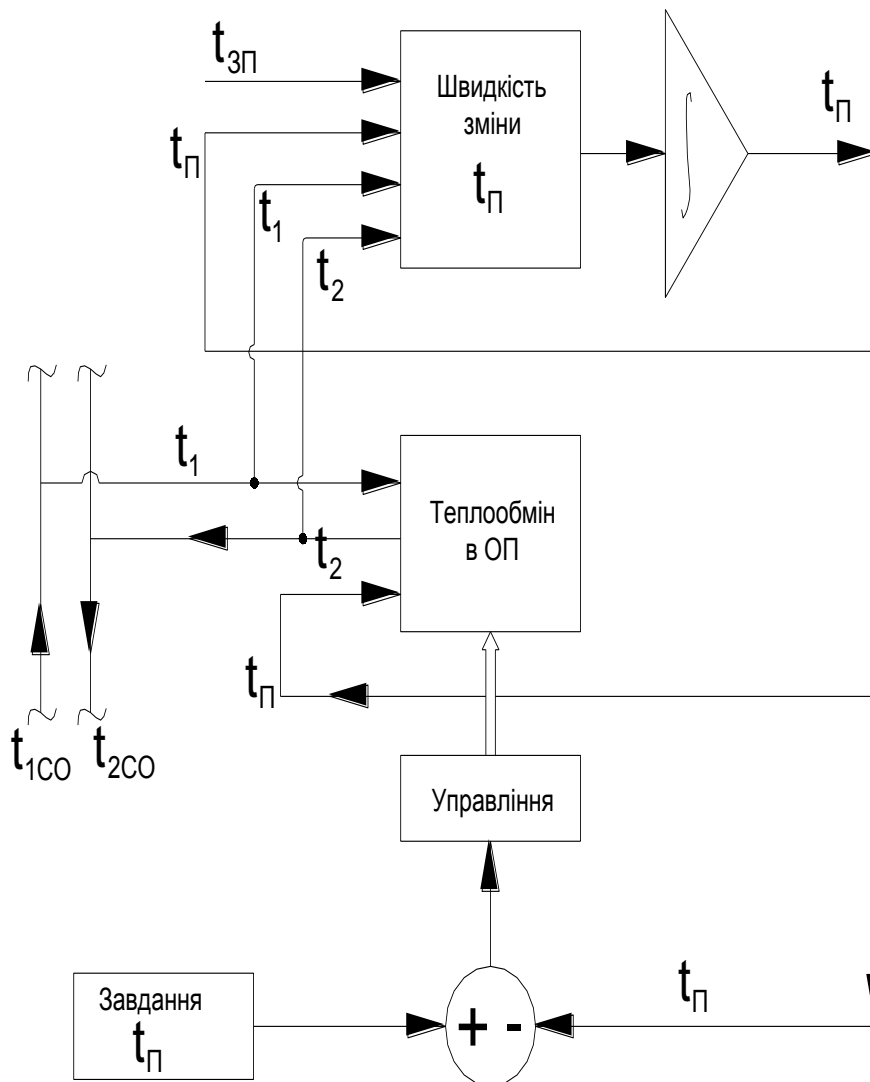


Рис. 1 Структурно-функціональна схема моделі динаміки системи опалення з автоматичним управлінням

$t_n$  – температура повітря приміщення, °С;  $t_{zn}$  – температура зовнішнього повітря, °С;  
 $t_1$  – температура вхідного теплоносія в опалювальний прилад, °С;  $t_2$  – температура вихідного теплоносія з опалювального приладу, °С;  $t_{1CO}$  – температура подавального стояка, °С;  $t_{2CO}$  – температура зворотного стояка, °С

З метою максимального ілюстративного викладу, висновок формул математичної моделі супроводжуватимемо прикладом конкретного теплового розрахунку для двокімнатної квартири із загальним об'ємом опалювальних приміщень  $V_{nm}=162 \text{ м}^3$ , опалювальною площею  $S_{nm} = 60 \text{ м}^2$ , площею зовнішніх стін  $F_{зо} = 26,6 \text{ м}^2$ , площею зовнішнього скління  $F_g = 5,81 \text{ м}^2$ .

Термічний опір ( $R_i$ ) всіх конструктивних елементів квартири задовольняє вимогам ДБН 6.2.6-31:2006 [2], а саме:  $R_{зо} = 2,8 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ ,  $R_g = 0,6 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .

Циркуляційний насос прокачує через систему опалення будинку теплоносії, при цьому витрата теплоносія для квартири складає  $G_T = 112 \text{ кг}/\text{год}$ .

Маса повітря  $M_n$  в об'ємі опалювальних приміщень при температурі  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  і атмосферному тиску  $760 \text{ мм рт.ст.}$  складає:

$$M_n = \rho_n V_{nm} \quad (1)$$

де:  $\rho_n = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$  – густина повітря при кімнатній температурі [3].

В нашому прикладі для квартири:  $M_n = 1,2 \cdot 162 = 194,4 \text{ кг}$ .

Питома теплоємність повітря [3]:

$$c_n = 1,16 \text{ Дж}/(\text{кг } ^\circ\text{C}) \quad 0,239 \text{ ккал}/(\text{кг } ^\circ\text{C}) = 0,280 \text{ Вт}/(\text{кг } ^\circ\text{C})$$

Теплоємність повітря опалювальних приміщень квартири:

$$C_n = c_n \rho_n V_{nm} = 0,280 \cdot 1,2 \cdot V_{nm} = 0,336 \text{ (Вт}/(\text{м}^3 \text{ } ^\circ\text{C})) \cdot V_{nm} \text{ (м}^3) \quad (2)$$

Для розрахункового прикладу:  $C_n = 0,336 \cdot 162 = 54,4 \text{ Вт}/^\circ\text{C}$ .

Змоделюємо динаміку температури повітря в приміщеннях квартири.

Для повітря в опалювальних приміщеннях можна записати рівняння теплового балансу:

$$V_{nm} \rho_n dt_n = (Q_{над} - Q_{вум}) dt \quad (3)$$

Величина надходження тепла в квартиру (потужність втрати тепла опалювальними приладами приміщень):

$$Q_{над} = 1,16 G_T c_T (t_1 - t_2), \text{ Вт}/\text{год} \quad (4)$$

Для розрахункового прикладу:

$$Q_{над} = 1,16 \cdot 112 \cdot 1,0 (t_1 - t_2) = 130,3 (t_1 - t_2), \text{ Вт}/\text{год}.$$

Величина витрати теплової енергії з опалювальних приміщень в зовнішнє середовище складається з двох складових:

$$Q_{вум} = Q_{зо} + Q_{инф} \quad (5)$$

$$\text{де: } Q_{зо} = (t_n - t_{zn}) \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_i}, \text{ Вт}/\text{год} \quad (6)$$

– величина витрати теплової енергії через зовнішні огорожі,

$$Q_{инф} = V_{nm} k_{инф} \rho_n c_n (t_n - t_{zn}), \text{ Вт}/\text{год} \quad (7)$$

– величина витрати теплової енергії квартири через інфільтрацію зовнішнього повітря в кімнати через вентиляцію і нещільність [4].

З (3), отримаємо:

$$dt_n / dt = (Q_{над} - Q_{вум}) / V_{нм} \rho_n c_n$$

Для розрахункового прикладу:

$$Q_{зо} = (F_{зо} / R_{зо} + F_{\phi} / R_{\phi}) (t_n - t_{zn}) = (26,6/2,8 + 5,81/0,6) (t_n - t_{zn}) = \\ = 19,2 \text{ Вт}/(\text{год } ^\circ\text{C}) \cdot (t_n - t_{zn}).$$

$$Q_{инф} = V_{нм} k_{инф} \rho_n c_n (t_n - t_{zn}) = 162 \cdot 0,5 \cdot 0,336 (t_n - t_{zn}) = \\ = 27,2 (t_n - t_{zn}), \text{ Вт}/\text{год}.$$

Тоді:

$$Q_{вум} = Q_{зо} + Q_{инф} = (19,2 + 27,2) (t_n - t_{zn}) = 46,4 (t_n - t_{zn}), \text{ Вт}/\text{год} \quad (8)$$

$$dt_n / dt = (130,3 (t_1 - t_2) - 46,4 (t_n - t_{zn})) / (162 \cdot 0,336) = 2,39 (t_1 - t_2) - \\ - 0,85 (t_n - t_{zn}), \text{ } ^\circ\text{C}/\text{год}. \quad (9)$$

Інтегруючи  $dt_n/dt$ , можна отримати поточне значення температури в приміщеннях квартири.

**Висновок 1.** Запропоновано метод розрахунку динаміки опалювальної системи, формули, числові коефіцієнти, що забезпечують побудову динамічної моделі. 2. Для нашого розрахункового прикладу, при введенні алгоритму (9) в програматор контролера автоматичного регулювання системи водяного опалення, можна автоматично завчасно визначати час збільшення чи зменшення подачі теплоносія в опалювальні прилади, обчислюючи швидкість зміни температури в опалювальних приміщеннях, як функцію вхідної температури води  $t_1$ , вихідної температури води  $t_2$ , температури повітря в приміщенні  $t_n$  та температури зовнішнього повітря  $t_{zn}$ , в залежності від величини заданої температури повітря в приміщенні  $t_{n \text{ зад}}$  та години доби. Приклад розрахунку, що наведено в статті можна використовувати при багатоденному програмуванні контролера.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Росковшенко Ю.К., Штиленко В.П. Індивідуальне автоматичне регулювання та облік теплової енергії в системах водяного опалення/ Збірник матеріалів конференції «Інтегровані енерго-ефективні технології в архітектурі та будівництві» - "ЕНЕРГОІНТЕГРАЦІЯ-2012" – К. 2012.

2. Державні будівельні норми України. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. ДБН В.2.6-31: 2006. -Київ: Мінбуд, МінЖКГ, 2006. - 73 с.

3. Теплофізичні властивості повітря ([http://www.teplodoma.com.ua/text\\_recepti/?text=33&cat=5&r=4&q=1](http://www.teplodoma.com.ua/text_recepti/?text=33&cat=5&r=4&q=1)).

4. *Тихомиров К.В.* Теплотехніка, теплогазопостачання та вентиляція, – К.: Техніка, 1981. -205 с.

**Аннотація.**

Предложена математическая модель и методика инженерного расчета динамики теплового режима помещения, для применения в индивидуальном автоматическом регулировании системы водяного отопления с программным управлением.

**Summary.**

A mathematical model and method of engineering computation of dynamics of the thermal mode of apartment is offered, for application in the individual automatic control of the system of the aquatic heating with the program management.