

## **АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ПРОЦЕСІВ ПРИ АВТОМАТИЧНОМУ РЕГУЛЮВАННІ ОПАЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ**

При застосуванні автоматичного регулювання теплового потоку від опалювальних приладів в системах водяного опалення приміщень за допомогою системи запропонованої авторами [1] або при використанні інших систем регулювання, виникає необхідність аналізу динаміки опалювальних приладів щодо ефективності використання їх в системах регулювання. Аналіз конструкцій опалювальних приладів різних фірм, які є на ринку України, показує, що з точки зору механізму теплообміну всі вони поділяються на три основні класи [2]:

- радіатори;
- конвектори;
- прилади зі змішаним типом теплообміну (комбіновані конвектори, біметалеві радіатори, алюмінієві секційні радіатори з різною конфігурацією і розвинутою поверхнею оребрення та т.п.).

Для збереження постійної (комфортної) температури повітря в приміщенні необхідно безперервно, відповідно до зміни зовнішніх умов (температури зовнішнього повітря, сонячної радіації, вітру і ін.) змінювати тепловіддачу опалювального приладу, тобто його потужність. Проте миттєвій зміні потужності опалювального приладу перешкоджає його теплова інерція.

Якщо миттєво змінити кількість теплової енергії, що подається в опалювальний прилад, наприклад витрату гарячої води, то для відповідної зміни його потужності потрібен деякий час.

У свою чергу, для зміни температури повітря в приміщенні, шляхом збільшення або зменшення кількості теплової енергії, відданої приміщенням в оточуюче середовище, також потрібен певний час. Обидва процеси «запізнювання» зміни потужності опалювального приладу та витрати теплової енергії приміщенням, тобто перехідні процеси від одного сталого значення до іншого, відбуваються одночасно, але мають різну тривалість. При зміні кількості теплової енергії, що підводиться до приладу, температура його поверхні та його потужність змінюються за певний час  $\tau_1$  від сталої величини  $t'_{np}$ ,  $Q'_{np}$  до іншої сталої величини  $t''_{np}$ ,  $Q''_{np}$ , при зміні температури зовнішнього повітря з  $t'_{zn}$  до  $t''_{zn}$ , температура повітря в приміщенні  $t'_n$  змінюється за відрізок часу  $\tau_2$  до нової сталої величини  $t''_n$ , тобто  $\tau_1 \neq \tau_2$ .

Перехідні процеси нагрівання та охолодження опалювального приладу і приміщення, що обігривається, проходять в залежності від їх об'єму і маси та фізичних властивостей огорожуючих конструкцій. Теплова енергія  $\Sigma Q_{np}$ , що споживається опалювальним приладом, витрачається на нагрівання самого приладу  $Q_{np}$  і приміщення  $Q_{nm}$ , тобто:

$$\Sigma Q_{np} = Q_{np} + Q_{nm} \quad (1)$$

Для аналізу динаміки процесу регулювання потужності опалювального приладу, вважатимемо його ідеальним, тобто однорідним тілом з однаковою температурою у всіх його точках, а приміщення - нескінченно великим. Згідно [3], кількість енергії, що споживається опалювальним приладом за нескінченно малий відрізок часу  $\Delta\tau$ , можна записати рівнянням:

$$Q_{np} = G_{np} \Delta\tau, \quad (2)$$

де  $Q_{np}$  - кількість теплової енергії, що споживається приладом;

За цей відрізок часу прилад нагріється на  $\Delta t$  градусів, а енергія, витрачається на нагрівання його маси,  $Q_{np}$  буде рівна:

$$Q_{np} = G_{np} c_{np} \Delta t, \quad (3)$$

де  $G_{np}$  - маса приладу;

$c_{np}$  - питома теплоємність матеріалу приладу;

Енергія, яка витрачається на нагрівання приміщення:

$$Q_{nm} = k_{np} F_{np} \Delta t_{np} \Delta\tau, \quad (4)$$

де  $k_{np}$  - коефіцієнт теплопередачі стінки приладу;

$F_{np}$  - площа поверхні приладу, через яку тепла енергія передається приміщенню;

$\Delta t_{np} = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_g$  - величина температурного напору;

де  $t_1$  - температура теплоносія на вході в опалювальний прилад;

$t_2$  - температура теплоносія на виході з опалювального приладу;

$t_g$  - температура повітря в приміщенні.

Підставивши рівняння (2), (3) і (4) в рівняння (1), отримаємо диференціальне рівняння теплового балансу опалювального приладу:

$$\Sigma Q_{np} \Delta\tau = G_{np} c_{np} \Delta t + k_{np} F_{np} \Delta t_{np} \Delta\tau \quad (5)$$

В кінці перехідного процесу, коли температура приладу, а отже, і величина температурного напору  $\Delta t_{np}$  стабілізуються, витрата теплової енергії на нагрівання маси приладу припиниться, тобто:

$$Q_{np} = G_{np} c_{np} \Delta t = 0. \quad (6)$$

Таким чином, вся тепла енергія, що споживається приладом, буде передаватися приміщенню:

$$\Sigma Q_{np} \Delta\tau = k_{np} F_{np} \Delta t_{np} \Delta\tau, \quad (7)$$

звідки:

$$\Delta t_{np} = \frac{\Sigma Q_{np}}{k_{np} F_{np}}, \quad (8)$$

З рівняння (8) видно, що в сталому режимі величина температурного напору залежить тільки від кількості спожитої енергії  $\Sigma Q_{np}$ , коефіцієнта теплопередачі  $k_{np}$  і площі поверхні  $F_{np}$ , через яку прилад передає приміщенню теплову енергію.

Підставивши значення  $\Sigma Q_{np}$  з рівняння (8) в рівняння (5), отримаємо диференціальне рівняння нагрівання приладу в загальному вигляді:

$$k_{np} F_{np} (\Delta t_{np.cm} - \Delta t_{np}) \Delta \tau = G_{np} c_{np} \Delta t \quad (9)$$

або:

$$(\Delta t_{np.cm} - \Delta t_{np}) \Delta \tau = \frac{G_{np} c_{np}}{k_{np} F_{np}} \Delta t, \quad (10)$$

де  $\frac{G_{np} c_{np}}{k_{np} F_{np}} = T_{np}$  – постійна часу нагрівання приладу, яка залежить

від його фізичних властивостей: маси, питомої теплоємності матеріалу, з якого він виготовлений, коефіцієнта теплопередачі і площі поверхні приладу.

Після введення  $T_{np}$  рівняння (10) прийме вигляд:

$$(\Delta t_{np.cm} - \Delta t_{np}) \Delta \tau = T_{np} \Delta t \quad (11)$$

або:

$$\frac{\Delta \tau}{T_{np}} = \frac{\Delta t}{\Delta t_{np.cm} - \Delta t_{np}} \quad (12)$$

Вирішуючи це рівняння, отримаємо:

$$\Delta t_{np} = \Delta t_{np.cm} \left( 1 - e^{-\frac{\tau}{T_{np}}} \right) \quad (13)$$

З рівняння (13) виходить, що процес нагрівання приладу, описується рівнянням експоненти з постійною часу  $T_{np}$ . Практично, умова  $\Delta t_{np} = \Delta t_{np.cm}$  буде досягнута приблизно через  $\tau = 3 T_{np}$ , а при  $\tau = T_{np}$  величина температурного напору  $\Delta t_{np} = 0,632 \Delta t_{np.cm}$ .

Графік процесу нагрівання приладу зображений на рис 1.

Аналогічним шляхом проаналізуємо рівняння охолодження приладу. Після припинення подачі до нього теплоносія, тобто коли  $\Sigma Q = 0$ , енергія, накопичена приладом, повністю віддаватиметься приміщенню:

$$Q_{np} + Q_{nm} = 0 \quad (14)$$

Кількість теплової енергії, що віддається приладом за нескінченно малий відрізок часу  $\Delta \tau$ , буде  $G_{np} c_{np} \Delta t$ , і рівняння (14) прийме вигляд:

$$G_{np} c_{np} \Delta t + k_{np} F_{np} \Delta t_{np.cm} \Delta \tau \quad (15)$$

або:

$$- \frac{G_{np} c_{np}}{k_{np} F_{np}} \frac{\Delta \tau}{T_{np}} = \Delta t \quad (16)$$

де  $\frac{G_{np} c_{np}}{k_{np} F_{np}} = T_{np}$  - постійна часу охолодження приладу.

Підставивши значення  $T_{np}$  в рівняння (16), отримаємо

$$-\frac{\Delta t}{\Delta t_{np}} = \frac{\Delta \tau}{T_{np}} \quad (17)$$

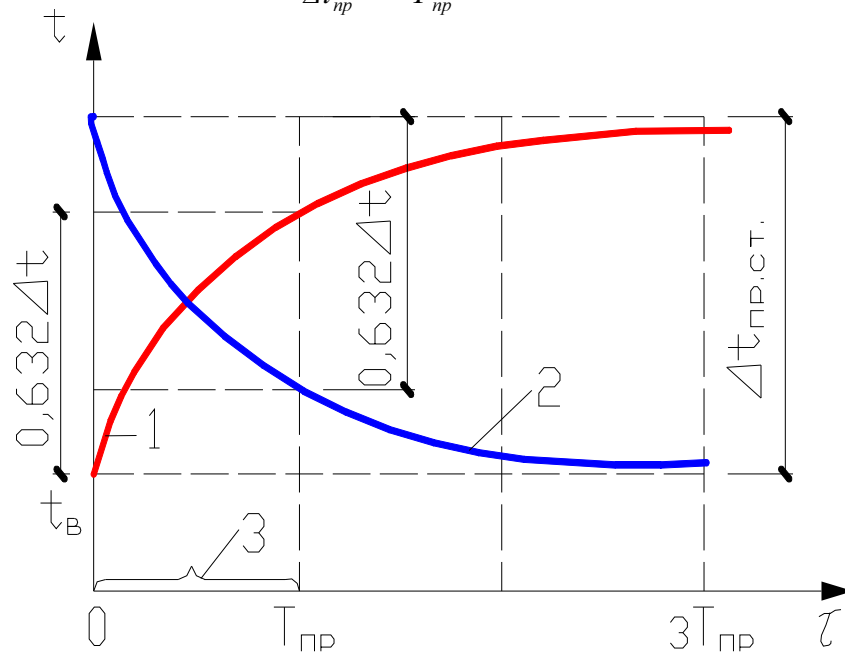


Рис. 1. Графік ідеальних процесів нагрівання і охолодження опалювального приладу при постійній часу.

1 - нагрівання; 2 - охолодження; 3 - постійна часу нагрівання або охолодження  $T_{np}$ .

Враховуючи, що при  $\tau=0$  температурний напір  $\Delta t_{np} = \Delta t_{np\text{ см}}$ , і вирішуючи це рівняння, отримаємо:

$$\Delta t_{np} = \Delta t_{np\text{ см}} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_{np}}} \quad (18)$$

З рівняння (18) виходить, що охолодження опалювального приладу описується рівнянням експоненти з тією ж постійною часу  $T_{np}$ . Графік процесу охолодження показаний на рис. 1.

При висновку рівнянь (13) і (18) коефіцієнт теплопередачі опалювального приладу приймався постійним. В тих випадках коли необхідно враховувати непостійність коефіцієнта теплопередачі реальних опалювальних приладів, він може бути представлений вигляді, рекомендованому НДІ санітарної техніки [4]:

$$k_{np} = n (t_{np} - t_6)^a \left( \frac{G'}{G} \right)^p \quad (19)$$

де  $G'$  – фактична витрата води через прилад;

$G$  – розрахункова витрата води через прилад при  $t_1 - t_2 = 25^\circ\text{C}$ ;

$t_{np}$  – середня температура опалювального приладу;  
 $p$  – показник степеня, який визначається експериментальним шляхом;

$a$  – показник степеня, який залежить від конструкції опалювального приладу і визначається при стендових випробуваннях;

$n$  – коефіцієнт, який визначається експериментальним шляхом.

В відповідності до [5] маса приладів  $G_{np}$  для водяної системи опалення складається з декількох складових:

для конвектора або сталюого радіатора:

$$G_{np} = G_{стали} + G_{води} \quad (20)$$

для чавунного радіатора:

$$G_{np} = G_{чавуну} + G_{води} \quad (21)$$

для біметалевого радіатора:

$$G_{np} = G_{сталь} + G_{алюміній} + G_{води} \quad (22)$$

Коли прилад нагрітий до  $\Delta t_{np\ ст}$ , всі його складові мають свою сталу температуру, від якої починається охолодження приладу.

В цьому випадку:

$$T_{np} = \frac{G_{сталь} c_{сталь} + G_{алюміній} c_{алюміній} + G_{вод} c_{вод}}{k_{np} F_{np}} \quad (23)$$

При нагріванні приладу гаряча вода в цьому процесі не бере участь, оскільки подається вона в прилад практично миттєво з температурою  $t_{см}$ . Отже, в реальному процесі нагрівання:

$$T_{np} = \frac{G_{сталь} c_{сталь} + G_{алюміній} c_{алюміній}}{k_{np} F_{np}} \quad (24)$$

Графік реальних процесів нагрівання і охолодження чавунного радіатора представлений на рис. 2 [5].

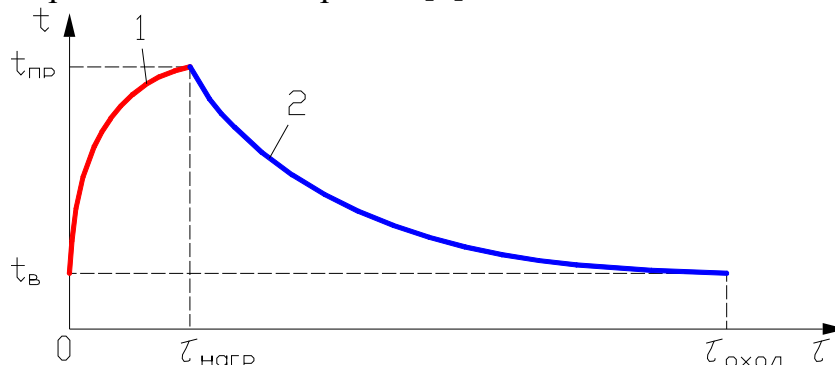


Рис. 2. Графік реальних процесів нагрівання 1 і охолодження 2 чавунного радіатора водяної системи опалення.

**ВИСНОВКИ.** 1. Як видно з рівнянь (7), (12) і (18), регулювання потужності опалювального приладу здійснюється шляхом зміни кількості теплової енергії  $Q_{np}$ , що споживається приладом. Кількість теплової енергії, що споживається приладом, визначається температурою на вході в опалювальний прилад  $t_1$  та виході з нього  $t_2$ . При роботі опалювального приладу, різниця між температурами  $t_1$  та  $t_2$

з'являється внаслідок охолодження води, при її русі в приладі. Оскільки при цьому середня температура поверхні приладу змінюється, то її регулювання можливо трьома шляхами:

- зміною температури вхідної води в прилад, при постійній витраті – якісне регулювання;

- зміною витрати води, при постійній температурі вхідної води – кількісне регулювання;

- сумісною зміною температури води вхідної води і її витрати – кількісно-якісне регулювання. У водяних системах опалення безпосередньо перед приладом можна змінити тільки кількість води, що поступає в прилад. Температуру води перед приладами змінити неможливо. Тому, індивідуальне регулювання потужності приладу може бути тільки кількісним.

2. З рівнянь (13) і (18) видно, що процес регулювання потужності опалювального приладу залежить від постійної його часу  $T_{пр}$  (теплової інерції), яка для кожної конструкції приладу буде різною.

Для сталевих радіаторів типу РСВ, залишкова тепловіддача через одну годину після їх відключення складає приблизно 15 % початкової – удвічі менше, ніж для чавунних радіаторів (30 %), а повний тепловий потік протягом першої години після відключення – відповідно 45 і 60 % [5]. Чим більша маса і теплоємність приладу, тим більша його постійна часу (теплова інерція). Наприклад, у сталюого штампованого радіатора постійна часу більша, ніж у конвектора, а у чавунного радіатора більша, ніж у сталюого штампованого радіатора.

3. Перехідний процес при кількісному регулюванні потужності приладу є функцією його постійної часу  $T_{пр}$ : чим більше постійна часу  $T_{пр}$ , тим повільніше змінюється температура приладу, після зміни кількості гарячої води, що поступає в нього. Отже, регулювання тепловіддачі опалювальних приладів тим ефективніше і швидше впливає на температуру приміщень, чим менша маса теплоносія в приладах і самих приладів.

### Список літератури:

1. Росковшенко Ю.К., Степанов М.В., Дудніков А.П., Штиленко В.П. Автоматичне регулювання та облік теплової енергії в системах водяного опалення, // Нова Тема, Науково-технічний журнал – 2008, № 3, 23-25 с.

2. Малкін Е.С., Гламаздин П.М. Нові тенденції підвищення ефективності опалювальних приладів // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. Науково-технічний збірник. Випуск 1.– К.: КНУБА, 2001.–74-80 с.

3. Туркин В.П. Водяные системы отопления с автоматическим управлением для жилых и общественных зданий.–М.:Стройиздат, 1976.– 136 с.

4. Ливчак И.Ф. и др. Применение систем отопления с естественной циркуляцией, независимо присоединенных к централизованному теплоснабжению.– «Водоснабжение и санитарная техника», 1972, № 9.

5. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление. – М.: Стройиздат, 1991, 736 с.