

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**



**Ю.О. ГІЧОВ**

**ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ  
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ  
Частина II**

**Дніпропетровськ НМетАУ 2011**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ**

**Ю.О. ГІЧОВ**

**ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ  
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ  
Частина II**

**Затверджено на засіданні Вченої ради академії  
як конспект лекцій. Протокол № 15 від 27.12.2010**

**Дніпропетровськ НМетАУ 2011**

УДК 621.311.22 (075.8)

Гічов Ю.О. Джерела теплопостачання промислових підприємств. Частина II: Конспект лекцій. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. – 49 с.

Наведені види та класифікація споживачів теплоти в системах теплопостачання, методики розрахунку теплових навантажень різних споживачів, схеми приєднання споживачів до теплових мереж.

Розглянуті принципи вибору системи теплопостачання та способів регулювання відпуску теплоти.

Призначений для студентів напрямку 6.050601 – теплоенергетика.

Іл 4. Бібліогр.: 3 найм.

Відповідальний за випуск М.В. Губинський, д-р техн. наук, проф.

Рецензенти: В.О. Габринець, д-р техн. наук, проф. (ДНУЗТ)

О.О. Єрбомін, канд. техн. наук, доц. (НМетАУ)

© Національна металургійна академія  
України, 2011

© Гічов Ю.О., 2011

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 СПОЖИВАЧІ ТЕПЛОТИ ТА РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ.....	5
1.1 Класифікація теплових навантажень.....	5
1.2 Визначення витрати теплоти на опалення будівель.....	5
1.2.1 Задача системи опалення, тепловий баланс будівлі та його складові.....	5
1.2.2 Розрахункові витрати теплоти на опалення будівель.....	9
1.3 Визначення витрати теплоти на вентиляцію.....	10
1.4 Визначення витрати теплоти на гаряче водопостачання.....	12
1.5 Визначення витрати теплоти на технологічні потреби.....	15
1.6 Визначення річної витрати теплоти.....	16
1.7 Графіки теплових навантажень.....	18
2 ПРИЄДНАННЯ СПОЖИВАЧІВ ДО ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ.....	21
2.1 Приєднання споживачів до водяних теплових мереж.....	21
2.1.1 Приєднання опалювальних установок.....	22
2.1.2 Приєднання установок гарячого водопостачання.....	26
2.1.3 Сумісне приєднання установок опалення та гарячого водопостачання.....	29
2.1.4 Центральні теплові підстанції.....	33
2.2 Приєднання споживачів в парових системах теплопостачання.....	36
2.2.1 Приєднання опалювальних установок.....	37
2.2.2 Приєднання установок гарячого водопостачання.....	37
2.2.3 Сумісне приєднання установок опалення та гарячого водопостачання.....	38
2.2.4 Приєднання технологічних споживачів.....	39
3 ВИБІР ТА РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	40
3.1 Вибір системи теплопостачання.....	40
3.1.1 Вибір теплоносія.....	40
3.1.2 Порівняння відкритих та закритих систем теплопостачання.....	42
3.1.3 Порівняння залежних та незалежних схем підключення споживачів.....	43
3.2 Регулювання системи теплопостачання.....	43
3.2.1 Способи регулювання та їх класифікація.....	43
3.2.2 Вибір способу регулювання.....	46
ЛІТЕРАТУРА.....	48

## ВСТУП

У першій частині конспекту наведені загальні відомості про системи теплопостачання: елементи систем теплопостачання, види джерел і споживачів теплоти, класифікація систем теплопостачання. Основний зміст першої частини конспекту полягає у викладенні принципів теплопостачання від котелень і ТЕЦ: теплові схеми приєднання джерел теплоти до теплових мереж, теплопідготовчі установки джерел і визначення техніко-економічних показників джерел теплоти.

Особливістю дисципліни «Джерела теплопостачання промислових підприємств» є вивчення джерел теплопостачання у взаємозв'язку зі споживачами теплоти, які визначають вид і параметри необхідних теплоносіїв, споживану теплову потужність і характер зміни споживаної теплової потужності протягом часу.

У зв'язку з цим, друга частина конспекту присвячена споживачам теплоти: види і класифікація споживачів, розрахунки теплових навантажень різних споживачів, приєднання споживачів до теплових мереж, регулювання подачі тепла й інше.

Матеріал дисципліни «Джерела теплопостачання промислових підприємств», що викладений у другій частині конспекту, безпосередньо пов'язаний з дисципліною, що читається в подальшому «Теплові мережі» і становить навчально-методичну базу для виконання курсового проекту з дисципліни «Теплові мережі»: методика розрахунку теплових навантажень для різних споживачів, визначення виду і потужності джерела теплоти, методика визначення кількості теплоносіїв, що відпускаються споживачеві від джерела, схеми приєднання споживачів до теплових мереж та регулювання теплових навантажень.

Даний конспект лекцій розроблений відповідно до робочої програми і навчального плану дисципліни. Знання, отримані при вивченні дисципліни «Джерела теплопостачання промислових підприємств», можуть бути використані при виконанні науково-дослідних робіт студентів, випускних робіт бакалаврів, дипломних робіт спеціалістів та випускних робіт магістрів.

# **1 СПОЖИВАЧІ ТЕПЛОТИ І РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

## **1.1 Класифікація теплових навантажень**

Залежно від характеру зміни протягом року споживачі теплоти і відповідні їм теплові навантаження можна розділити на дві групи:

1. *Сезонні теплові навантаження*, до яких відносяться системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Відповідні цим споживачам теплові навантаження діють лише в певні періоди року - сезони. Опалення та вентиляція є зимовими тепловими навантаженнями, а кондиціонування повітря - літнім. Величини сезонних теплових навантажень і їх зміна протягом року залежать, головним чином, від кліматичних умов району, в якому розташовані споживачі теплоти, і, в першу чергу, від температури зовнішнього повітря.

2. *Цілорічні теплові навантаження*, до яких відносяться технологічні навантаження промислових підприємств та гаряче водопостачання. Величини цілорічних теплових навантажень практично не залежать від кліматичних умов району і періоду року. Винятком є промислові підприємства, що працюють за сезонним режимом, наприклад, підприємства, що переробляють сільськогосподарську продукцію. Дещо збільшується цілорічне теплове навантаження в зимовий час у зв'язку зі збільшенням втрат теплоти при транспортуванні теплоносія, що враховується спеціально передбаченим коригуванням розрахунку теплових навантажень.

Проектування системи теплопостачання починається з визначення величин теплових навантажень споживачів, значення яких визначає потужність джерела теплоти (котелень і ТЕЦ), вибір основного і допоміжного обладнання джерел, а також вибір теплопідготовчого обладнання джерел.

Першочерговим завданням при проектуванні системи теплопостачання є визначення *розрахункових теплових навантажень*, тобто максимальних теплових навантажень, на які розрахована система теплопостачання.

## **1.2 Визначення витрати теплоти на опалення будівель**

### **1.2.1 Завдання системи опалення, тепловий баланс будівлі та його складові**

Основним завданням системи опалення є підтримання температури пові-

тря всередині опалювальних приміщень будівлі на рівні санітарних. У зимовий час це можливо шляхом створення умов рівноваги між надходженням теплоти в будівлю і втратами теплоти, що відбивається рівнянням теплового балансу будівлі:

$$Q_o + Q_{вн} = Q_{вт} + Q_{ін}, \quad (1.1)$$

де  $Q_o$  - кількість теплоти, що надходить в будівлю через систему опалення;

$Q_{вн}$  - внутрішні тепловиділення в будівлі, що не залежать від роботи системи опалення;

$Q_{вт}$  - втрати теплоти через зовнішні огорожі будівлі внаслідок теплопередачі;

$Q_{ін}$  - втрати теплоти від інфільтрації повітря через нещільності у зовнішніх огорожах будівлі.

У відповідності з виразом (1.1) кількість теплоти, яку необхідно передати в будинок через систему опалення, представляється в наступному вигляді:

$$Q_o = Q_{вт} + Q_{ін} - Q_{вн}. \quad (1.2)$$

Втрати теплоти через зовнішні огорожі можна представити у вигляді суми втрат теплоти через окремі зовнішні огорожі будівлі:

$$Q_{вт} = \sum k_i \cdot F_i \cdot \Delta t_i, \quad (1.3)$$

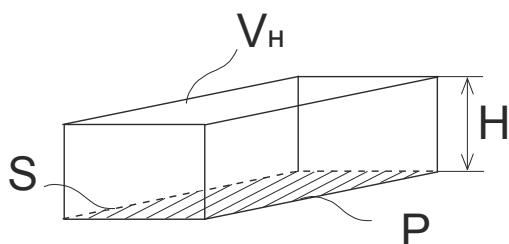
де  $k_i$  - коефіцієнт теплопередачі через зовнішні огорожі (стіни, вікна, стеля верхнього поверху, підлога нижнього поверху та інше);

$F_i$  - площа поверхні окремих зовнішніх огорожень;

$\Delta t_i$  - різниця температур повітря з внутрішнього і зовнішнього боку огорожі.

Формула (1.3) носить загальний характер і в практичних розрахунках застосувати її вкрай важко внаслідок складної конфігурації будівель, великої кількості зовнішніх огорожень, складності визначення коефіцієнтів теплопередачі та іншого. На практиці можливе застосування ряду спеціально розроблених формул для визначення втрат теплоти через зовнішні огорожі, серед яких найбільш відома формула Н.С. Єрмолаєва:

$$Q_{вт} = \left\{ \frac{P}{S} \left[ k_c + \varphi_{скл} \cdot (k_{вік} - k_c) + \frac{1}{H} \cdot (\varphi_{ст} \cdot k_{ст} + \varphi_{нідл} \cdot k_{ідл}) \right] \right\} \cdot V_n \cdot (t_e - t_s), \quad (1.4)$$



де  $P$ ,  $S$ ,  $H$  і  $V_n$  - геометричні характеристики будівлі, а саме:

$P$  - периметр будівлі в плані,

$S$  - площа будівлі в плані,

$H$  - висота будівлі,

$V_n$  – об'єм будинку по зовнішньому обміру (будівельний об'єм будівлі);

$k_c, k_{вік}, k_{ст}, k_{підл}$  - коефіцієнти теплопередачі, відповідно, для зовнішніх стін будівлі, вікон, стелі верхнього поверху і підлоги нижнього поверху;

$\varphi_{скл}$  - коефіцієнт скління (відношення площі вікон до площі зовнішніх стін будинку);

$\varphi_{ст}, \varphi_{підл}$  - коефіцієнти, що враховують зміну різниці температур внутрішнього і зовнішнього повітря для стелі верхнього поверху і підлоги нижнього поверху в порівнянні з різницею температур для зовнішніх стін ( $\varphi_{ст}=0,75\div 0,9, \varphi_{підл}=0,5\div 0,7$ );

$t_в$  и  $t_з$  - температура повітря всередині опалювальних приміщень і зовнішня температура повітря.

У фігурних дужках формули (1.4) укладена величина, яка являє собою питому тепловтрату будівлі ( $q_o$ ), тобто тепловтрату, що припадає на одиницю об'єму будівлі по зовнішньому обміру при різниці температур внутрішнього і зовнішнього повітря в один градус:

$$q_o = \frac{Q_{ем}}{V_n \cdot (t_в - t_з)} \cdot \left[ \frac{Вт}{м^3 \cdot К}; \frac{ккал}{м^3 \cdot год \cdot К} \right]. \quad (1.5)$$

Поняття питомої тепловтрати істотно спрощує формулу (1.4):

$$Q_{ем} = q_o \cdot V_n \cdot (t_в - t_з). \quad (1.6)$$

Питому тепловтрату будівлі ( $q_o$ ) в літературі називають також питомою опалювальною характеристикою будівлі, питомою тепловою характеристикою будівлі при проектуванні системи опалення та питомою витратою теплоти на опалення будівлі.

Питомі тепловтрати будинків наведені в літературі [1, додаток 4].

Можливо визначення  $q_o$  за формулами, наприклад, за формулою ВТІ:

$$q_o = \frac{a}{\sqrt[6]{V_n}} = \frac{a}{V_n^{0,167}}, \quad (1.7)$$

де  $a$  - коефіцієнт, що враховує основний будівельний матеріал будівлі (для цегляних будівель - 1,9; для залізобетонних - 2,3÷2,7).

Умови застосування формули (1.7):  $V_n \geq 3000$  м<sup>3</sup>, а найбільш низька температура зовнішнього повітря повинна становити -30<sup>0</sup>С. Для інших кліматичних районів слід використовувати формулу перерахунку:

$$q'_o = q_o / (1,3 + 0,01 \cdot t'_з), \quad (1.8)$$



де  $q_0$  - питома тепловтрата будівлі, обчислена за формулою (1.7);

$t'_3$  - найнижча температура повітря в зимовий період для конкретного кліматичного району.

*Втрати теплоти від інфільтрації* зовнішнього повітря в опалювальні приміщення прийнято оцінювати через коефіцієнт інфільтрації:

$$\mu = \frac{Q_{in}}{Q_{em}}, \quad [\%; \text{доля од.}] \quad (1.9)$$

Втрати теплоти від інфільтрації  $Q_{in}$  в житлових і громадських будівлях складають 3-6% від втрат теплоти через зовнішні огорожі будівель  $Q_{вт}$ , тобто практично не перевищують точності розрахунків, що дозволяє для житлових і громадських будівель не враховувати ці втрати спеціальним розрахунком. Облік втрат теплоти від інфільтрації для житлових і громадських будівель виконується шляхом коригування опалювальних характеристик будівлі  $q_0$ , наведених в довідкових даних.

Для виробничих будівель  $\mu=25\div30$  % і вимагає врахування в розрахунках.

Значення коефіцієнта інфільтрації залежить від конструктивних характеристик будинку і кліматичних умов району:

$$\mu = b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H \cdot \left(1 - \frac{T_3}{T_B}\right) + w_6^2}, \quad [\text{доля од.}] \quad (1.10)$$

де  $b$  - постійна інфільтрації,  $(35\div40) \cdot 10^{-3}$ , с/м;

$H$  - висота будівлі, м;

$T_3, T_B$  - температури зовнішнього повітря і повітря всередині будівлі, К;

$w_6$  - середня швидкість вітру в даному кліматичному районі (для найбільш холодного місяця опалювального періоду), м/с;

*Внутрішні тепловиділення* для житлових будинків незначні за величиною і носять випадковий характер, тому в явному вигляді внутрішні тепловиділення для житлових будинків в розрахунках не враховують (враховують шляхом коригування  $q_0$ ).

Внутрішні тепловиділення у виробничих будівлях значні за величиною і носять постійний характер: робота термічних установок і печей, охолодження деталей і виробів, перетворення механічної енергії в теплову, інтенсивне освітлення та інше.

Внутрішні тепловиділення у виробничих будівлях враховуються шляхом коригування значення опалювальної характеристики будівель  $q_0$ , що враховано

в довідкових даних, тобто в явному вигляді величина внутрішніх тепловиділень в розрахунках відсутня.

При відсутності величини внутрішніх тепловиділень  $Q_{вн}$  рівняння (1.2) спрощується:

$$Q_o = Q_{ем} + Q_{ін}. \quad (1.11)$$

З урахуванням співвідношення (1.9) рівняння (1.11) прийме вигляд:

$$Q_o = Q_{ем} + \mu \cdot Q_{ем} = Q_{ем} \cdot (1 + \mu). \quad (1.12)$$

Після підстановки в (1.11) виразу (1.6) формула для розрахунку витрати теплоти на опалення будівель набуває вигляду:

$$Q_o = q_o V_n \cdot (t_s - t_n) \cdot (1 + \mu). \quad (1.13)$$

### 1.2.2 Розрахункові витрати теплоти на опалення будівель

Розрахункова витрата теплоти на опалення відповідає найбільш низькій температурі зовнішнього повітря, тобто є максимальною витратою теплоти (позначення  $Q_{o,p}$  або  $Q'_o$ ). Відповідно до формули (1.13) розрахункова витрата теплоти на опалення представляється в наступному вигляді:

$$Q'_o = q_o V_n \cdot (t_{сп} - t_{ро}) \cdot (1 + \mu), \quad (1.14)$$

де  $t_{сп}$  - усереднена розрахункова температура повітря усередині опалювального приміщення, прийнята відповідно до санітарних норм;

$t_{ро}$  - розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування систем опалення.

Значення  $t_{ро}$  обчислюється відповідно до СНіП 2.01.01-82 «Будівельна кліматологія і геофізика» як середня температура найбільш холодних п'ятиденок з 8 найбільш холодних зим за останні 50 років.

Тривалість опалювального періоду ( $n_o$ ) у відповідності до СНіП 2.01.01-82 визначається за кількістю днів на рік з стійкою середньодобовою температурою  $+8^\circ\text{C}$  і нижче.

Зовнішня температура  $+8^\circ\text{C}$  вважається також розрахунковою температурою початку і кінця опалювального періоду.

Для м. Дніпропетровська:  $n_o = 4200$  год,  $t_{ро} = -23^\circ\text{C}$ .

При будь-якій іншій зовнішній температурі  $t_s$ , що відрізняється від  $t_{ро}$ , витрата теплоти на опалення визначається за розрахунковою витратою теплоти

шляхом перерахунку пропорційно різниці температур:

$$Q_o = Q'_o \frac{t_{ep} - t_z}{t_{ep} - t_{po}}. \quad (1.15)$$

При відсутності даних про тип забудов і зовнішніх обсягах житлових і громадських будівель СНіП 2.04.07-86 «Теплові мережі» рекомендують розрахункову витрату теплоти на опалення наново спроектованого житлового масиву визначати за формулою:

$$Q'_o = q_o^* \cdot F_{ж} \cdot (1 + k_1) \cdot 10^{-6}, \quad \text{МВт}, \quad (1.16)$$

де  $q_o^*$  - укрупнений показник максимальної витрати теплоти на опалення 1 м<sup>2</sup> житлової площі (для м. Дніпропетровська  $q_o^* = 83 \text{ Вт/м}^2$ );

$F_{ж}$  - загальна житлова площа масиву, м<sup>2</sup>;

$k_1$  - коефіцієнт, що враховує витрати теплоти на опалення громадських будівель, що становлять інфраструктуру житлового масиву (дитячі, навчальні, медичні, торговельні та культурні установи), При проектуванні системи опалення району розрахункова витрата теплоти на опалення обчислюється окремо для житлових, громадських і виробничих будівель, а потім сумуються:

$$Q'_{o\Sigma} = \sum Q'_{o,ж} + \sum Q'_{o,общ} + \sum Q'_{o,пр}. \quad (1.17)$$

### 1.3 Визначення витрати теплоти на вентиляцію

Витрата теплоти на вентиляцію обумовлена необхідністю підігрівати повітря, що нагнітається в приміщення в зимовий час, з метою повітрообміну.

Витрата теплоти на вентиляцію житлових будинків, що не мають спеціальної припливної системи вентиляції, не перевищує 5-10% від витрати теплоти на опалення і враховується поправкою величини питомої опалювальної характеристики будівлі  $q_o$ .

Витрата теплоти на вентиляцію виробничих і громадських будівель, які мають припливну систему вентиляції, становить значну частку від сумарного споживання теплоти і вимагає спеціального розрахунку.

Зокрема, витрата теплоти на вентиляцію можна визначити за такою формулою:

$$Q_B = m V_B c_B (t_B - t_H), \quad (1.18)$$

де  $m$  - кратність обміну повітря у вентилязованих приміщеннях;

$V_B$  - вентиляований внутрішній об'єм будівлі;

$c_v$  - об'ємна теплоємність повітря;

У формулі (1.18) добуток  $m \cdot V_v \cdot c_v$  можна віднести до одиниці об'єму будівлі по зовнішньому обміру  $V_n$ , що дає питома витрата теплоти на вентиляцію будівлі:

$$q_v = \frac{mV_v c_v}{V_n} \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}, \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{год} \cdot \text{К}} \right]. \quad (1.19)$$

Величина  $q_v$  є витратою теплоти на вентиляцію будівлі, віднесена до  $1 \text{ м}^3$  будівлі по зовнішньому обміру, при різниці температур внутрішнього і зовнішнього повітря в один градус.

У літературі значення  $q_v$  називають також питомою вентиляційною характеристикою будівлі і питомою тепловою характеристикою будівлі при проектуванні систем вентиляції.

Відповідно до поняттям питомої витрати теплоти на вентиляцію формулу для витрати теплоти можна представити в наступному вигляді:

$$Q_v = q_v \cdot V \cdot (t_v - t_z). \quad (1.20)$$

Значення  $q_v$  для різних виробничих і громадських будівель наведені в літературі [1, додаток 4].

Розрахункова (максимальна) витрата теплоти на вентиляцію визначається залежно від характеру та інтенсивності шкідливих виділень в вентилязованих приміщеннях будівлі. Можливі два варіанти визначення розрахункової витрати теплоти на вентиляцію:

1. Для будинків, у яких характер шкідливих виділень не допускає навіть короткочасного зниження інтенсивності повітрообміну, вентиляція здійснюється без обмежень, а розрахункова витрата теплоти на вентиляцію складе:

$$Q'_v = q_v \cdot V \cdot (t_{vp} - t_{po}). \quad (1.21)$$

Під вентиляцією без обмежень мається на увазі подача повітря в приміщення в повному обсязі, аж до самої низької температури зовнішнього повітря  $t_{po}$ . До будівель, вентилязованих без обмеження, відносяться виробничі цехи й приміщення з великою інтенсивністю виділень шкідливих речовин або з виділенням токсичних речовин.

2. У будинках, де вентиляція може бути обмежена при мінімальних температурах зовнішнього повітря, вентиляція здійснюється з обмеженням, а розрахункова витрата теплоти на вентиляцію складе:

$$Q'_B = q_B \cdot V \cdot (t_{вп} - t_{рв}), \quad (1.22)$$

де  $t_{рв}$  - розрахункова температура зовнішнього повітря при проектуванні систем вентиляції.

Розрахункова температура зовнішнього повітря при проектуванні систем вентиляції відповідно до СНіП 2.01.01-82 обчислюється як середня температура 15% часу опалювального періоду з найбільш низькою температурою зовнішнього повітря, тобто, наприклад, для м. Дніпропетровська з кліматичних таблиць вибирається 630 год (4200×0,15) з найнижчою температурою і за цей період температура усереднюється (для м. Дніпропетровська = -9°C).

У тому випадку, якщо температура зовнішнього повітря стає нижчою  $t_{рв}$ , а характер шкідливих виділень в приміщеннях допускає обмеження вентиляції, витрата теплоти на вентиляцію зберігається на постійному рівні шляхом скорочення кратності повітрообміну. При цьому мінімальна кратність повітрообміну відповідає температурі  $t_{рв}$  і визначається зі співвідношення:

$$m_{\min} = m_p \frac{t_{ep} - t_{рв}}{t_{ep} - t_{po}}, \quad (1.23)$$

де  $m_p$  - розрахункова кратність повітрообміну.

При відсутності даних про типи забудов і зовнішніх обсягах громадських будівель для знову проєктованого житлового масиву СНіП 2.04.07-86 «Теплові мережі» рекомендують визначення розрахункової витрати теплоти на вентиляцію громадських будівель, розташованих в житловому масиві, за формулою:

$$Q'_B = q_o^* F_{ж} k_1 k_2 \cdot 10^{-6}, \quad \text{МВт}, \quad (1.24)$$

де  $k_2$  - коефіцієнт, що враховує витрати теплоти на вентиляцію громадських будівель ( $k_2=0,6$ ), інші позначення такі ж, як і у формулі (1.16).

#### 1.4 Визначення витрати теплоти на гаряче водопостачання

Витрата теплоти на гаряче водопостачання - цілорічне теплове навантаження, тобто практично не змінюється протягом року, проте істотно змінюється протягом доби і днів тижня. У зв'язку цим теплове навантаження гарячого водопостачання оцінюють середньою величиною – середньотижневим тепловим навантаженням.

Середня, тобто середньотижнева, витрата теплоти на гаряче водопостачання житлових, громадських і виробничих будівель визначається за формулою:

$$Q_{z.v.cp} = a_{z6} \cdot m_{z6} \cdot c_v \cdot (t_z - t_x) / n_c, \quad (1.25)$$

де  $a_{z6}$  - добова норма витрати гарячої води на одну людину або на одиницю споживання (ліжко в лікарні, посадочне місце в їдальні і т.п.);

$m_{z6}$  - число споживачів гарячого водопостачання;

$c_v$  - теплоємність води;

$t_z$  - температура гарячої води;

$t_x$  - температура холодної води, яка використовується для підготовки гарячої води;

$n_c$  - розрахункова тривалість подачі теплоносія на гаряче водопостачання протягом доби (добова норма подачі гарячої води, яка залежить від характеру споживання і наявності теплоакumuлюючих пристроїв).

Норми витрати гарячої води з температурою подачі 60 °С наведені в СНіП 2.04.01-85 «Внутрішній водопровід і каналізація будівель» і в літературі [1, додаток 6]. При подачі гарячої води з іншою температурою, що відрізняється від 60 °С, норми витрати гарячої води перераховуються за формулою, що враховує співвідношення різниці температур:

$$a'_{z6} = a_{z6} \frac{60 - t_x}{t'_z - t_x}, \quad (1.26)$$

де  $t'_z$  - температура гарячої води, що відрізняється від 60 °С.

Допустимий інтервал зміни температури подачі гарячої води визначається санітарними нормами і правилами техніки безпеки:

- при подачі гарячої води безпосередньо з теплової мережі інтервал зміни температури подачі складає 65 ÷ 75 °С, а середня температура для розрахунку приймається 65 °С;

- при подачі гарячої води шляхом підігріву водопровідної води мережною водою в теплообміннику місцевої установки гарячого водопостачання допустимий інтервал температур подачі гарячої води становить 50 ÷ 75 °С, а середня температура для розрахунку приймається 55 °С.

При відсутності конкретних даних у проектних завданнях про температуру холодної води її приймають в опалювальний період 5 °С, а в літній період 15 °С.

При відсутності даних про кількість і типи житлових і громадських будівель в знову проєктованому житловому районі середня витрата теплоти на гаряче водопостачання протягом опалювального (зимового) періоду визначається за формулою:

$$Q_{г.в.сп}^{зим} = 1,2 \frac{(a_{зв} + b_{зв})m_{жс}}{24} c_6 (t_г - t_х), \quad (1.27)$$

де 1,2 - коефіцієнт, що враховує втрати теплоти у місцевих установках гарячого водопостачання;

24 - тривалість подачі (в годинах) теплоти на гаряче водопостачання протягом доби;

$b_{зв}$  - норма витрати гарячої води на громадські будівлі, що віднесена до одного жителя району (за відсутності даних приймається 25 л/чол•добу);

$m_{жс}$  - число жителів у проєктованому районі.

У літній період витрата теплоти на гаряче водопостачання дещо змінюється за рахунок більш високої температури холодної води і міграції населення. Перерахунок середньої витрати теплоти на гаряче водопостачання з зимового навантаження на літнє виконується за формулою:

$$Q_{г.в.сп}^{лет} = Q_{г.в.сп}^{зим} \frac{t_г - t_{хл}}{t_г - t_{хз}} \beta, \quad (1.28)$$

де  $t_{хл}, t_{хз}$  - температури холодної води, відповідно, в літній та зимовий періоди (+15 і +5 °С);

$\beta$  - коефіцієнт, що враховує міграцію населення у літній період (при відсутності конкретних даних приймається для житлових і громадських будівель - 0,8, для підприємств - 1,0, для південних і курортних міст - 1,5).

Максимальне теплове навантаження гарячого водопостачання визначається за середнім тепловим навантаженням з урахуванням коефіцієнта нерівномірності теплового навантаження, який для житлових і громадських будівель приймається в межах 2,0 ÷ 2,4:

$$Q_{г.в.мак} = (2,0 \div 2,4) \cdot Q_{г.в.сп}. \quad (1.29)$$

Великим споживачем гарячої води на промислових підприємствах є душові. Максимальна витрата гарячої води на душові залежить від кількості душових сіток і тривалості зарядки баків-акумуляторів гарячої води. Формула для визначення максимальної витрати теплоти на душові має наступний вигляд:

$$Q_{z.g. \max}^{\partial} = 1,2 \frac{m_{zg}^{\partial} \cdot a_{zg}}{m_{сет} \cdot T_3} c_g (t_z - t_x), \quad (1.30)$$

де  $m_{zg}^{\partial}$  - число робітників, які користуються душем;

$m_{сет}$  - кількість робітників, що припадають на одну душову сітку;

$T_3$  - тривалість зарядки бака-акумулятора, який встановлюється при кількості душових сіток більше 10.

Тривалість зарядки бака-акумулятора залежно від кількості сіток становить:

Кількість сіток	10÷20	21÷30	>30
T <sub>3</sub> , ч	2	3	4

### 1.5 Визначення витрати теплоти на технологічні потреби

Питомі витрати теплоти, вид і параметри теплоносія для технологічних споживачів задаються технологіями на основі норм технологічного проектування. При відсутності норм питомі витрати теплоти визначаються теплотехнічними розрахунками або досвідченими даними.

Наприклад, у чорній металургії питомі витрати теплоти складають:

- в коксохімічному виробництві ~1,00 ГДж / т коксу;
- чавуну в доменному виробництві ~0,25 ГДж / т;
- у сталеплавильному виробництві ~0,13 ГДж / т сталі;
- в прокатному виробництві ~0,35 ГДж / т прокату.

Основним теплоносієм для технологічних споживачів промислових підприємств є пара різних тисків: 0,4 ÷ 3,5 МПа.

Кількість теплоти на технологічні потреби визначається обсягом своєї продукції:

$$Q_{техн} = Q'_{техн} + q \cdot П, \quad (1.31)$$

де  $Q'_{техн}$  - витрата теплоти на технологічні потреби, що не залежить від обсягу виробництва (для підтримки обладнання в робочому стані);

$q$  - питома витрата теплоти на одиницю продукції або на одиницю маси продукції (норма витрат теплоти);

$П$  - обсяг виробництва.



При обчисленні витрат теплоти на технологічні потреби необхідно враховувати розбіжність максимальних споживань теплоти окремими агрегатами. При відсутності змінних або добових графіків витрат теплоти СНиП 2.04.07-86 «Теплові мережі» допускають вводити до сумарної витрати теплоти понижуючий коефіцієнт 0,9.

При відсутності точних даних про графік роботи обладнання, для визначення сумарної витрати пари на технологічні потреби можна використовувати формулу:

$$D_{\text{техн}} = D_{1\text{max}} + 0.8D_{2\text{max}} + \sum_{i=1}^n D_{\text{ср } i} , \quad (1.32)$$

де  $D_{1\text{max}}$  - максимальна витрата пари на найпотужніший агрегат виробництва;

$D_{2\text{max}}$  - максимальна витрата пари на другий за потужністю агрегат;

$\sum_{i=1}^n D_{\text{ср } i}$  - сума середніх витрат пари на інші агрегати.

Витрата теплоти на технологічні потреби, при відомій витраті пари, визначається за формулою:

$$Q_{\text{техн}} = D_{\text{техн}} \cdot i_{\text{п}} , \quad (1.33)$$

де  $i_{\text{п}}$  - ентальпія пари, яка визначається за таблицями або за is-діаграмою водяної пари.

## 1.6 Визначення річної витрати теплоти

Річна витрата теплоти дозволяє оцінити енерговитрати на тепlopостачання району:

$$Q_{\Sigma}^{\text{год}} = Q_{\text{о}}^{\text{год}} + Q_{\text{в}}^{\text{год}} + Q_{\text{г.в.}}^{\text{год}} + Q_{\text{техн}}^{\text{год}} , \quad (1.34)$$

де  $Q_{\text{о}}^{\text{год}}$ ,  $Q_{\text{в}}^{\text{год}}$ ,  $Q_{\text{г.в.}}^{\text{год}}$  и  $Q_{\text{техн}}^{\text{год}}$  - відповідно, річні витрати теплоти на опалення, вентиляцію, гаряче водopостачання та технологічні потреби.

Річна витрата теплоти на опалення визначається за формулою:

$$Q_{\text{о}}^{\text{год}} = Q_{\text{о}}^{\text{ср}} \left[ (n_{\text{о}} - n_{\text{д}}) + n_{\text{д}} \frac{t_{\text{вд}} - t_{\text{н}}^{\text{ср.о}}}{t_{\text{вр}} - t_{\text{н}}^{\text{ср.о}}} \right] , \quad (1.35)$$

де  $Q_{\text{о}}^{\text{ср}}$  - середнє теплове навантаження за опалювальний період;

$n_{\text{д}}$  - тривалість роботи чергового опалення на промислових підприємствах (чергове опалення призначено для підтримки температури повітря усередині опалювального приміщення не нижче +5 °С в неробочий час);

$t_{\text{вд}}$  - температура внутрішнього повітря при роботі чергового опалення;

$t_n^{cp,o}$  - середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період.

Середня витрата теплоти за опалювальний період визначається на основі розрахункової (максимальної) витрати теплоти:

$$Q_o^{cp} = Q_o' \frac{t_{ep} - t_{no}^{cp}}{t_{ep} - t_{po}}, \quad (1.36)$$

де  $t_{no}^{cp}$  - середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період:

$$t_{no}^{cp} = \left[ \sum_{i=1}^n n_i t_{ni} \right] n_o^{-1}, \quad (1.37)$$

тут  $n_i$  - тривалість повторення зовнішньої температури протягом опалювального періоду.

Тривалість повторення окремих температур зовнішнього повітря та тривалість опалювального періоду приймаються за кліматичними даними району, в якому розміщений об'єкт, що проектується.

Для житлових і громадських будівель поняття чергове опалення відсутнє, тобто  $n_d = 0$ , тому річна витрата теплоти визначиться добутком:

$$Q_o^{год} = Q_o^{cp} \cdot n_o. \quad (1.38)$$

Річна витрата теплоти на вентиляцію з обмеженням визначається за формулою:

$$Q_v^{год} = Q_v' \left[ n_v + \frac{t_{vp} - t_{nv}^{cp}}{t_{vp} - t_{pv}} (n_o - n_v) \right], \quad (1.39)$$

де  $n_v$  - тривалість опалювального періоду з температурою зовнішнього повітря нижче  $t_{pv}$  (від  $t_{pv}$  до  $t_{po}$ ) за кліматичними даними району;

$t_{nv}^{cp}$  - середня температура зовнішнього повітря протягом опалювального періоду, коли температура зовнішнього повітря тримається в інтервалі від +8 до  $t_{pv}$ :

$$t_{nv}^{cp} = \left[ \sum n_i t_{ni} \right] \cdot (n_o - n_v)^{-1}. \quad (1.40)$$

Річна витрата теплоти на вентиляцію без обмеження визначається за формулою:

$$Q_v^{год} = Q_v^{cp} \cdot n_o, \quad (1.41)$$

де  $Q_v^{cp}$  - середнє теплове навантаження на вентиляцію

$$Q_v^{cp} = Q_v' \frac{t_{ep} - t_{no}^{cp}}{t_{ep} - t_{pv}}. \quad (1.42)$$

Річна витрата теплоти на гаряче водопостачання визначається за формулою:

$$Q_{2.6.}^{год} = Q_{2.6.}^{зим} \left[ n_o + \frac{t_2 - t_{xl}}{t_2 - t_{xz}} \beta (n_2 - n_o) \right], \quad (1.43)$$

де  $n_r$  - тривалість року (8760 год), решта позначення такі ж, як і у формулі (1.28).

Річна витрата теплоти на технологічні потреби визначається за формулою:

$$Q_{техн}^{год} = Q_{техн} \cdot T_{см} \cdot n_{см}, \quad (1.44)$$

де  $T_{см}$  - тривалість робочої зміни або тривалість роботи теплоспоживаючого технологічного устаткування протягом зміни;

$n_{см}$  - кількість робочих змін на рік.

## 1.7 Графіки теплових навантажень

Графіки сезонних теплових навантажень включають (див. рис. 1.1):

- залежності сезонних теплових навантажень (опалення та вентиляція) від температури зовнішнього повітря (див. рис. 1.1 а);
- графік тривалості сезонних теплових навантажень (див. рис. 1.1 б).

Графік тривалості теплових навантажень показує тривалість повторення тих чи інших теплових навантажень протягом року. На основі графіка тривалості теплових навантажень здійснюють розмежування базисних і пікових теплових навантажень і, відповідно, визначають потужності основного і резервного устаткування джерела теплоти.

Графік тривалості сезонних теплових навантажень будується в такій послідовності:

1. Будується графік залежності опалювального теплового навантаження від температури зовнішнього повітря (лінія 1):

$$Q_o = f(t_n) = Q'_o \frac{t_{вр} - t_n}{t_{вр} - t_{po}}, \quad (1.45)$$

інтервал побудови від  $t_{нко} = +8 \text{ } ^\circ\text{C}$  до (для м. Дніпропетровська  $= -23 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

2. Будується графік залежності вентиляційного теплового навантаження від температури зовнішнього повітря (лінія 2):

- для споживачів, які допускають обмеження вентиляції:

$$Q_v = f(t_n) = Q'_v \frac{t_{вр} - t_n}{t_{вр} - t_{рв}}, \quad (1.46)$$

інтервал побудови графіка від  $t_{нко} = +8 \text{ }^\circ\text{C}$  до (для м. Дніпропетровська  $t_{рв} = -9 \text{ }^\circ\text{C}$ ), при  $t_n < t_{рв}$   $Q_B = Q'_B = \text{const}$ ;

• для споживачів, які не допускають обмеження вентиляції (на рис. 1.1 а графік не показаний):

$$Q_{\epsilon} = f(t_n) = Q'_{\epsilon} \frac{t_{\epsilon p} - t_n}{t_{\epsilon p} - t_{po}}, \quad (1.47)$$

інтервал побудови графіка від  $t_{нко} = +8 \text{ }^\circ\text{C}$  до.  $t_{po}$ .

3. Будується графік залежності сумарного сезонного теплового навантаження (на опалення і вентиляцію) від температури зовнішнього повітря (лінія 3):

$$Q_c = Q_o + Q_B = f(t_n). \quad (1.48)$$

4. За кліматичними таблицями району визначається час, протягом якого та чи інша температура зовнішнього повітрям  $t_{ni}$  і температури нижче її тримаються протягом опалювального періоду, тобто час опалювального періоду з температурою зовнішнього повітря, що дорівнює або нижче  $t_{ni}$ .

5. На осі абсцис (див. рис. 1.1 б) відновлюють вертикалі  $n_i$  і на вертикаль проєктують теплове навантаження, що відповідає  $t_{ni}$ . Сукупність точок перетину навантажень і вертикалей для ряду температур окреслюють плавною лінією (див. рис. 1.1 б), яка є графіком тривалості сезонних теплових навантажень, тобто показує тривалість прояву того чи іншої теплового навантаження протягом сезону.

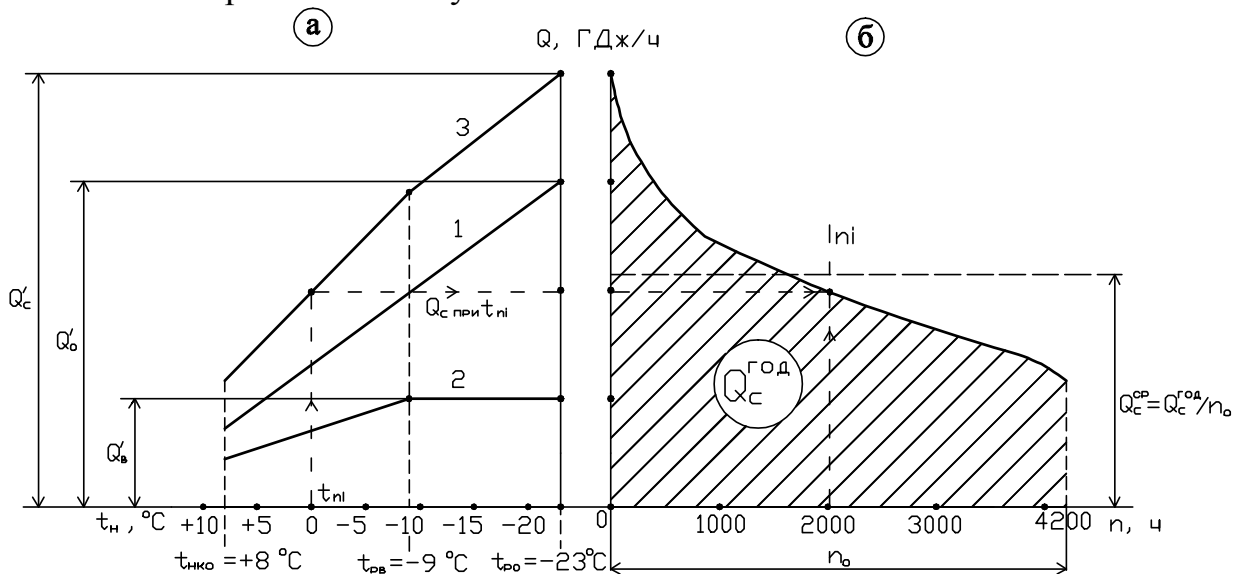


Рисунок 1.1 - Графіки сезонних теплових навантажень: а - залежності сезонних теплових навантажень від температури зовнішнього повітря; б - графік тривалості сезонних теплових навантажень

Площа під кривою графіка тривалості теплових навантажень, тобто добуток витрат теплоти  $Q$  на тривалість подачі теплоти  $n$  дає абсолютну кількість теплоти, витраченої протягом року на покриття сезонних теплових навантажень  $Q_c^{год}$ , а відношення  $Q_c^{год}$  до  $n_o$  дає середнє сезонне теплове навантаження за опалювальний період:

$$Q_c^{cp} = \frac{Q_c^{год}}{n_o}, \quad (1.49)$$

Середнє теплове навантаження дає підставу для визначення базисного теплового навантаження  $i$ , відповідно, вибору теплової потужності основного обладнання джерел теплоти (котелень та ТЕЦ). Теплове навантаження більше середнього дозволяє вибрати резервне обладнання для покриття пікових споживань теплоти.

Сумарний графік тривалості теплових навантажень (див. рис. 1.2) виходить в результаті сполучення цілорічних теплових навантажень (технологічні потреби та гаряче водопостачання) з графіком тривалості сезонних теплових навантажень.

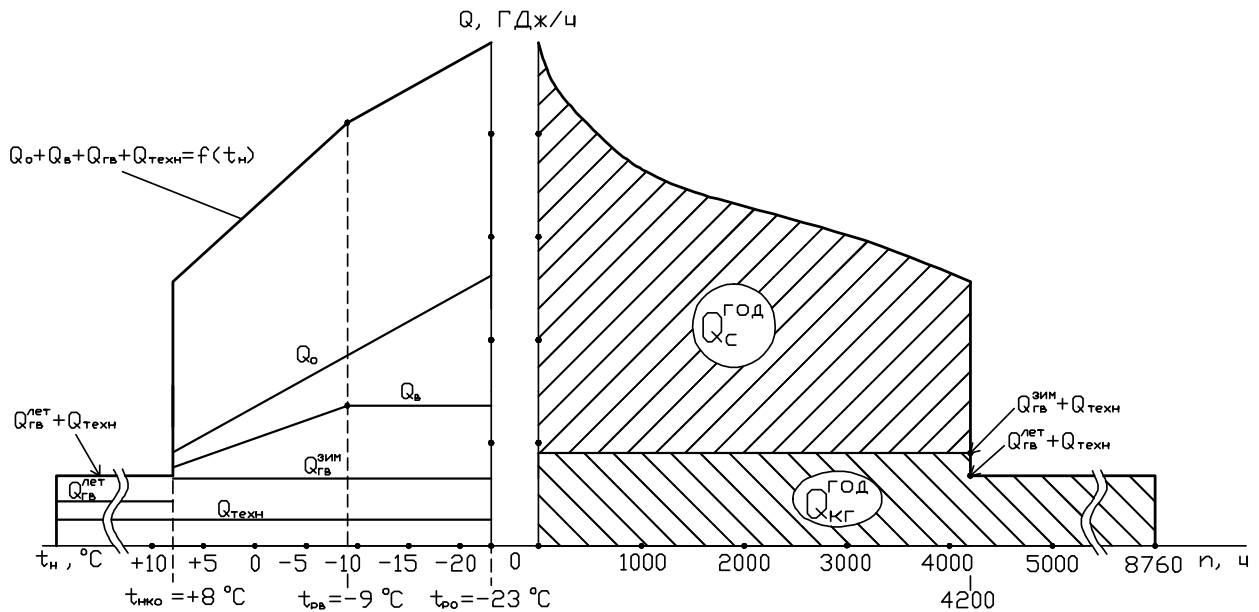


Рисунок 1.2 - Сумарний графік тривалості теплових навантажень

Площа під кривою сумарного графіка тривалості теплових навантажень відповідає річній витраті теплоти:

$$Q^{год} = Q_c^{год} + Q_{кг}^{год}. \quad (1.50)$$

## 2 ПРИЄДНАННЯ СПОЖИВАЧІВ ДО ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

На схему приєднання споживачів до теплових мереж, в першу чергу, впливають два фактори:

- вид системи тепlopостачання (водяні або парові);
- вид споживача (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання або технологічний споживач).

### 2.1 Приєднання споживачів до водяних теплових мереж

За способом використання мережної води водяні системи тепlopостачання поділяють на дві групи: *закриті* і *відкриті*.

У *закритих* системах мережна вода використовується тільки як теплоносії і з мережі не відбирається.

У *відкритих* системах мережна вода частково або повністю відбирається з мережі споживачем, наприклад, для гарячого водопостачання.

За кількістю ліній в тепловій мережі водяні системи тепlopостачання розділяють на: *однотрубні, двотрубні, три- і багатотрубні*.

Найбільш поширеними є системи тепlopостачання з двотрубними тепловими мережами, що включають подаючу й зворотню лінії.

Однотрубні теплові мережі застосовуються тільки в тому випадку, якщо теплоносії повністю використовується споживачем і не повертається до джерела теплоти (в котельню або ТЕЦ). Наприклад, коли витрата мережної води на опалення збігається з витратою води на гаряче водопостачання, мережна вода спочатку віддає теплоту системі опалення, а потім розбирається споживачами в якості гарячої води.

Три- і багатотрубні системи тепlopостачання споруджуються в наступних випадках:

- при необхідності подачі споживачеві мережної води з різною температурою;
- при великих кількостях подачі мережної води та наявності значних пікових споживань теплоти;
- при розширенні системи тепlopостачання.

Комплекс установок і пристроїв, призначений для приєднання споживачів до теплових мереж *в залежності від потужності приєданого споживача,*

називається *абонентським введенням, місцевим тепловим пунктом* або *місцевою тепловою підстанцією*.

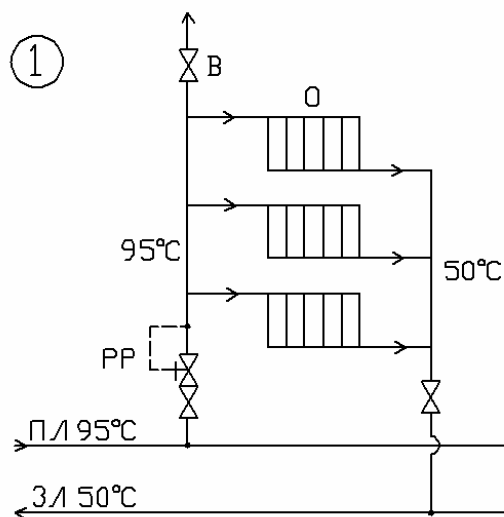
За принципом приєднання споживачів до теплових мереж розрізняють дві схеми приєднання: *залежна* і *незалежна*.

При *залежній* схемі мережна вода надходить безпосередньо в тепловикористовуючі установки, наприклад, в опалювальні прилади.

При *незалежній* схемі мережна вода проходить через проміжний теплообмінник, де нагріває вторинний теплоносій, який направляється в тепловикористовуючі установки.

### 2.1.1 Приєднання опалювальних установок

Залежна схема приєднання 1 застосовується в тому випадку, коли гідравлічний і температурний режими місцевої опалювальної установки збігаються з гідравлічним і температурним режимами теплової мережі, тобто тиск і температура мережної води задовольняють нормальній роботі місцевої опалювальної установки.



ПЛ і ЗЛ - подавальна і зворотна лінії теплової мережі;

РР - регулятор витрати, що призначений для підтримки витрати мережної води через опалювальну установку на заданому і постійному рівні;

В - повітряний кран, що призначений для випуску повітря з системи опалення при заповненні її водою;

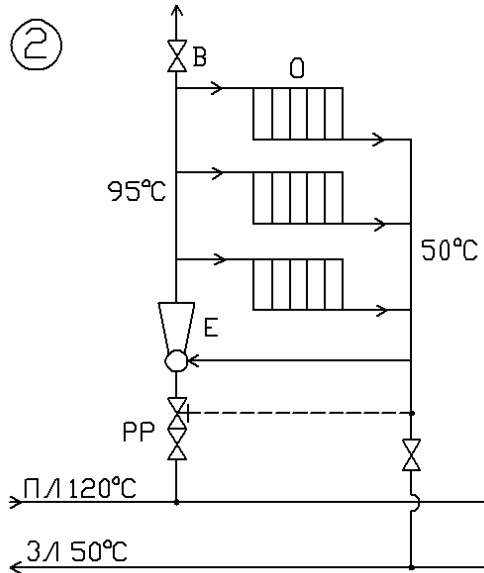
О - опалювальний прилад.

За схемою 1 приєднують зазвичай системи опалення виробничих приміщень промислових будівель. Житлові і громадські будівлі, а також побутові приміщення промислових будівель приєднують за схемою 1 лише в тому випадку, якщо температура в мережі не перевищує санітарні норми для цих будівель: 95 °С для будинків до 5 поверхів і 105 °С для будівель понад 5 поверхів.

У тому випадку, якщо температура води в тепловій мережі вище 95 і 105 °С, залежне підключення опалювальної установки вимагає попереднього

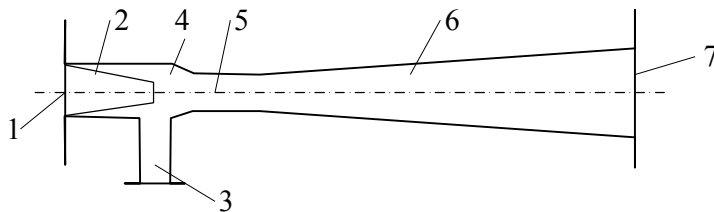
зниження температури мережної води, що зазвичай досягається підмішуванням води із зворотної лінії теплової мережі.

На схемі 2 показано підключення опалювальної установки за залежною схемою з елеваторним підмішуванням води



Е - водоструминний елеватор, що призначений для підмішування води із зворотної лінії теплової мережі в подавальну, з метою зниження температури води, що надходить до місцевої опалювальної установки.

*Принципова схема водоструминного елеватора:*

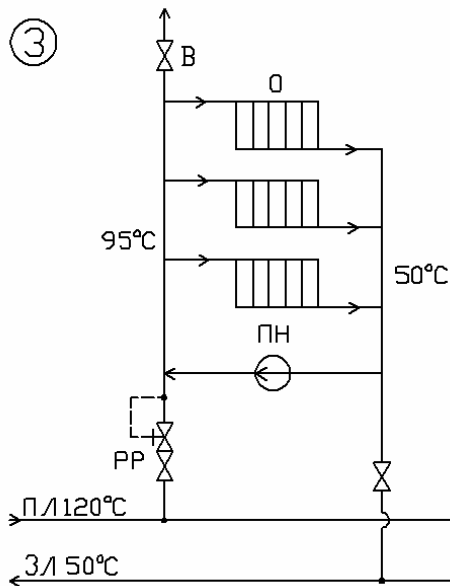


- 1 - подавальний патрубков;
- 2 - інжектуюче сопло;
- 3 - підмішувальний патрубков;
- 4 - приймальна камера;
- 5 - змішувальна камера;
- 6 - дифузор;
- 7 - вихідний патрубков.

За рахунок різниці напорів перед соплом і в приймальній камері елеватора створюється швидкісний напір струменя з лінії подачі, що забезпечує ефект інжекції (розрідження) в приймальній камері, який призводить до підсмоктування води з зворотної лінії через підмішувальний патрубков. Для нормальної роботи елеватора необхідна різниця напорів прямої та зворотної ліній теплової мережі (не менше 8-15 м вод. ст. в залежності від типу елеватора).

У тому випадку, якщо різниця напорів в прямій та зворотній лініях недостатня, замість елеватора встановлюється підмішувальний насос ПН (схема 3).



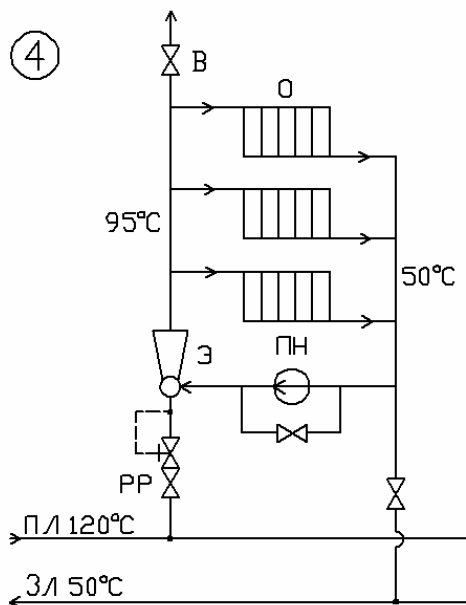


Елеватор має перевагу, оскільки:

- не потребує електроенергії;
- не вимагає спеціального обслуговування;
- надійний в експлуатації;
- працює безшумно.

Приєднання опалювальної установки по залежній схемі з елеваторним підмішуванням (схема 2) є найбільш поширеною схемою приєднання систем опалення житлових та громадських будівель.

Універсальним є комбіноване підмішування води із зворотної лінії, тобто насосно-елеваторне підмішування (схема 4).



За схемою 4 в нормальному режимі система опалення працює з елеваторним підмішуванням, а при зниженні різниці напорів в мережі для підмішування підключається насос.

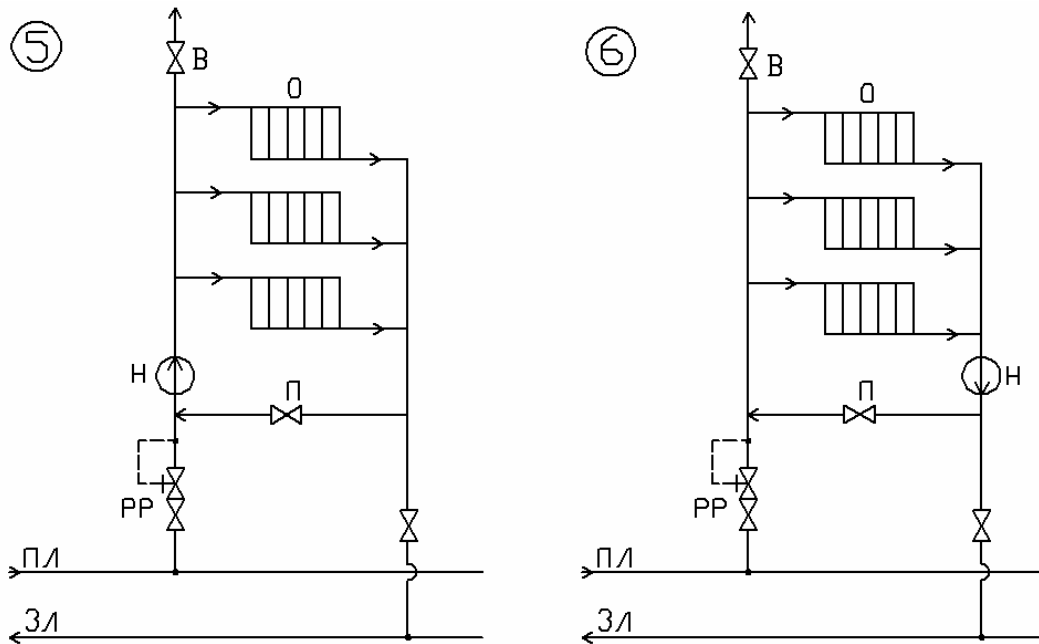
У разі припинення подачі мережної води підмішувальний насос виконує функцію циркуляційного насоса, що забезпечує циркуляцію води в замкнутому контурі місцевої опалювальної установки, що необхідно для виключення переохолодження

будівлі при аварії на тепловій мережі. Циркуляцію застосовують також при регулюванні подачі теплоти в будівлю пропусками, тобто при порівняно високій температурі зовнішнього повітря, що можливо на початку та наприкінці опалювального періоду, на деякий час припиняють подачу мережної води.

Схема з комбінованим підмішуванням (схема 4) підвищує надійність подачі теплоносія в систему опалення, однак, здорожує систему і ускладнює її експлуатацію.

Насоси в місцевих системах опалення встановлюють також у разі невідповідності тиску в тепловій мережі тиску, що необхідний для нормальної роботи місцевої опалювальної установки.

Насос на лінії подачі (схема 5) встановлюють при недостатньому тиску в лінії подачі теплової мережі, тобто тиск в тепловій мережі нижче статичного тиску місцевої опалювальної установки.



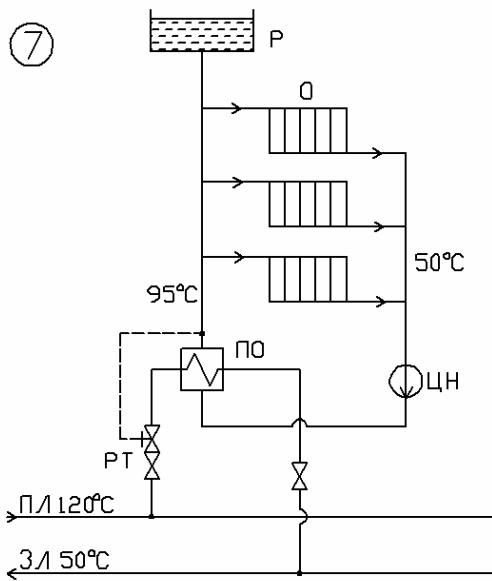
Насос на зворотній лінії (схема 6) встановлюють при тиску у зворотній лінії теплової мережі більше, ніж в подавальній, що можливо на кінцевих ділянках перевантажених магістралей теплових мереж.

Насоси в схемах 5 і 6 при наявності перемички П між подавальною та зворотною лініями використовують також для:

- підмішування води із зворотної лінії в подавальну, з метою зниження температури води;
- для циркуляції води в замкнутому контурі опалювальної установки при аварійному припиненні подачі мережної води або при регулюванні подачі пропусками.

На схемі 7 показано незалежне приєднання опалювальної установки до теплової мережі.

Незалежне приєднання передбачає наявність теплообмінника для нагрівання води, що циркулює в місцевій опалювальній установці.



ПО - підігрівач опалення, (поверхневий водоводяний теплообмінник) призначений для нагріву води, що циркулює в опалювальній установці, мережною водою;

Р - розширювальний резервуар, призначений для: 1) компенсації зміни об'єму води, що циркулює в опалювальній установці внаслідок зміни температури води, 2) компенсації витоків в опалювальній установці, 3) створення статичного напору в опалювальній установці, 4) видалення повітря з опалювальної установки при заповненні її водою;

ЦН - циркуляційний насос;

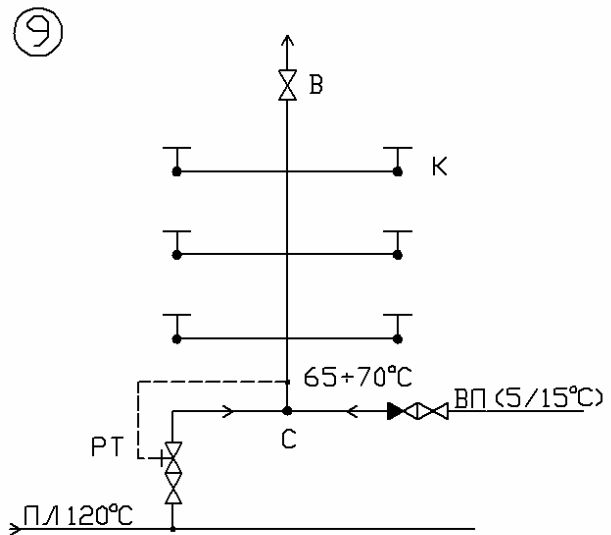
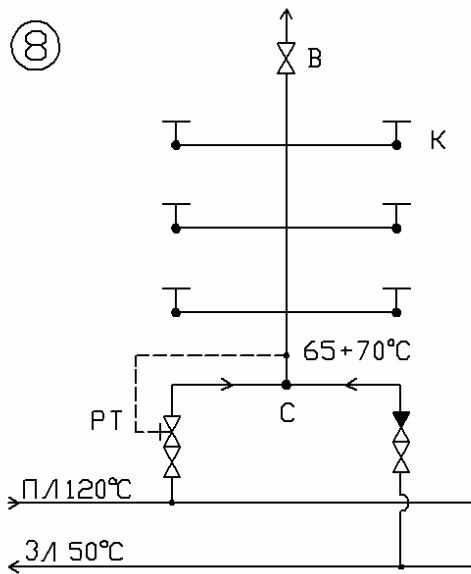
РТ - регулятор температури (для підтримки температури води, що циркулює в опалювальній установці, на заданому рівні).

Незалежна схема приєднання застосовується для гідравлічної ізоляції місцевої опалювальної установки від теплової мережі, що необхідно в наступних випадках:

- при тиску в тепловій мережі, що перевищує за умовами міцності тиск, необхідний для нормальної експлуатації місцевої опалювальної установки (наприклад, для чавунних опалювальних приладів допустимий тиск становить 0,6 МПа, а для сталевих - 1,5 МПа);
- при великому статичному тиску місцевої опалювальної установки, що перевищує тиск в тепловій мережі, що характерно для висотних будівель або будівель, розташованих на піднесеному рельєфі місцевості.

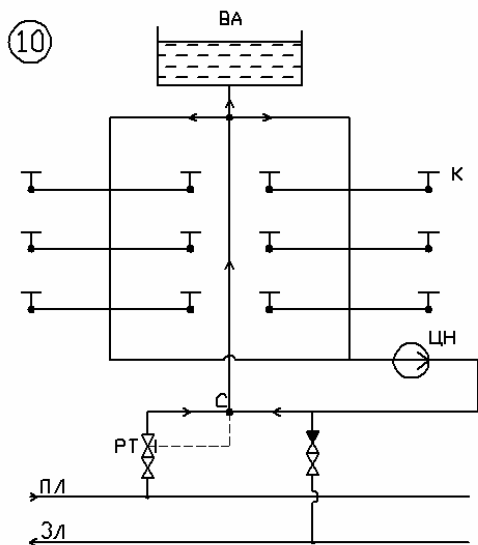
### 2.1.2 Приєднання установок гарячого водопостачання

На схемах 8 і 9 показано залежне приєднання установок гарячого водопостачання, що відповідає відкритій системі тепlopостачання.



К - водорозбірні крани; ВП - водопровід; С - змішувач для приготування гарячої води заданої температури ( $65 \div 75 \text{ } ^\circ \text{C}$ ) шляхом змішування води подавальної та зворотної ліній (схема 8) або підмішування водопровідної води (схема 9).

Схема 9 з підмішуванням водопровідної води застосовується в тому випадку, коли витрата води у зворотній лінії теплової мережі недостатня.



При інтенсивному і нерівномірному споживанні гарячої води встановлюють акумулятор гарячої води. На схемі 10 показано підключення місцевої установки гарячого водопостачання з верхнім акумулятором ВА.

Зарядка верхнього акумулятора відбувається під напором води теплової мережі, а розрядка - під статичним напором акумулятора. Циркуляційний насос в схемі 10 необ-

хідний для циркуляції води в період зниження водозабору з метою запобігання охолодження води.

Акумулятор вирівнює графік теплового навантаження по гарячій воді і створює запас гарячої води у випадку аварійного відключення мережної води.

Нижній акумулятор НА (схема 11) встановлюють в тих випадках, коли утруднена установка верхнього акумулятора. У житлових і громадських будівлях нижній акумулятор встановлюють для забезпечення безпеки.

11

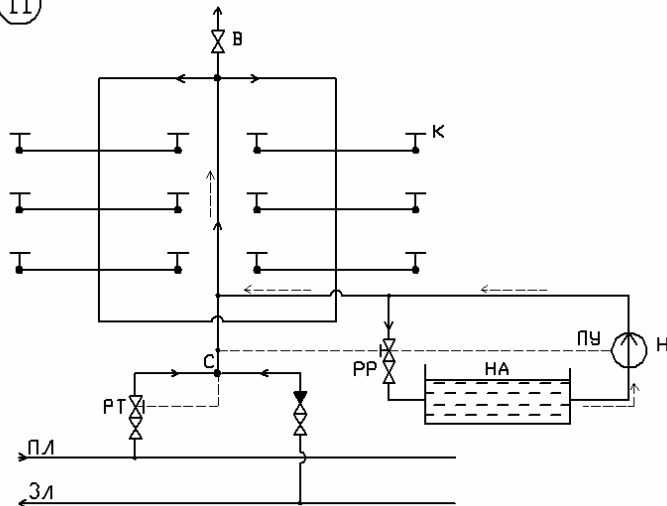


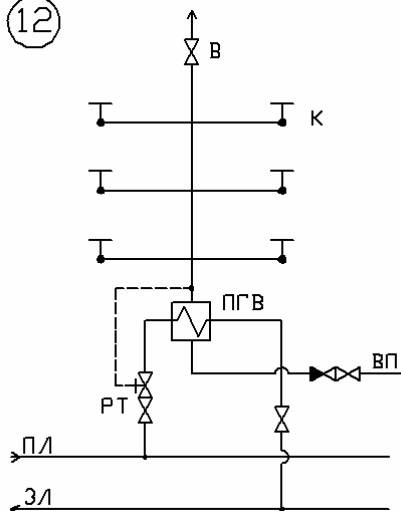
Схема працює наступним чином:

- при невеликій витраті гарячої води відкривається клапан регулятора витрати РР і частина води після змішувача перетікає в акумулятор;
- при великих водорозборах клапан регулятора витрати закри-

вається, пусковий пристрій ПУ включає в роботу насос і вода з акумулятора разом з водою зі змішувача надходить в водорозбірні крани системи гарячого водопостачання (показано пунктирними стрілками).

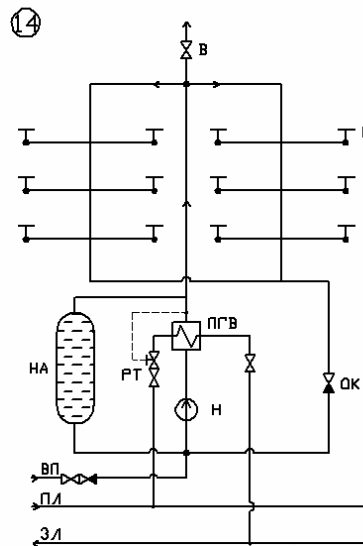
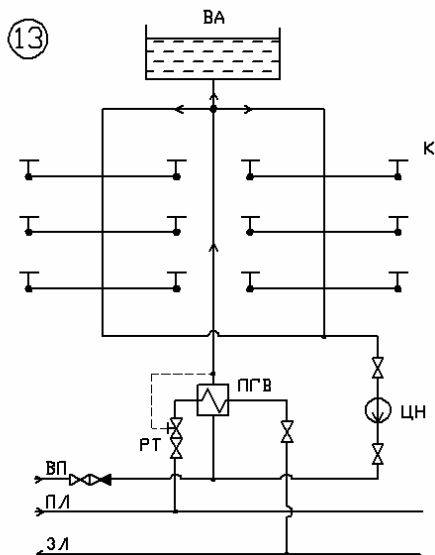
Приєднання установок гарячого водопостачання за незалежною схемою (схеми 12-14) відповідає закритій системі тепlopостачання, тобто вода з теплової мережі не відбирається, а використовується тільки як теплоносій для підігріву водопровідної води. Для цієї мети в місцеву установку гарячого водопостачання включений підігрівач гарячої води ПГВ (поверхневий водоводяний теплообмінник).

12



Установка гарячого водопостачання без акумулятора (схема 12) застосовується при цілодобовій роботі теплової мережі і невеликих споживаннях гарячої води.

Верхній акумулятор у схемі 13 заряджається під напором водопроводу, а розряджається - під власним статичним напором. У разі тривалої відсутності розбору води або невеликого розбору для компенсації охолодження води підключається циркуляційний насос.



При нижньому розміщенні акумулятора (схема 14) зарядка його здійснюється насосом, а розрядка - водопровідним напором, витісняє нагріту воду з акумулятора. Насос постійно перебуває в роботі, а режим роботи установки залежить від інтенсивності споживання гарячої води. Можливі три варіанти:

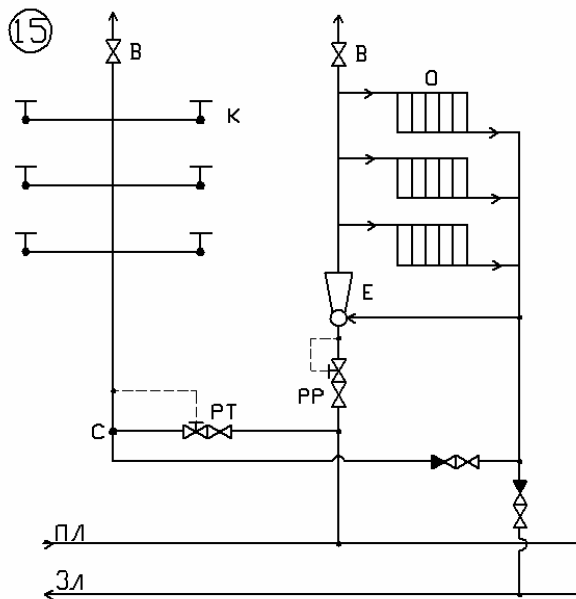
1. При малому розборі під дією насоса відбувається циркуляція води через акумулятор і через замкнутий контур: насос - підігрівач - місцева система - зворотний клапан (ЗК) - насос.

2. При середній витраті води основна маса щойно підігрітої води виходить через водорозбірні крани.

3. При великому водозаборі змінюється напрямок руху води в акумуляторі - водопровідна вода одночасно надходить через насос і в нижню частину акумулятора, видавлюючи при цьому гарячу воду з акумулятора до водорозбірних кранів. У результаті одночасного надходження гарячої води з акумулятора і підігрівача досягається задоволення максимальних споживань гарячої води.

### 2.1.3 Спільне приєднання установок опалення та гарячого водопостачання

Для більшості будівель характерно поєднання двох видів теплового навантаження: опалення та гаряче водопостачання. На схемах 15 і 16 показано спільне приєднання установок опалення та гарячого водопостачання за залежною схемою у відкритій системі тепlopостачання.



Установки опалення та гарячого водопостачання за схемою 15 працюють незалежно одна від одної (автономно).

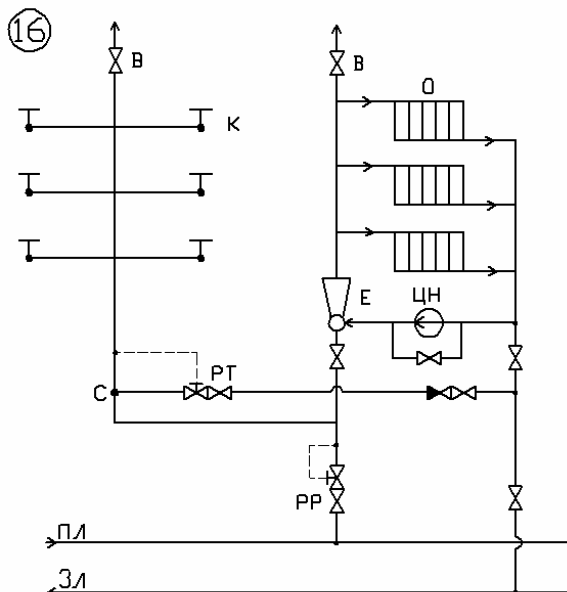
Витрата води на опалювальну установку підтримується постійною за допомогою регулятора витрати і не залежить від навантаження гарячого водопостачання.

Витрата мережної води на гаряче водопостачання змінюється в широкому діапазоні: від максимального значення в

години найбільшого водорозбору до нуля в період відсутності водорозбору. Співвідношення витрат мережної води на гаряче водопостачання з подавальної та зворотної ліній встановлюється регулятором температури.

При незв'язаному (автономному) регулюванні установок опалення та гарячого водопостачання виходить завищена сумарна розрахункова витрата води в лінії подачі теплової мережі, що призводить до збільшення діаметрів трубопроводів теплової мережі, зростанню початкових витрат на її спорудження та подорожчання транспорту теплоносія.

Розрахункову витрату мережної води в лінії подачі теплової мережі можна знизити при установці акумуляторів гарячої води, проте це ускладнює і здорожує устаткування абонентських ввідів. У зв'язку з цим, у житлових будівлях акумулятори гарячої води зазвичай не встановлюють.



Розрахункова витрата мережної води помітно знижується при приєднанні опалювальних установок і установок гарячого водопостачання за принципом пов'язаного регулювання (схема 16).

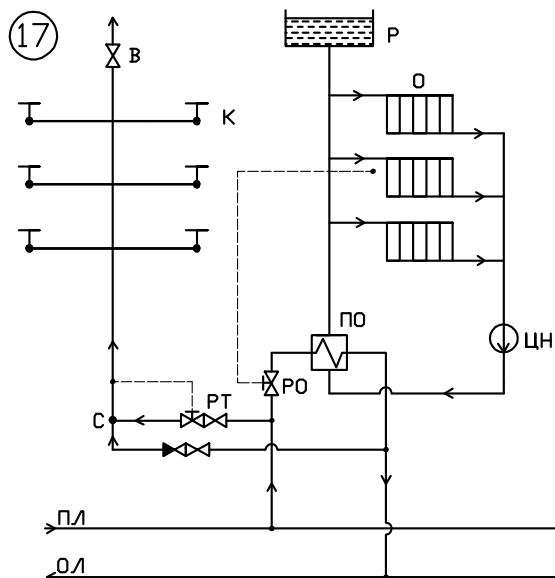
Пов'язане регулювання скорочує розрахункові витрати мережної води в 1,5 рази і відповідно скорочує витрати на спорудження теплових мереж.

При схемі пов'язаного регулювання витрата води в лінії подачі абонентського вводу підтримується на постійному рівні, що забезпечує сумарну витрату мережної води на опалення та гаряче водопостачання.

В період великого споживання гарячої води знижується витрата мережної води на опалення і, навпаки, в години зниження споживання гарячої води збільшується витрата мережної води на опалення. При збільшенні витрати мережної води на опалення частина теплоти акумулюється конструкціями будівлі, створюючи запас теплоти на період зниження подачі мережної води на опалення.

Для виключення гідравлічного розрегулювання опалювальної системи в момент мінімальних подач води на опалення в перемичці між подавальною та зворотною лініями опалювальної установки розміщений циркуляційний насос, який забезпечує циркуляцію води по замкнутому контуру опалювальної установки при мінімальних подачах в неї мережної води.

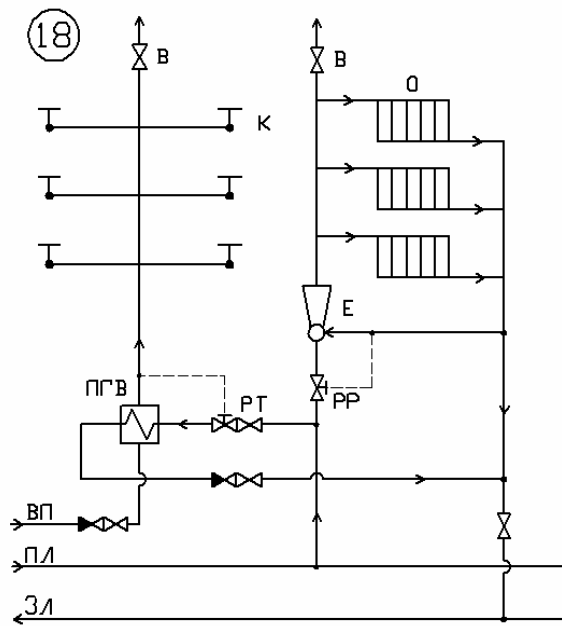
Незалежне приєднання опалювальної установки (схема 17), у порівнянні з залежним приєднанням (схема 15 і 16), дозволяє поліпшити якість води, що надходить в систему гарячого водопостачання, тому що мережна вода не проходить місцеву опалювальну систему, де зростає вірогідність погіршення якості води (поява специфічного присмаку води, запаху, зниження прозорості і т.д.). При цьому підвищується надійність роботи опалювальної установки завдяки автономній циркуляції в ній теплоносія.



РО - регулятор опалення, що призначений для регулювання подачі мережної води в підігрівач опалення залежно від температури повітря в опалювальних приміщеннях.

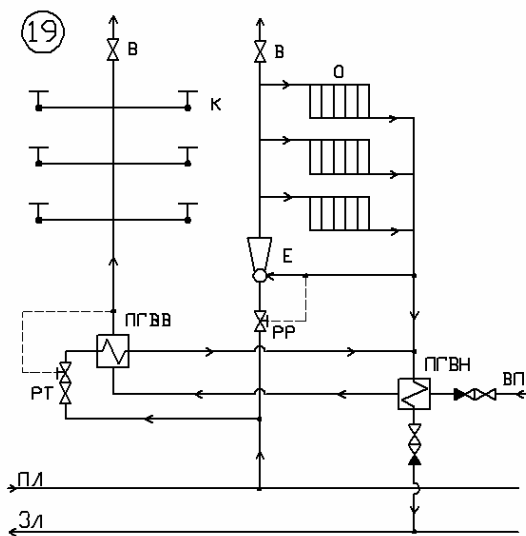
На схемах 18 - 21 показано спільне приєднання установок опалення та гарячого водопостачання до закритої системи тепlopостачання.





При паралельному приєднанні установок опалення та гарячого водопостачання (схема 18) мережна вода використовується недостатньо раціонально, оскільки не передбачається можливість утилізації зворотної мережної води опалювальної установки (з температурою  $40 \div 70$  °С) для попереднього підігріву водопровідної води при підготовці гарячої води.

Цей недолік виключає схема змішаного (паралельно-послідовного) приєднання установок опалення та гарячого водопостачання, яка передбачає двоступеневу підготовку гарячої води (схема 19).

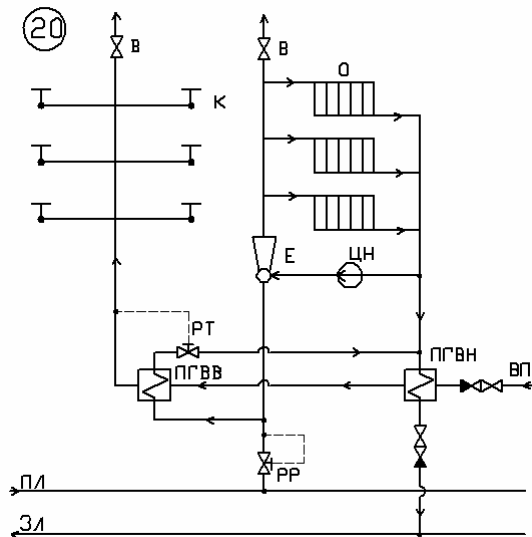


ПГВН і ПГВВ - підігрівачі гарячої води нижнього і верхнього ступеня.

Схема 19 в порівнянні зі схемою 18 дозволяє знизити розрахункову витрату мережної води завдяки частковому задоволенню навантаження гарячого водопостачання за рахунок теплоти мережної води, що повертається з опалювальної установки.

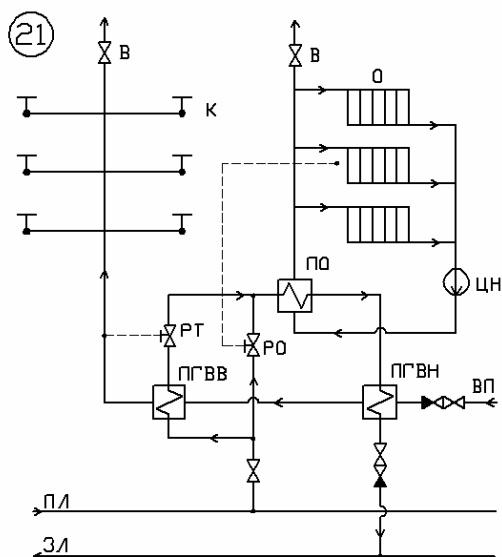
На схемі 20 показано змішане приєднання установок опалення та гарячого водопостачання з двоступеневою підготовкою гарячої води і пов'язаним регулюванням навантажень.

За схемою 20 за допомогою регулятора витрати, встановленого на абонентському ввіді, підтримується постійна витрата мережної води на забезпечення сумарного теплового навантаження опалення та гарячого водопостачання. В якості акумулятора теплоти використовується будівельна конструкція опалюваної будівлі.



В період підвищеного навантаження гарячого водопостачання зменшується віддача теплоти через систему опалення. Брак теплоти компенсується в період малих навантажень гарячого водопостачання, причому в період максимальної подачі теплоти через систему опалення частина теплоти акумулюється в конструкціях будівлі.

За схемою (21) опалювальна установка гідравлічно ізольована від теплової мережі, що підвищує надійність установки при різких коливаннях тиску в мережі, який може перевищити допустимий тиск за умовою міцності місцевої опалювальної установки.



Гідравлічна ізоляція місцевої опалювальної установки доцільна також при обслуговуванні висотні будівель та будівель, розміщених на підвищених ділянках рельєфу місцевості.

#### 2.1.4 Центральні теплові підстанції

Центральні (групові) теплові підстанції (ЦТП і ГТП) призначені для приєднання до теплової мережі групи житлових, громадських або виробничих будівель.

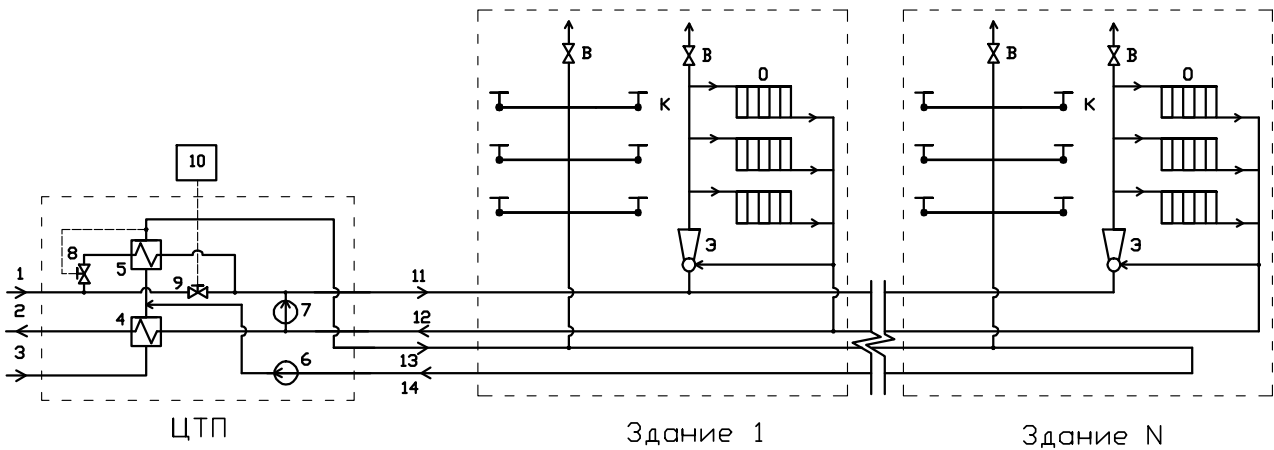
Зазвичай ЦТП включають наступне обладнання:

- групову змішувальну установку мережної води (при залежній схемі приєднання опалювальних установок);

- блок підігрівачів опалення (при незалежній схемі приєднання опалювальних установок);
- блок підігрівачів гарячого водопостачання;
- підкачувальні насоси водопровідної води, а при необхідності і підкачувальні насоси мережної води.

ЦТП доцільно застосовувати на великих промислових підприємствах і в щойно забудованих житлових районах.

На рисунку 2.1 показано ЦТП і приєднання до неї будівель із залежним підключенням опалювальних установок.



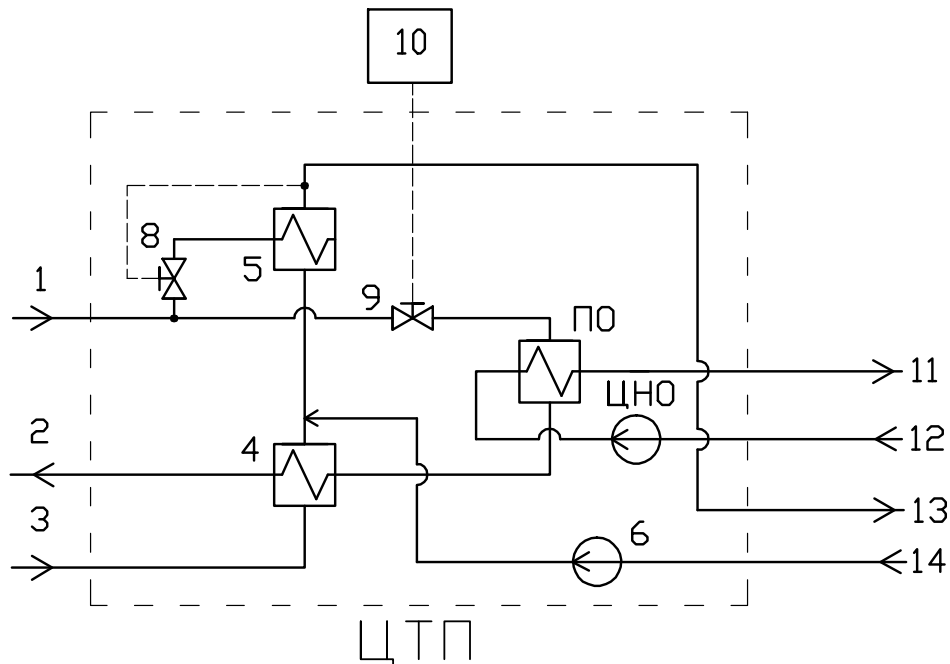
*Рисунок 2.1 - Принципова схема ЦТП і приєднання групи будівель із залежним підключенням опалювальних установок*

Позначення до рисунка 2.1:

- 1 - подавальна лінія теплової мережі;
- 2 - зворотна лінія теплової мережі;
- 3 - водопровід;
- 4 - підігрівач гарячого водопостачання нижнього ступеня;
- 5 - підігрівач гарячого водопостачання верхнього ступеня;
- 6 - циркуляційний насос гарячого водопостачання;
- 7 - змішувальний насос опалення (призначений для попереднього зниження температури мережної води, яка подається в опалювальні установки, шляхом підмішування води із зворотної лінії);
- 8 - регулятор температури гарячої води;
- 9 - регулятор опалення;

- 10 - пристрій, що моделює тепловий режим опалювальних будівель;
- 11 і 12 - подавальна і зворотна лінії місцевих систем опалення;
- 13 і 14 - подавальна і зворотна лінії місцевих систем гарячого водопостачання.

На рисунку 2.2 показана ЦТП для будівель з незалежним підключенням опалювальних установок.



*Рисунок 2.2 - Принципова схема ЦТП для будівель з незалежним підключенням опалювальних установок*

Позначення до рисунка 2.2:

ПО - підігрівач опалення;

ЦНО - циркуляційний насос системи опалення;

інші позначення ті ж, що і на рис. 2.1 (позиція 7 відсутня).

ЦТП має ряд переваг в порівнянні з індивідуальним підключенням абонентів:

- внаслідок укрупнення теплопідготовчих установок зменшуються капітальні витрати при спорудженні і знижуються втрати теплоти при експлуатації;
- спрощується обслуговування і зменшується кількість обслуговуючого персоналу;
- підвищується комфорт в обслуговуваних будівлях внаслідок виносу з будівель насосних установок, які є джерелом шуму.

Разом з цим, при використанні ЦТП зростають капітальні витрати на спорудження розподільчої мережі, оскільки замість двотрубною мережі,

з'являється чотиритрубна мережа. Доцільність спорудження ЦТП слід встановлювати відповідно до конкретних умов на основі техніко-економічних розрахунків.

## **2.2 Приєднання споживачів в парових системах тепlopостачання**

Парові системи тепlopостачання розділяють на 2 групи: з *поверненням конденсату* використаної споживачем пари і *без повернення конденсату*.

Системи *без повернення конденсату* вимагають значно менших капітальних витрат, тому що відсутній конденсатопровід і можливе застосування теплообмінників змішуючого типу, які обходяться дешевше поверхневих теплообмінників.

Можливість неповернення конденсату визначається наступними критеріями:

- невеликий солеміст у вихідній сирій воді (до 200 мг/л);
- порівняно невисокі параметри пари, що одержується в котлах джерел теплоти (для ТЕЦ до 4 МПа, для котелень до 1,2 -1,4 МПа);
- повне використання конденсату у споживачів.

За кількістю ліній теплової мережі парові системи поділяються на: *однотрубні* (без повернення конденсату), *двотрубні*, *три-* та *багатотрубні*.

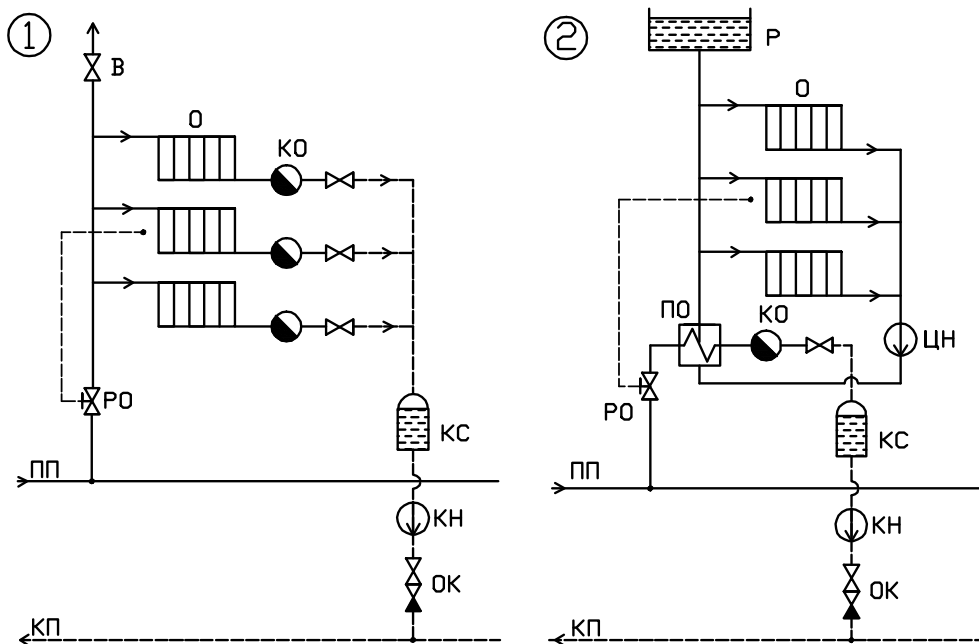
Найбільш поширеними є *двотрубні* системи, що включають подавальний паропровід і конденсатопровід. *Три-* та *багатотрубні* системи споруджуються при необхідності подачі споживачеві пари різних тисків.

За принципом приєднання споживачів схеми приєднання поділяють на: *залежні* і *незалежні*.

У *залежних* схемах приєднання пара безпосередньо надходить із вхідного паропроводу в тепловикористовуючі установки. При *незалежних* схемах приєднання пар надходить в проміжні теплообмінники, де нагріває теплоносій вторинного контуру (зазвичай воду), який надходить в тепловикористовуючі установки.

## 2.2.1 Приєднання опалювальних установок

На схемі 1 показано залежне приєднання опалювальної установки, а на схемі 2 - незалежне.

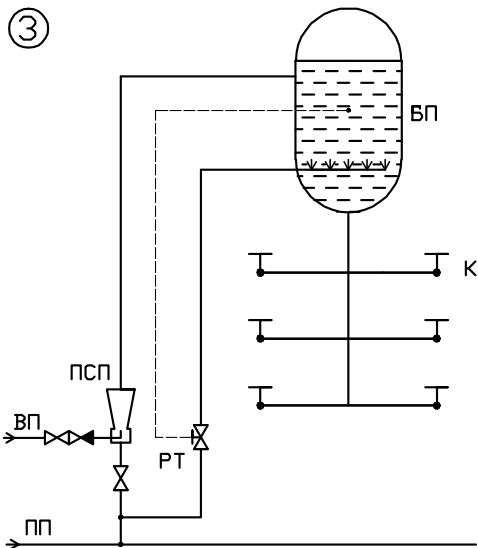


ПП – подавальний паропровід; КП - конденсатопровід; КО - конденсатор-відвідник, призначений для видалення конденсату та ізоляції парової частини установки від конденсатної; КЗ - конденсатозбірник; КН - конденсатний насос; ОК - зворотний клапан.

Вибір схеми приєднання опалювальної установки до парової мережі, тобто приєднання за залежною чи незалежною схемами, визначається параметрами пари у подавальному паропроводі і можливістю подачі такої пари безпосередньо в опалювальні прилади. По надійності експлуатації і комфорту споживачів віддають перевагу незалежній схемі приєднання опалювальних приладів.

## 2.2.2 Приєднання установок гарячого водопостачання

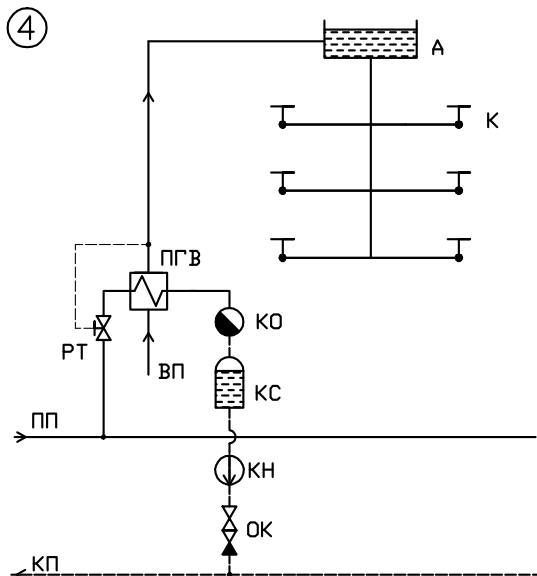
На схемі 3 показано залежне приєднання установок гарячого водопостачання в системі без повернення конденсату, а на схемі 4 - незалежне приєднання.



ПСП - пароструминний підігрівач, що забезпечує інжекцію водопровідної води парю і попередній її підігрів шляхом конденсації пари і змішування конденсату з водопровідною водою;

БП - бак-підігрівач, призначений для накопичення гарячої води і додаткового її нагрівання шляхом подачі пари всередину бака через перфоровані труби або пароструменевий апарат;

За схемою 3 водопровідна вода підсмоктується в пароструминний підігрівач і разом з конденсатом гріючої пари надходить в бак-підігрівач, де відбувається додатковий підігрів води. У бак-підігрівач пара надходить безпосередньо з паропроводу. Витрата пари визначається регулятором температури в баці.



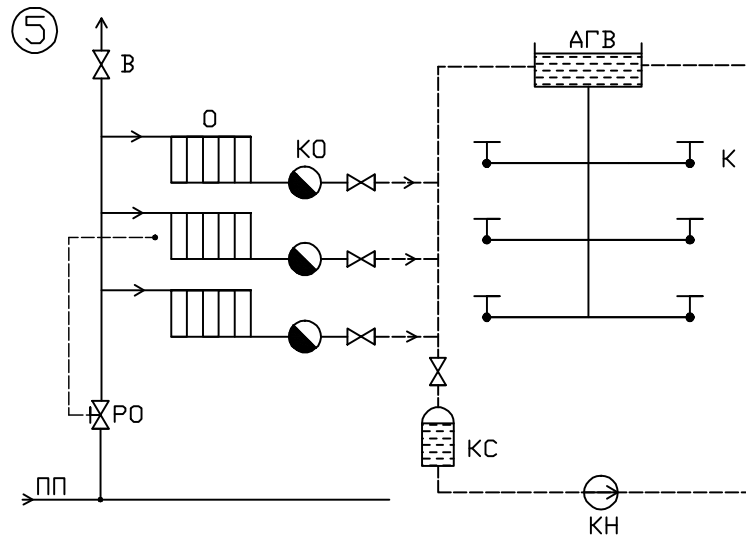
ПГВ - підігрівач гарячої води (пароводяної теплообмінник).

Приєднання за схемою 4 здійснюється через пароводяний підігрівач гарячої води, що видається більш надійною та безпечною схемою гарячого водопостачання в порівнянні з попередньою.

### 2.2.3 Спільне приєднання установок опалення та гарячого водопостачання

Для парових систем з поверненням конденсату схема спільного приєднання установок опалення та гарячого водопостачання представляє комбінації схем 1, 2 і 4.

Для парової системи без повернення конденсату спільне приєднання установок передбачає використання конденсату після опалювальних установок в якості гарячої води (схема 5).



За схемою 5 конденсат з опалювальних приладів через конденсатовідвідник надходить в акумулятор гарячої води АГВ, а потім у водорозбірні крани.

При низьких тисках пари, які не дозволяють підштовхувати конденсат в акумулятор, конденсат стікає самопливом в конденсатозбірник, встановлений в нижній частині будівлі, а потім подається в АГВ конденсатним насосом.

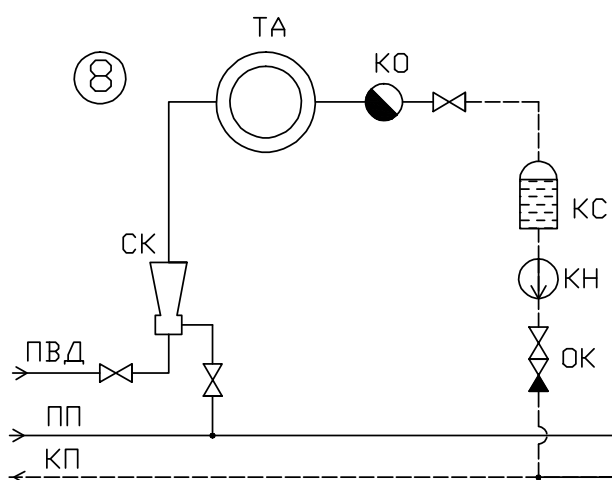
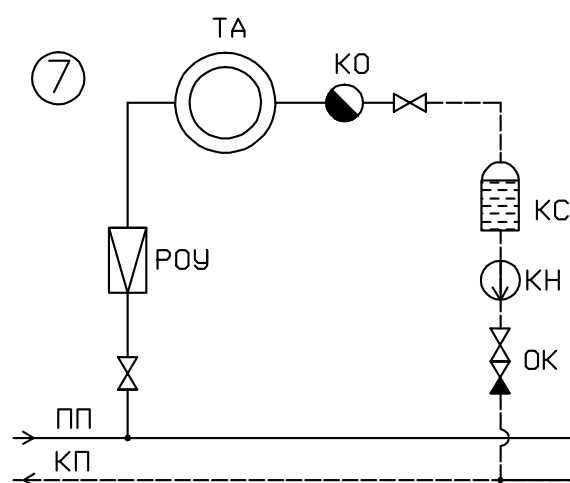
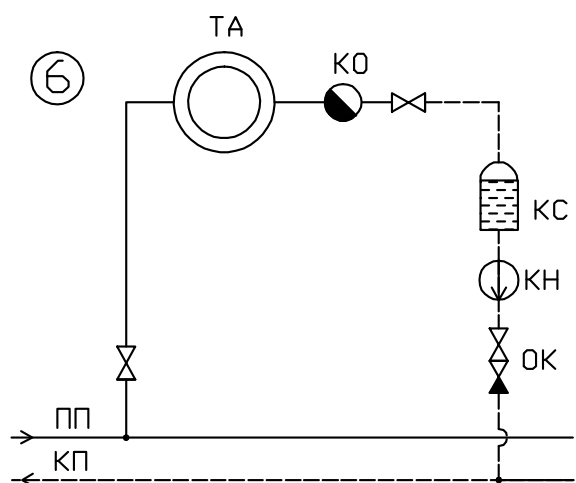
#### 2.2.4 Приєднання технологічних споживачів

Схема приєднання технологічних споживачів залежить від відповідності тиску пари в паровій мережі тиску пари, необхідної для технологічного споживача. Можливі три варіанти (схеми 6-8).

За відповідності тисків технологічний агрегат ТА безпосередньо підключається до парової мережі (схема 6).

При тиску в паропроводі вище тиску, необхідного споживачеві, приєднання здійснюється через РОУ (схема 7). При тиску пари в паровій мережі нижче тиску, необхідного технологічному споживачеві, тиск підвищується, наприклад, струменевим компресором, що працює від паропроводу високого тиску (схема 8).





СК - струменевий компресор;  
 ПВД - паропровід високого тиску.

### 3 ВИБІР І РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

#### 3.1 Вибір системи теплопостачання

Прийняття технічних рішень при проектуванні систем теплопостачання визначається: характеристикою наявного джерела теплоти, домінуючим видом теплового навантаження, особливостями району теплопостачання (промисловий або житловий), рельєфом місцевості та іншими факторами. Вибір чи розробка технічних рішень вимагають техніко-економічних порівнянь варіантів.

##### 3.1.1 Вибір теплоносія

Альтернативними варіантами є пара або нагріта вода.

*Основні переваги води як теплоносія в порівнянні з паром:*

- можливість ступінчастого підігріву мережної води із застосуванням для підігріву низькопотенційної пари, що підвищує теплову економічність підготовки теплоносія;

- збереження конденсату пари, що гріє мережну воду, у ТЕЦ і котельнях;
- можливість регулювання подачі тепла в систему теплопостачання з ТЕЦ чи котельні шляхом зміни температури мережної води або її витрати;
- можливість транспортування мережної води на великі відстані;
- простота приєднання споживачів до водяної теплової мережі;
- порівняно низькі температури води і відповідно низькі температури нагрівальних приладів, що робить систему більш комфортною та безпечною;
- велика теплоакumuлююча здатність водяних систем теплопостачання;
- великий термін служби водяних систем теплопостачання.

*Основні недоліки води як теплоносія:*

- велика витрата електроенергії на транспортування води в тепловій мережі;
- велика чутливість до витоків водяних систем теплопостачання в порівнянні з паровими;
- жорсткий гідравлічний зв'язок між елементами системи внаслідок великої щільності води.

*Основними перевагами пари в порівнянні з водою:*

- менш висока початкова вартість парових систем теплопостачання в порівнянні з водяними внаслідок менших діаметрів трубопроводів і більш компактних теплообмінників при однаковій тепловій потужності;
- широкий діапазон застосування пари, наприклад, можливість застосування пари як для теплових споживачів, так і для силових споживачів (приводу турбін, насосів, повітродувок та інше);
- здатність пари саморозподілятися в системі, що виключає витрати енергії на транспортування пари;
- швидкий прогрів і швидке охолодження систем парового опалення, що важливо для приміщень з періодичним обігрівом.

*Основні недоліки пари як теплоносія:*

- підвищені тепловтрати при транспортуванні внаслідок більш високої температури пари в порівнянні з водою;
- менший термін служби парових систем теплопостачання в порівнянні з водяними внаслідок інтенсивної корозії конденсатопроводів;

Застосування пари для комунально-побутових споживачів досить обмежене, наприклад, парове опалення застосовується тільки в тих приміщеннях, де не передбачено довгострокове перебування людей, тому в

житлових будинках парові системи теплопостачання практично не застосовуються.

### 3.1.2 Порівняння відкритих та закритих систем теплопостачання

*Переваги відкритих систем теплопостачання:*

- можливість застосування однотрубною системи теплопостачання, що знижує капітальні і експлуатаційні витрати;
- можливість використання для гарячого водопостачання низькопотенційного відпрацьованого теплоносія (води із зворотної лінії теплової мережі);
- спрощення і здешевлення місцевих та центральних теплових підстанцій за рахунок відсутності підігрівачів гарячої води;
- підвищення довговічності місцевих установок гарячого водопостачання внаслідок застосування в якості гарячої води хіміобробленої води (знесоленої і деаерованої мережної води, що знижує утворення накипу і інтенсивність корозії в місцевих системах в порівнянні з водопровідною водою).

*Недоліки відкритих систем теплопостачання:*

- ускладнення і здорожчання водопідготовки внаслідок відсутності повернення мережної води в ТЕЦ або в котельні;
- ускладнення експлуатації систем теплопостачання через нестабільність гідравлічного режиму, пов'язане зі змінністю витрати мережної води у зворотній лінії теплової мережі;
- ускладнення контролю за герметичністю системи;
- нестабільність якості води, що надходить на гаряче водопостачання в місцеві системи (за запахом, смаком та іншим параметрам);
- ускладнення заходів та збільшення обсягу санітарного контролю за якістю води в системі гарячого водопостачання.

*Переваги закритих систем теплопостачання:*

- ізолюваність водопровідної води, що надходить в установки гарячого водопостачання, від води, що циркулює в тепловій мережі, яка стабілізує якість гарячої води і спрощує санітарний контроль за системою;
- спрощення контролю за герметичністю теплової мережі, який здійсню-

ється при зміні тиску в тепловій мережі або за величиною підживлення мережної води;

- мінімальні витрати на підготовку мережної води.

*Недоліки закритих систем теплопостачання:*

- ускладнення обладнання місцевих систем гарячого водопостачання через установки водоводяних підігрівачів гарячої води;
- виділення накипу в підігрівачах гарячої води і в трубопроводах місцевої системи внаслідок використання для підготовки води звичайної водопровідної води, тобто без попереднього пом'якшення;
- корозія місцевих установок гарячого водопостачання через застосування для підготовки гарячої води недеаерованої водопровідної води.

### **3.1.3 Порівняння залежних і незалежних схем підключення споживачів**

*Переваги залежної схеми приєднання:*

- спрощення устаткування і зниження капітальних витрат, пов'язаних з приєднанням споживачів до теплової мережі внаслідок відсутності проміжного теплообмінника для нагрівання теплоносія вторинного контуру;
- більш високий перепад температур (порівняно з незалежною схемою) між теплоносієм і тепловикористовуючим середовищем, наприклад, повітрям в опалювальному приміщенні, що зменшує витрати теплоносія, діаметри трубопроводів теплової мережі і витрата електроенергії на транспортування теплоносія.

Основним недоліком залежної схеми приєднання є жорсткий гідравлічний зв'язок теплової мережі і тепловикористовуючих приладів, які мають, як правило, обмежену механічну міцність.

За умовами надійності роботи незалежна схема приєднання є більш кращою, причому, коли тиск в тепловій мережі в статичних умовах перевищує допустимий рівень тиску в абонентських установках, застосування незалежної схеми приєднання обов'язково.

## **3.2 Регулювання системи теплопостачання**

### **3.2.1 Способи регулювання та їх класифікація**

Завдання регулювання полягає у збереженні відповідності між кількістю

теплоти, що подається споживачу, і кількістю теплоти, необхідної споживачеві, що забезпечує високу енергетичну і економічну ефективність підготовки, транспорту та використання теплоносія.

Залежно від місця регулювання розрізняють:

1. *Центральне* регулювання, яке здійснюється на ТЕЦ або в котельнях, тобто безпосередньо при підготовці теплоносія.

2. *Місьцеве* регулювання, яке здійснюється на центральних або місцевих теплових підстанціях.

3. *Індивідуальне* регулювання, яке здійснюють на теплоспоживаючих приладах і установках.

4. *Комбіноване* регулювання, яке є раціональним поєднанням всіх перерахованих вище варіантів регулювання.

Сутність способів регулювання полягає у зміні тих чи інших характеристик системи теплопостачання. Розглянемо можливості регулювання на місцевій системі опалення, основні характеристики якої пов'язані рівнянням теплового балансу і теплопередачі, що виражають теплове навантаження опалення  $Q$ :

$$Q = M_c c_v (\tau_1 - \tau_2) n, \quad (3.1)$$

$$Q = k_{np} F_{np} \left( \frac{\tau_1 - \tau_2}{2} - t_{вр} \right) n, \quad (3.2)$$

де  $M_c$  - масова витрата мережної води через опалювальний прилад;

$c_v$  - теплоємність води;

$\tau_1, \tau_2$  - температури мережної води в подавальній та зворотній лініях теплової мережі;

$k_{np}$  - коефіцієнт теплопередачі опалювального приладу;

$F_{np}$  - теплопередавальна поверхня опалювального приладу;

$t_{вр}$  - розрахункова температура повітря усередині опалювального приміщення;

$n$  - тривалість роботи опалювального приладу або тривалість подачі мережної води.

З рівняння (3.1) вираз для значення  $\tau_2$  набуває вигляду:

$$\tau_2 = \tau_1 - \frac{Q}{M_c c_v n}. \quad (3.3)$$

Після підстановки виразу (3.3) в рівняння (3.2):

$$Q = k_{np} F_{np} \left( \frac{\tau_1 + \tau_1 - \frac{Q}{M_c C_b n}}{2} - t_{bp} \right) n, \quad (3.4)$$

і наступного перетворення:

$$Q - Q \frac{k_{np} F_{np}}{2 M_c C_b} = k_{np} F_{np} \tau_1 n - k_{np} F_{np} t_{bp} n,$$

$$Q \left( 1 + \frac{k_{np} F_{np}}{2 M_c C_b} \right) = k_{np} F_{np} n (\tau_1 - t_{bp})$$

отримана формула, що зв'язує основні параметри місцевої опалювальної установки:

$$Q = \frac{\tau_1 - t_{bp}}{\frac{1}{k_{np} F_{np}} + \frac{1}{2 M_c C_b}} n. \quad (3.5)$$

Відповідно до формули (3.5) теплове навантаження можна регулювати шляхом зміни п'яти параметрів:

- температури теплоносія в лінії подачі теплової мережі ( $\tau_1$ );
- витрати теплоносія ( $M_c$ );
- тривалості подачі теплоносія ( $n$ );
- коефіцієнта теплопередачі теплоспоживаючого приладу ( $k_{np}$ );
- площі теплопередавальних поверхонь опалювального приладу ( $F_{np}$ ).

Із зазначених п'яти параметрів практичну можливість центрального регулювання, яке є найбільш кращим, тому що забезпечує можливість раціонального використання палива, слід виділити наступні методи регулювання:

1) *якісний*, що полягає у зміні температури теплоносія при збереженні постійними його витрати і тривалості подачі теплоносія;

2) *кількісний*, що полягає в зміні витрати теплоносія при постійній його температурі та тривалості подачі;

3) *якісно-кількісний*, що полягає у спільній зміні температури і витраті теплоносія;

4) *переривчасте регулювання* або регулювання «пропусками», тобто регулювання шляхом періодичного припинення подачі теплоносія споживачам.

### 3.2.2 Вибір способу регулювання

Вибір способу регулювання полягає у визначенні переважного варіанта регулювання за місцем регулювання (центральне, місцеве або індивідуальне), і по змінюваному параметру (якісне, кількісне, якісно-кількісне або переривчасте).

У практиці тепlopостачання склалася певна концепція, яка полягає в наступному.

Центральним регулюванням проводиться загальне (грубе) регулювання відпуску теплоти з ТЕЦ або котелень. Повною мірою центральне регулювання задовольняє споживачів тільки при однорідному тепловому навантаженні.

При різноманітному тепловому навантаженні центральне регулювання слід поєднувати з коригуванням місцевого та індивідуального регулювання. При цьому регулювання в окремих пунктах системи тепlopостачання взаємно доповнюють один одного і послідовно уточнюють регулювання подачі теплоти з урахуванням різноманітних факторів, що впливають на теплоспоживання.

У більшості випадків регулююча система обмежується двома ступенями регулювання: центральним і місцевим.

Центральне регулювання відпуску теплоти орієнтується на основне теплове навантаження, яким зазвичай є опалювальне навантаження. Можливо також центральне регулювання за двома основними тепловими навантаженнями, наприклад, опаленням та гарячим водопостачанням, при заданому співвідношенні між розрахунковими значеннями цих навантажень.

Всі види регулювання за місцем (центральне, місцеве і індивідуальне) здійснюються будь-яким з перерахованих вище методів регулювання, тобто якісним, кількісним, якісно-кількісним або переривчастим.

Якісне регулювання внаслідок сталості витрат теплоносія забезпечує стабільність гідравлічного режиму системи тепlopостачання, що є основною перевагою цього способу. Якісне регулювання, що легко здійснюється при центральному регулюванні, і сприяє спрощенню місцевого та індивідуального регулювання, тому що зберігає постійним витрату мережної води через місцеві установки тепlopостачання.

Якісне регулювання є найбільш поширеним методом центрального регулювання.

У порівнянні з кількісним регулюванням, якісне регулювання вимагає помітно більшої витрати електроенергії на транспортування теплоносія, що є недоліком цього методу.

Кількісне регулювання має обмежене застосування при центральному регулюванні внаслідок нестабільності гідравлічного режиму теплових мереж, пов'язаної зі зміною витрати теплоносія.

При великому діапазоні якісного регулювання спостерігається розрегулювання системи, тобто непропорційність витрати теплоносія різними споживачами, підключеними до теплової мережі.

Кількісне регулювання широко застосовують для індивідуального регулювання, що дозволяє коригувати теплову роботу теплоспоживаючих приладів місцевих систем теплопостачання.

Разом з цим, витрати електроенергії на привід циркуляційних насосів при кількісному регулюванні значно менше, ніж при якісному регулюванні.

Якісно-кількісне регулювання також дозволяє знизити в порівнянні з якісним регулюванням витрату електроенергії на циркуляцію теплоносія. Якісно-кількісне регулювання доцільно використовувати при наявності навантажень опалення та гарячого водопостачання шляхом зміни витрати мережної води при зменшенні опалювального навантаження, що виключає зниження температури в подавальному трубопроводі теплової мережі нижче рівня, необхідного для гарячого водопостачання.

Переривчасте регулювання доцільно застосовувати в теплу пору опалювального періоду, коли через низькі температури мережної води, недостатні для гарячого водопостачання, доводиться відмовлятися від якісного регулювання. Ув'язка графіків подачі та використання теплоти при регулюванні пропусками здійснюється за допомогою різних теплоакumuлюючих ємностей.

Переривчасте регулювання викликає значні коливання температур в будівлях, що не володіють великою теплоакumuлюючою здатністю. В істотно неоднакових умовах при переривчастому регулюванні знаходяться споживачі теплоти, розташовані поблизу від місця регулювання і віддалені від місця регулювання (тобто місця розміщення циркуляційних насосів).



Основними методами регулювання відпуску теплоти при паровому теплоносії є переривчасте регулювання і якісне регулювання шляхом дроселювання пари, що зменшує температуру його конденсації і цим знижує температурний рівень у теплоспоживаючих приладах. Регулювання пропусками і дроселюванням застосовується в парових системах теплопостачання в якості місцевого варіанта регулювання.

При регулюванні дроселюванням обмежена нижня межа регулювання температури  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тому що тиск пари небажано знижувати до значення, менше  $0,1\text{ МПа}$ . Для отримання менш високих температур слід переходити на роботу з вакуумом, що не завжди представляється можливим.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7-е изд. стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.: ил.
2. Либерман Н.Б., Нянкoвская М.Т. Справочник по проектированию котельных установок систем централизованного теплоснабжения (Общие вопросы проектирования и основное оборудование). – М.: Энергия, 1979. – 224 с.: ил.
3. Пешехонов Н.И. Проектирование теплоснабжения. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1982.-328 с.: ил.

Навчальне видання

Гічов Юрій Олександрович

**ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ  
ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ  
Частина II**

Конспект лекцій

Тем. план. 2011, поз. 334

Підписано до друку 6.10.2011 Формат 60×84 1/16. Папір друк. Друк плоский.  
Облік.-вид. арк. 2.88. Умов. друк. арк. 2.84. Тираж 100 пр. Замовлення №

Національна металургійна академія України  
49600, м. Дніпропетровськ-5, пр. Гагаріна, 4

---

Редакційно-видавничий відділ НМетАУ