

ЛІТЕРАТУРА



НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Кафедра електричної інженерії



Методичні вказівки  
для виконання

**ПРАКТИЧНИХ РОБІТ**

З КУРСУ

**"Енергетичні системи забезпечення  
життєдіяльності людини"**

для здобувачів вищої освіти  
за ОПП Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка  
другого рівня вищої освіти

ID 1974

Тернопіль 2023

Методичні вказівки для виконання практичних робіт з курсу «Енергетичні системи забезпечення життєдіяльності людини» для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Уклад.: М.М. Зінь. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2023. – 39 с.

**Укладач:** Зінь М.М.

**Рецензент:** Коваль В.П.

Методичні вказівки розглянуто і затверджено на засіданні кафедри електричної інженерії.

Протокол № 1 від 25.08.2023 р.

Схвалено методичною радою ФПТ Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

Протокол № 1 від 30.08.2023 р.

## ЗМІСТ

	Стор.
<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1</b> <b>РОЗРАХУНОК ТЕРМІЧНОГО ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ</b> <b>ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ</b> <b>БУДИНКІВ</b> .....	6
<b>ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2</b> <b>РОЗРАХУНОК ВТРАТ ТЕПЛОВОЇ ПОТУЖНОСТІ</b> <b>ПРИМІЩЕННЯМИ, ЯКІ ОПАЛЮЮТЬСЯ</b> .....	10
<b>ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3</b> <b>РОЗРАХУНОК ПЛОЩІ ПОВЕРХНІ НАГРІВАННЯ</b> <b>ОПАЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ</b> .....	16
<b>ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4</b> <b>ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІАМЕТРІВ</b> <b>ТРУБОПРОВІДІВ СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ</b> <b>БУДИНКУ</b> .....	20
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	36
<b>ДОДАТКИ</b>	
Додаток А.....	37
Додаток Б.....	37
Додаток В.....	38

## ВСТУП

Рівень життя людей і розвитку техніки та технологій у будь якій країні світу безпосередньо пов'язаний з енергетичними системами (ЕС). Кожне сучасне домогосподарство має власні ЕС, які є автономними або мережевими. До них відносять системи електро- і тепlopостачання (опалення), гарячого водopостачання, вентиляції та кондиціювання повітря й ін. Основне завдання цих систем – забезпечення комфортних умов для життєдіяльності людини. На сьогоднішній день до них ставлять також такі специфічні вимоги, як висока енергоефективність та максимально можливе використання відновлюваних джерел енергії. Причиною цього є глобальні кризи – енергетична, екологічна й економічна, які, зокрема, дуже важко переживає і наша країна.

Знання, які будуть набуті під час виконання практичних робіт з дисципліни «Енергетичні системи забезпечення життєдіяльності людини», дадуть змогу майбутнім фахівцям набути навички розрахунку вискоефективних систем постачання тепла, вентиляції і кондиціювання повітря, а також енергоефективних споживачів цих ресурсів (теплової енергії та джерел, з яких її виробляють (у холодну пору року), свіжого повітря з заданою (комфортною) температурою (круглорічно) та повітря зі зниженою температурою (у спекотну пору року)).

Наведені методичні рекомендації до виконання практичних робіт є складовою частиною дисципліни «Енергетичні системи забезпечення життєдіяльності людини» для студентів, які здобувають освітній рівень «магістр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Метою практикуму є практичне вивчення, закріплення та поглиблення базових знань, які були отримані під час лекційних занять.

Студент повинен ознайомитися з методиками розрахунку: термічного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків; втрат теплової потужності приміщеннями, які опалюються; площі поверхні нагрівання опалювальних приладів; діаметрів трубопроводів на різних ділянках систем водяного опалення будинків та ін. Крім того, під час зазначених розрахунків магістрант повинен велику увагу приділяти підвищенню енергоефективності приватних домогосподарств у питаннях споживання тепла та холоду, позаяк Україна у цьому відношенні дуже серйозно відстає від розвинених країн світу. А це, у свою чергу, вкрай негативно позначається на стані економіки нашої держави, рівні життя та добробуті наших громадян.

Вивчення дисципліни базується на знаннях попередніх дисциплін насамперед фізичного, енергетичного та економічного спрямування (особливо тих, у яких велика увага приділялася питанням енергоефективності), які вивчалися під час здобуття освітнього рівня «бакалавр» та протягом перших двох семестрів магістратури зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

У цих методичних вказівках для виконання практичних робіт наведено

задачі, які студенти повинні розв'язати згідно з індивідуальними завданнями.

За результатами семестру студент отримує підсумкову оцінку за 100-бальною системою.

*Вчасно захищеною вважається робота, захист якої відбувся у межах часу, що передбачений для цієї роботи в робочій навчальній програмі студента та згідно з розкладом занять.*

*Якщо за результатами модульного контролю студент отримав сумарну оцінку за два модулі, яка є меншою, ніж 45 балів, то він не допускається до іспиту і вважається таким, що не виконав всіх видів робіт, які передбачаються навчальним планом на семестр з дисципліни «Енергетичні системи забезпечення життєдіяльності людини».*

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

### РОЗРАХУНОК ТЕРМІЧНОГО ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДИНКІВ

*Мета роботи:* ознайомитися з методикою розрахунку термічного опору теплопередачі зовнішніх огорожень будинків відповідно до норм, які на сьогоднішній день діють в Україні.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Термічний опір теплопередачі зовнішніх стін визначають за формулою:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}$$

Для тришарової стінки (рис. 1.1) ця формула набуде наступного вигляду:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{зн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}$$

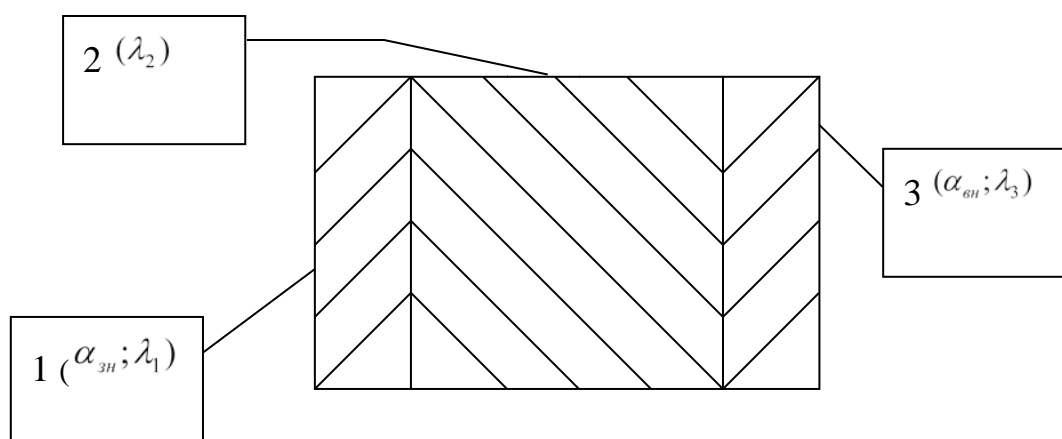


Рис. 1.1. Поперечний розріз зовнішньої стіни:

- 1 – штукатурка зі складного розчину (пісок, вапно, цемент);
- 2 – цегляна кладка зі звичайної глиняної цегли;
- 3 – штукатурка з вапняно-піщаного розчину

З табл. 1.1 визначаємо варіанти завдання, а саме матеріали, з яких виготовлені окремі шари стіни, та товщину кожного з них. Коефіцієнти теплопровідності  $\lambda$  будівельних матеріалів наведені у табл. 1.2, а коефіцієнти теплосприйняття та тепловіддачі  $\alpha_{\text{вн}}$ ,  $\alpha_{\text{зн}}$  – у табл. 1.3. Товщини  $\delta$  шарів стіни наведені для різних варіантів у табл. 1.1. Під час обчислення термічного опору теплопередачі  $R_0$  числові значення всіх величин у правій частині відповідного рівняння необхідно **перевести до міжнародної системи одиниць SI**.

Визначимо термічний опір теплопередачі зовнішньої стіни згідно з рис.1.1:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{zn}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{zn}} = \frac{1}{23} + \frac{0,03}{0,86} + \frac{0,51}{0,81} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{8,7} = 0,85 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Bm} .$$

Коефіцієнт теплопередачі зовнішньої стіни:

$$k = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{0,85} = 1,18 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C} .$$

Таблиця 1.1

Варіанти завдань (зовнішні стіни)

№ варіанту	Матеріал стін			Товщини шарів стіни $\delta$ , см		
	1-й шар (зовні)	2-й шар	3-й шар	1	2	3
1	11	1	12	1	20	5
2	12	2	13	1,5	25	4,5
3	13	3	12	2	30	4
4	12	4	11	2,5	35	3,5
5	11	5	12	3	40	3
6	12	6	13	3,5	45	2,5
7	13	7	12	4	50	2
8	12	9	11	4,5	38,5	1,5
9	11	12	10	5	51	1
10	12	9	13	4,5	64,5	1,5
11	13	9	12	4	78	2
12	12	7	11	3,5	55	2,5
13	11	6	12	3	60	3
14	12	5	13	2,5	65	3,5
15	13	4	12	2	70	4
16	12	3	11	1,5	75	4,5
17	11	2	12	1	80	5
18	12	1	13	1,5	75	5,5
19	13	2	12	2	70	6
20	12	3	11	2,5	65	6,5
21	11	4	12	3	60	7
22	12	5	13	3,5	55	7,5
23	13	6	12	4	50	8
24	12	7	11	4,5	45	7,5
25	11	9	12	5	64,5	7

Таблиця 1.2

Коефіцієнти теплопровідності деяких будівельних матеріалів

№ з/п	Назва	$\lambda, \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$
1	Залізобетон	1,63
2	Бетон на гравії або на цегляному щебні	1,45
3	Бетони пористі (газобетон, пінобетон, газосилікат, піносилікат)	0,41
4	Перлітобетон, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	0,33
5	Перлітобетон, $\rho = 400 \text{ кг/м}^3$	0,15
6	Керамзитобетон, $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$	0,58
7	Керамзитобетон, $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$	0,29
8	Ґрунт рослинний під будинком	1,16
9	Мур із звичайної глиняної цегли	0,81
10	Мур з силікатної цегли	0,86
11	Цементно-пісковий розчин або штукатурка з нього	0,93
12	Складний розчин (пісок, вапно, цемент), або штукатурка з нього	0,86
13	Вапняно-пісковий розчин або штукатурка з нього	0,81

Таблиця 1.3

Розрахункові величини коефіцієнтів теплосприйняття  $\alpha_{вн}$  і тепловіддачі  $\alpha_{зн}$ 

№ з/п	Поверхні огороження	$\alpha_{вн}$	$\alpha_{зн}$
		$\frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	
1	Внутрішні поверхні стін, підлог і гладких стель, а також стель з ребрами, що виступають, відношення висоти яких до відстані між ними складає $h/a < 0,3$	8,7	-
2	Те ж саме, $h/a > 0,3$	7,6	-
3	Зовнішні поверхні зовнішніх стін, покриття, перекриття над проїздами	-	23
4	Перекриття над холодними підвалами, які відкриті для доступу зовн. повітря	-	17
5	Перекриття з горищами і над підвалами, що не опалюються і які мають світлопрозорі пройми у стінах	-	12
6	Перекриття над підвалами, що не опалюються і не мають світлопрозорих проїм у стінах	-	6



З урахуванням необхідності забезпечення енергоефективності будівель термічний опір теплопередачі  $R_0$  всіх зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку повинен дорівнювати або бути більшим від нормативних значень, які діють в Україні. Станом на 2024 рік їх можна взяти з [9] (ДБН В.2.6-31:2021). Відтак всі зовнішні огорожувальні конструкції будинків, термічний опір теплопередачі  $R_0$  яких не відповідає нормам, необхідно додатково утеплити. Якщо ж утеплення з тих чи інших причин є неможливим, то – замінити більш енергоефективними конструкціями. Це, зокрема, стосується зовнішніх вікон.

Широкий спектр утеплювальних матеріалів та сучасних енергоефективних будівельних конструкцій (зокрема, віконних) представлено у [8] (ДБН В.2.6-31:2006).

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке теплопередача? Термічний опір теплопередачі, формула для розрахунку, одиниці вимірювання?

2. Що таке коефіцієнт теплопередачі? Формула для розрахунку, одиниці вимірювання?

3. Що таке теплопровідність? Коефіцієнт теплопровідності, одиниці вимірювання?

4. Що таке тепловіддача (теплосприйняття)? Коефіцієнт тепловіддачі(теплосприйняття), одиниці вимірювання?

5. Яким на сьогоднішній день є мінімальне нормативне значення термічного опору теплопередачі зовнішніх стін будинків, які опалюються (в Україні)?

6. Які матеріали використовують для підвищення термічного опору теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків?

7. З якої сторони зовнішнього огороження (зовнішньої чи внутрішньої) краще встановлювати шар утеплювального матеріалу? Обґрунтуйте це з різних точок зору.

8. У якому документі наведені мінімальні нормативні значення термічних опорів теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків (в Україні)?

### СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
2. Назва роботи.
3. Мета роботи.

4. Теоретичні відомості.
5. Завдання до виконання роботи (згідно з варіантом).
6. Результати виконання завдання.
7. Висновки.

Звіт з практичної роботи повинен бути виконаний на аркушах паперу формату А4 (297×210 мм).

## **ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2**

### **РОЗРАХУНОК ВТРАТ ТЕПЛОВОЇ ПОТУЖНОСТІ ПРИМІЩЕННЯМИ, ЯКІ ОПАЛЮЮТЬСЯ**

*Мета роботи:* навчитися визначати втрати тепла (за одиницю часу) приміщеннями, які опалюються, а також будинками, де ці приміщення знаходяться, в цілому, і правильно оформляти результати відповідних розрахунків.

#### **ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ**

Для визначення втрат тепла окремими приміщеннями і будинком в цілому необхідно мати наступні вихідні дані: плани поверхів і характерні розрізи по будинку з усіма будівельними розрізами; позначення сторін горизонту і рози вітрів; призначення кожного приміщення; місце побудови будинку (назву населеного пункту); конструкції всіх зовнішніх огорожень, які обґрунтовані шляхом теплотехнічних розрахунків.

Всі приміщення, що опалюються, слід позначати порядковими номерами (починаючи з № 1 і далі – приміщення підвалу; з № 101 і далі – приміщення першого поверху; з № 201 і далі – приміщення другого поверху і т.д.). Приміщення нумерують зліва направо, причому сходові клітки позначають окремо буквами або римськими цифрами і незалежно від поверховості будинку розглядають як одне приміщення. Номери представляють на кресленнях в центрі приміщення у кружечку.

Втрати тепла приміщеннями, що опалюються, поділяють на основні і додаткові.

Основні втрати тепла приміщеннями складаються із втрат тепла через окремі огорожувальні конструкції, що визначаються за формулою:

$$Q = Fk(t_g - t_z)n, \text{ Вт,}$$

де  $F$  – площа огорожувальної конструкції, через яку відбувається втрата тепла,  $m^2$ ;

$k = \frac{1}{R}$  – коефіцієнт теплопередачі цієї огорожувальної конструкції,  $\frac{Вт}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ;

$t_g$  – розрахункова температура повітря у приміщенні (внутрішнього повітря),  $^\circ C$ ;

$t_3$  – розрахункова температура зовнішнього повітря,  $^\circ C$ ;

$n$  – коефіцієнт поправки до розрахункової різниці температур ( $t_g - t_3$ ).

Площу  $F$  огорожувальної конструкції під час підрахунку втрат тепла вимірюють за планами і розрізами будинку, дотримуючись стандартних правил.

Коефіцієнт теплопередачі  $k$  огорожувальної конструкції визначають за формулою:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \frac{Вт}{m^2 \cdot ^\circ C},$$

де  $\alpha_1$  – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря до внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції,  $\frac{Вт}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ;

$\alpha_2$  – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції до зовнішнього повітря,  $\frac{Вт}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ;

$\delta_i, \lambda_i$  – товщини та коефіцієнти теплопровідності окремих шарів стінки, відповідно м і  $Вт/(м \cdot ^\circ C)$ .

Якщо огорожувальна конструкція типова, то її коефіцієнт теплопередачі  $k$  визначають за даними довідкової літератури.

Внутрішня температура  $t_g$  для приміщень житлових і громадських будинків приймається залежно від призначення приміщення. Наприклад, для класної кімнати школи найсприятливішою вважається температура повітря « $+16^\circ C$ », для групової кімнати дитячого садка – « $+20^\circ C$ », для житлової кімнати квартири – « $+18^\circ C$ ». Детальнішу інформацію з цього питання можна одержати у довідковій літературі.

Розрахункова зовнішня температура  $t_3$ , приймається рівною середній температурі повітря найхолодніших п'ятиденок у даному населеному пункті з восьми зим за крайні 50 років. Для м. Тернополя вона становить « $-18^\circ C$ », для Києва – « $-21^\circ C$ » (детальнішу інформацію з цього питання наведено у довідковій літературі).

Поправковий коефіцієнт  $n$  до розрахункової різниці температур ( $t_e - t_s$ ) вводить під час підрахунку втрат тепла крізь огорожувальні конструкції, які зовнішньою стороною повернені до приміщення, що не опалюється (горище, підвал, тамбур і т.д.), а не назовні (табл. 2.1).

Теплообмін через огороження між сусідніми приміщеннями, що опалюються, враховується, якщо різниця температур повітря у цих приміщеннях є більшою, ніж  $5^{\circ}\text{C}$ . За меншої різниці температур теплообмін є незначним і тому не враховується.

Таблиця 2.1

Значення поправкового коефіцієнту  $n$  до розрахункової різниці температур

№ з/п	Вид огороження	$n$	
1	Горищні перекриття у випадку сталевого, черепичного або азбестоцементного (шиферного) даху на латах, між якими наявні проміжки, а також безгорищні покриття з проміжками (піддашшями, напівпрохідними чи прохідними технічними поверхнями тощо), які вентилюються	0,9	
2	Те ж саме, але за суцільного настелення лат або дощок під дахом	0,8	
3	Горищні перекриття у випадках дахів з рулонних матеріалів (руберойд та ін.)	0,75	
4	Огороження, що відділяють приміщення, які опалюються, від приміщень, що не опалюються і <b>доступні</b> для зовнішнього повітря	0,7	
5	Огороження, що відділяють приміщення, які опалюються, від приміщень, що не опалюються і <b>недоступні</b> для зовнішнього повітря	0,4	
6	Перекриття над підлоговим простором нижче рівня землі у випадку неперервної конструкції цоколя з $R > 0,86 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$	0,4	
7	Те ж, над холодним підлоговим простором вище рівня землі у випадку цоколя з $R < 0,86 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$	0,75	
8	Те ж, над підвалами, які не опалюються і розташовані нижче від рівня землі або з зовнішніми стінами, що виступають над рівнем землі до 1 м:	а) за наявності вікон	0,6
		б) за відсутності вікон	0,4

Додаткові втрати тепла приміщеннями враховують орієнтацію приміщень до сторін горизонту, наявність двох і більше зовнішніх стін, надходження у приміщення зовнішнього повітря крізь зовнішні двері і

ворота, висоту приміщень, інфільтрацію у приміщення зовнішнього повітря крізь нещільності будівельних конструкцій (щілини у вікнах, дверях та ін.). Їх визначають у відсотках до основних втрат (див. вище) крізь відповідну огорожувальну конструкцію.

Величина добавки на орієнтацію до сторін горизонту визначається за схемою, яку зображено на рис. 2.1.

Величина добавки на наявність двох або більше зовнішніх стін для громадських приміщень і допоміжних приміщень виробничих будинків становить 5 %. У кутових приміщеннях житлових та їм подібних будинків розрахункову температуру внутрішнього повітря підвищують на 2 % і цю добавку не вводять.

Величина добавки на підігрівання холодного повітря, що вривається у приміщення крізь зовнішні двері, які відкриваються на короткий час і які не обладнані повітряними або повітряно-тепловими завісами, для  $n$ -поверхових будинків приймається у розмірі:

- для потрійних дверей з двома тамбурами між ними –  $60 \cdot n, \%$ ;
- для подвійних дверей з тамбуром між ними –  $80 \cdot n, \%$ ;
- для одинарних дверей –  $100 \cdot n, \%$ ;
- для подвійних дверей без тамбура –  $85 \cdot n, \%$ .

Для головних входів громадських будинків, включаючи готелі та гуртожитки, ця добавка становить 500 % від основних втрат крізь вхідні двері.

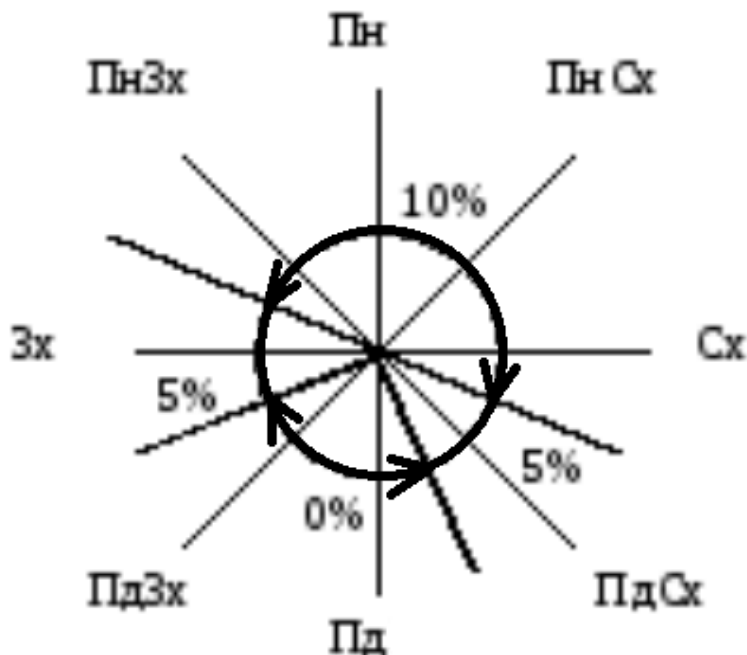


Рис. 2.1. Схема для визначення величини добавки (у % до основних втрат тепла) залежно від орієнтації огороження до сторони горизонту (ця добавку приймають тільки для **вертикальних** зовнішніх огорожувальних конструкцій)

Величина добавки на висоту приміщень становить 2 % на кожний метр висоти понад 4 м, але не більше 15 %. У сходових клітках будинку добавка на висоту приміщень не приймається.

Величина добавки на інфільтрацію (проникнення зовнішнього повітря крізь нещільності проїм, які відчиняються (вікон, дверей та ін.)) залежно від швидкості вітру, місця розташування і захищеності будинку від обвітрювання приймається у розмірі 5 – 10 % від основних втрат або більше.

Втрати тепла на інфільтрацію визначають шляхом розрахунку за методикою, яка наведена у довідковій літературі. Слід зазначити, що сучасні вікна і двері виготовляються дуже щільними (тобто вони мають спеціально передбачені еластичні ущільнювачі), у зв'язку з чим для них втрати на інфільтрацію можна зменшити у 2 рази у порівнянні з рекомендованими величинами відсотків від основних втрат тепла або взагалі не враховувати.

У житлових, громадських і допоміжних промислових будинках за відсутності притічної вентиляції розрахунок добавок на інфільтрацію можна виконувати за допомогою даних табл. 2.2 залежно від поверху, на якому знаходиться те чи інше приміщення.

Таблиця 2.2

Додаткові втрати тепла (у % від основних втрат тепла)  
на інфільтрацію зовнішнього повітря

Кількість поверхів будинку	Поверх, який розраховується									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5									
2	5	5								
3	5	5	5							
4	10	5	5	5						
5	10	10	5	5	5					
6	15	10	10	5	5	5				
7	15	15	10	10	5	5	5			
8	20	15	15	10	10	5	5	5		
9	20	20	15	15	10	10	5	5	5	
10	20	20	20	15	15	10	10	5	5	5

Для кращої організації техніки розрахунку під час визначення основних і додаткових втрат тепла крізь огорожувальні конструкції приміщень вихідні (початкові) й одержані фактичні дані вписують у спеціальний формуляр (бланк) (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Формуляр (бланк) для занесення вихідних і розрахункових даних під час визначення втрат тепла будинком, який опалюється

№ приміщення	Призначення приміщення	Внутрішня температура $t_b, ^\circ\text{C}$	Поверхня охолодження:				Різниця температур $t_b - t_s, ^\circ\text{C}$	Коефіцієнт поправки $n$	Коефіцієнт теплопередачі $k, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	Основні втрати тепла $Q, \text{Вт}$	Добавки до основних втрат тепла, %:			Всього додаткових втрат $Q_d, \text{Вт}$	Загальні втрати тепла $\Sigma Q, \text{Вт}$
			позначення	орієнтація до сторони горизонту	розрахункові розміри $a \times b, \text{м}$	площа $F, \text{м}^2$					на орієнтацію	на інфільтрацію	інші		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Огороджувальні конструкції позначають у формулярі скорочено за допомогою початкових букв (графа 4): *zc* – зовнішня стіна; *vc* – внутрішня стіна; *nv* – подвійне вікно; *ov* – одинарне вікно; *nl* – підлога; *nt* – перекриття; *nd* – подвійні двері; *od* – одинарні двері (без теплозахисного повітряного прошарку).

У формулярі повинні бути **підведені підсумки** втрат тепла окремими приміщеннями, поверхами та будинком у цілому.

У практичній роботі студент повинен розрахувати втрати тепла щонайменше одним приміщенням, яке опалюється, і занести результати розрахунків у формуляр (табл. 2.3). У якості варіантів приміщень виступають різні аудиторії навчального корпусу № 7 ТНТУ ім. І. Пулюя. За бажанням студент може вибрати кімнату у будинку чи гуртожитку, де він проживає, попередньо узгодивши свій вибір з викладачем.

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке основні втрати тепла крізь зовнішні огороджувальні конструкції приміщення будинку? Формула для розрахунку, одиниці вимірювання?

2. Що таке додаткові втрати тепла крізь зовнішні огороджувальні конструкції приміщення будинку? Як вони визначаються? Одиниці вимірювання?

3. Види додаткових втрат тепла крізь зовнішні огороджувальні конструкції будинку?

4. Що таке загальні втрати тепла крізь зовнішні огорожувальні конструкції приміщення будинку? Як вони визначаються? Одиниці вимірювання?

5. Що таке «інфільтрація»?

6. Що таке «ексфільтрація»?

7. Яким чином оформляють результати розрахунку втрат тепла крізь зовнішні огорожувальні конструкції приміщень будинку?

### СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.

2. Назва роботи.

3. Мета роботи.

4. Теоретичні відомості.

5. Завдання до виконання роботи (згідно з варіантом).

6. Результати виконання завдання.

7. Висновки.

Звіт з практичної роботи повинен бути виконаний на аркушах паперу формату А4 (297×210 мм).

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

### РОЗРАХУНОК ПЛОЩІ ПОВЕРХНІ НАГРІВАННЯ ОПАЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

*Мета роботи:* навчитися розраховувати необхідну площу поверхні нагрівання опалювальних приладів системи опалення для підтримування заданої температури повітря у приміщенні, якщо відомі розрахункова температура зовнішнього повітря, втрати тепла зазначеним приміщенням, а також параметри (температури) теплоносія на вході і на виході опалювального приладу.

### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Для підтримки у приміщенні потрібної температури необхідно, щоб кількість тепла  $Q_{\text{пр}}$ , яку віддає нагрівальний прилад, що встановлений у приміщенні, дорівнювала загальним втратам тепла  $\Sigma Q$  приміщенням:

$$Q_{\text{пр}} = \Sigma Q.$$

Кількість тепла  $Q_{\text{пр}}$ , яку віддає прилад, пропорційна площі поверхні його нагрівання  $F_{\text{пр}}$ , коефіцієнту теплопередачі приладу  $k$  і різниці температур



теплоносія  $t_{cp}$  у приладі і повітря, яке його омиває,  $t_{вн}$  (повітря всередині приміщення):

$$Q_{пр} = F_{пр} k (t_{cp} - t_{вн}).$$

В результаті необхідна площа поверхні опалювального приладу:

$$F_{пр} = \frac{\sum Q}{k (t_{cp} - t_{вн})};$$

Середню температуру теплоносія у приладі за умови водяного опалення визначають за формулою:

$$t_{cp} = \frac{1}{2}(t_r + t_o),$$

де  $t_r$  – температура гарячого теплоносія, який подається у прилад;

$t_o$  – температура охолодженого теплоносія, що виходить з приладу.

Прийmemo стандартні значення температур  $t_r$  та  $t_o$ :  $t_r = 95$  °С,  $t_o = 70$  °С.

У результаті:

$$t_{cp} = \frac{t_r + t_o}{2} = \frac{95 + 70}{2} = 82.5 \text{ °С.}$$

Для усіх приміщень прийmemo температуру внутрішнього повітря  $t_{вн} = 18$  °С. В результаті  $t_{cp} - t_{вн} = 82.5 - 18 = 64,5$  °С.

У якості опалювальних приладів виберемо радіатори чавунні М-140. Площа поверхні нагрівання однієї секції такого радіатора становить  $f=0.244$  м<sup>2</sup>, а коефіцієнт теплопередачі за  $t_{cp} - t_{вн} = 64.5$  °С  $k = 9,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ °С}}$ .

Число секцій у радіаторі визначають за формулою:

$$n = \frac{F_{пр}}{f}.$$

Для прикладу визначимо необхідну площу поверхні нагрівання опалювального приладу  $F_{пр}$  та необхідну кількість секцій  $n$  опалювального приладу за загальних втрат тепла у приміщенні  $\sum Q=1000$  Вт:

$$F_{пр} = \frac{\sum Q}{k (t_{cp} - t_{вн})} = \frac{1000}{9.5 (82.5 - 18)} = 1.63 \text{ м}^2;$$

$$n = \frac{F_{пр}}{f} = \frac{1.63}{0.244} = 6.69; \text{ приймаємо } n = 7.$$

Під час заокруглення дробового числа секцій у радіаторі до цілого числа розрахункову площу поверхні нагрівання можна зменшити, але не більше, ніж на 0,1 м<sup>2</sup>.

Розрахункова площа поверхні нагрівання

$$F'_{пр} = n f = 7 \cdot 0,244 = 1,708 \text{ м}^2.$$

Розрахункова потужність опалювального приладу

$$Q'_{\text{пр}} = F'_{\text{пр}} k (t_{\text{ср}} - t_{\text{вн}}) = 1,708 \cdot 9,5 \cdot (82,5 - 18) \approx 1047 \text{ Вт.}$$

Визначимо площу поверхні опалювальних приладів та кількість секцій у радіаторі М-140 для кожного приміщення будинку (для практичної роботи достатньо 1 – 2 приміщень). Отримані дані занесемо у зведену табл. 3.1 (для більшої наочності у цій таблиці наведено результати розрахунку площі поверхні нагрівання опалювальних приладів та кількості секцій радіатора М-140 для семи приміщень будинку).

Як видно з табл. 3.1, теплова потужність однієї секції чавунного радіатора М-140 у нашому прикладі дорівнює приблизно 150 Вт ( $n=8-7=1$  шт.;  $Q'_{\text{пр}} = 1196 - 1047 = 149 \approx 150$  Вт (за даними перших двох рядків колонок 4 і 6)).

У цьому формулярі (табл. 3.1) також повинні бути підведені **підсумки** щодо сумарної кількості секцій радіатора М-140 на кожному поверсі, сходовій клітці і у всьому будинку загалом.

Таблиця 3.1

Необхідна площа поверхні нагрівальних приладів та кількість секцій радіатора М-140 для кожного приміщення будинку залежно від загальних втрат тепла

№ приміщення	$\Sigma Q$ , Вт	$F_{\text{пр}}$ , м <sup>2</sup>	$n$	$F'_{\text{пр}}$ , м <sup>2</sup>	$Q'_{\text{пр}}$ , Вт
1	2	3	4	5	6
101	1000	1,63	7	1,708	1047
102	1200	1,96	8	1,952	1196
103	1300	2,12	9	2,196	1346
104	1400	2,28	10	2,440	1495
105	1500	2,44	10	2,440	1495
106	1600	2,61	11	2,684	1645
107	1800	2,93	12	2,928	1794

У практичній роботі студент повинен розрахувати опалювальний прилад для варіанту приміщення з практичної роботи № 2 «Розрахунок втрат теплової потужності приміщеннями, які опалюються». Результати розрахунків потрібно подати у табличному вигляді (табл. 3.1).

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Яка умова повинна виконуватися задля підтримання у приміщенні, яке опалюється, заданої температури повітря (рівняння теплового балансу)?
2. Рівняння теплопередачі опалювального приладу (за яким визначають **необхідну** теплову потужність опалювального приладу)?
3. Як визначають **необхідну** площу поверхні нагрівання опалювального приладу?
4. Як визначають середню температуру теплоносія в опалювальному приладі за умови водяного опалення?
5. Як визначають необхідну кількість секцій опалювального приладу (ОП) (якщо ОП – секційного типу)?
6. З яких матеріалів виготовляють опалювальні прилади?
7. Які типи опалювальних приладів Ви знаєте?
8. Як визначають **розрахункову** площу поверхні нагрівання опалювального приладу?
9. Як визначають **розрахункову** теплову потужність опалювального приладу?
10. Чим зумовлена можлива незначна відмінність між необхідною та розрахунковою потужністю опалювального приладу?

## СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
2. Назва роботи.
3. Мета роботи.
4. Теоретичні відомості.
5. Завдання до виконання роботи (згідно з варіантом).
6. Результати виконання завдання.
7. Висновки.

Звіт з практичної роботи повинен бути виконаний на аркушах паперу формату А4 (297×210 мм).

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

### ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ДІАМЕТРІВ ТРУБОПРОВODІВ СИСТЕМИ ВОДЯНОГО ОПАЛЕННЯ БУДИНКУ

*Мета роботи:* навчитися розраховувати діаметри трубопроводів на різних ділянках системи водяного опалення будинку.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

#### **Плани поверхів, розрізи будинку, аксонометрична схема системи опалення будинку та їх опис**

Розглянемо двотрубну вертикальну систему опалення зі штучною циркуляцією теплоносія, яка приєднана до теплової мережі через елеватор, з нижнім розведенням і попутним рухом теплоносія у магістральних трубопроводах гарячої та зворотної води.

Трубопроводи системи водяного опалення поділяють на магістралі гарячої та холодної води, опалювальні стояки і відгалуження до приладів.

Розміщення трубопроводів та інших пристроїв системи опалення з усіма необхідними розмірами відображене на рис. 4.1, 4.2, і 4.3. На планах поверхів також потрібно вказати номери приміщень (посередині у кружечку), а нижче кружечка – розрахункову теплову потужність опалювального приладу (одиницю вимірювання потужності вказувати не треба) (з 6-ї колонки табл. 3.1), який знаходиться у цьому приміщенні (на рис. 4.2, щоб не захарашувати рисунок, цього не зроблено).

Горизонтальні ділянки трубопроводів прокладають з нахилом не менше ніж 0,002. Всі опалювальні стояки розташовані біля зовнішніх стін. У кутових приміщеннях будинку стояки розташовані у кутах, що утворені зовнішніми стінами (з метою запобігання сирості і промерзання стін). Стояки і відгалуження до приладів прокладені відкрито, відстань від поверхні штукатурки до труби –  $2 \div 3$  см (попередньо відстань від осі труби до штукатурки дорівнює 0,05 м).

На рис. 4.4 зображено аксонометричну схему системи опалення будинку (правої половини будинку, з причини аналогічності ліву частину системи опалення не зображено).

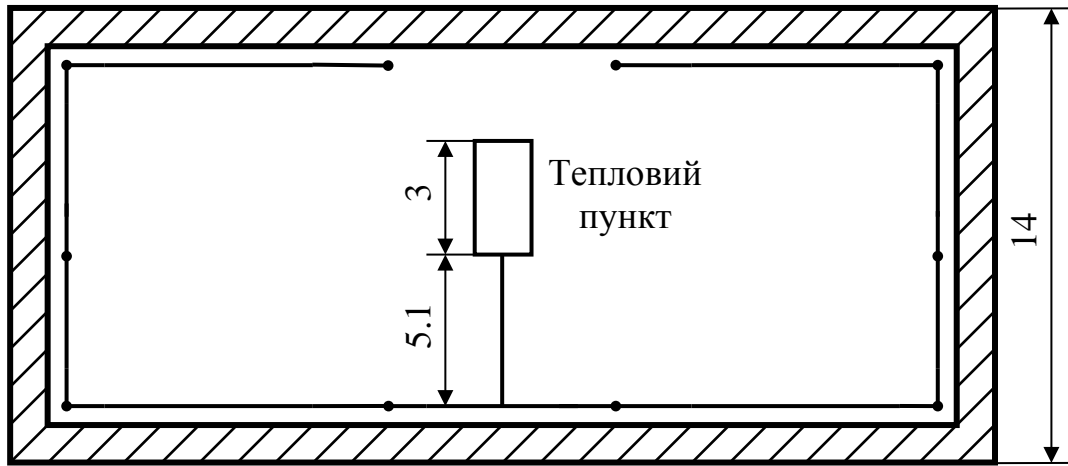


Рис. 4.1. План підвалу будинку з зображенням теплового пункту та магістральних трубопроводів і стояків гарячої води

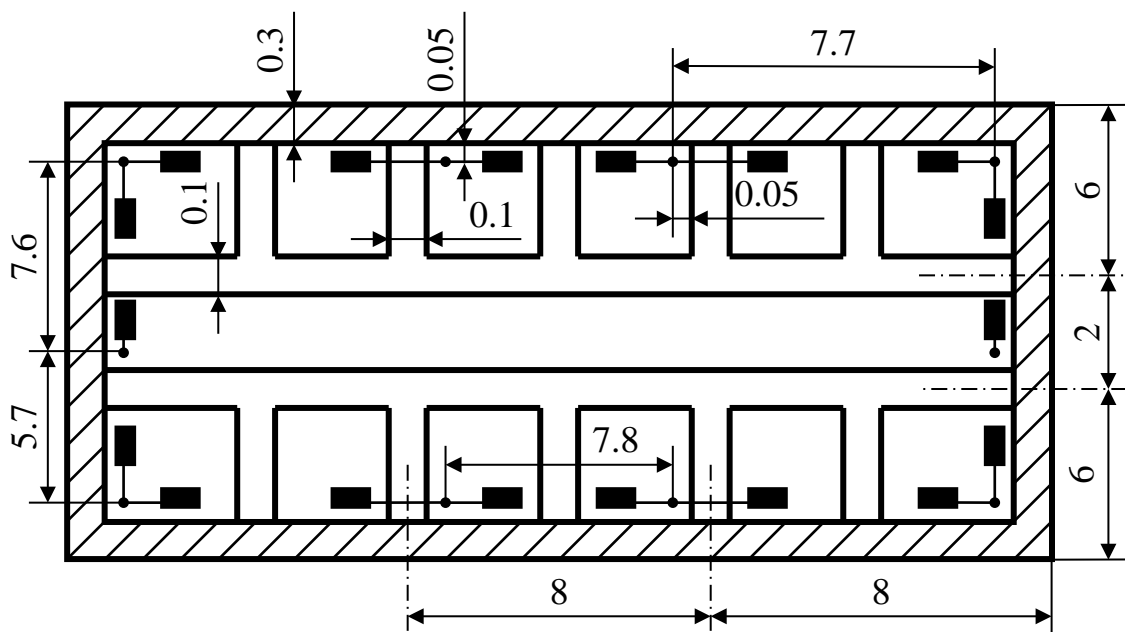


Рис. 4.2. План одного з поверхів будинку з зображенням опалювальних приладів і стояків системи опалення

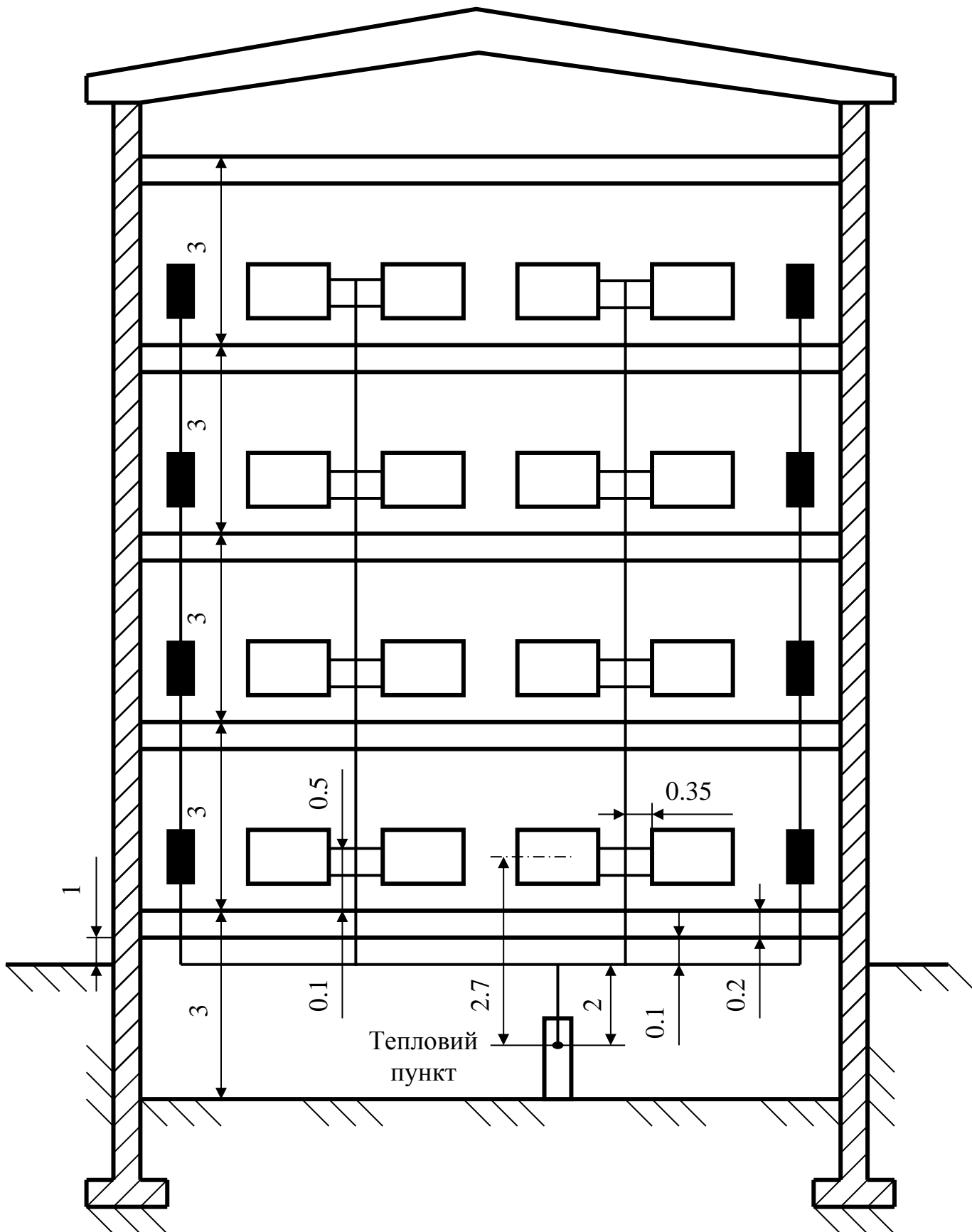


Рис. 4.3. Розріз будинку з зображенням теплового пункту, опалювальних приладів, магістральних трубопроводів і стояків системи опалення

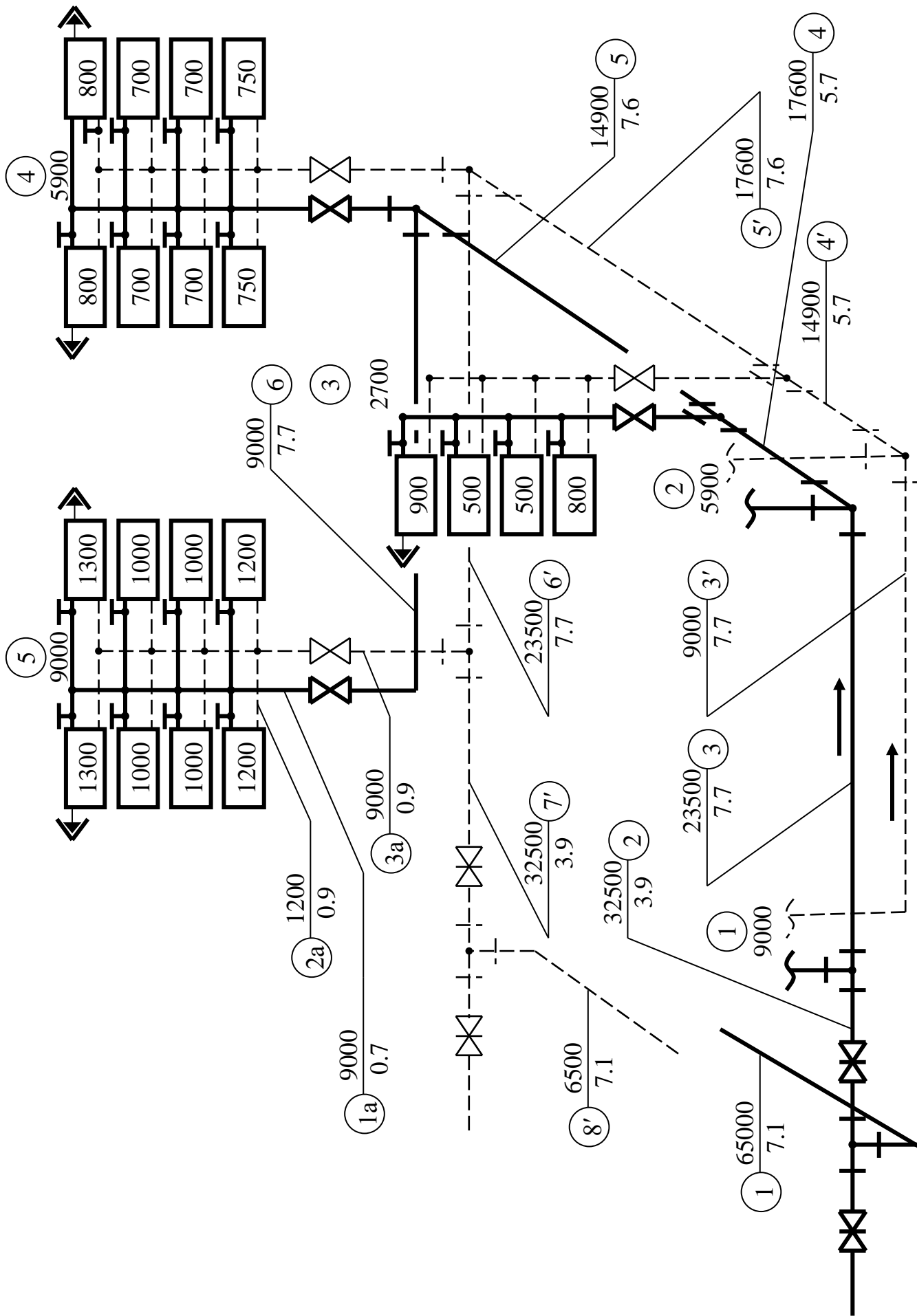


Рис. 4.4. Аксонометрична схема системи водяного опалення будинку

На аксонометричній схемі системи опалення необхідно позначити кожний стояк і ділянку трубопроводу, а також ввести інші додаткові дані. Стояки можна позначати арабськими або римськими цифрами, а також кирилицею або латинськими літерами. Позначення стояка ставлять усередині кружечка над відповідним стояком. Під кружечками ставлять величини теплового навантаження у ватах (з точністю до 1 Вт).

Ділянки трубопроводів позначають арабськими цифрами у кружечках, використовуючи виносні лінії. Біля кружечка з номером ділянки вони повинні мати горизонтальні «полички», над якими вказують теплове навантаження ділянки у ватах (з точністю до 1 Вт), а знизу — довжину відповідної ділянки у метрах (з точністю до 0,1 м). Ділянки магістрального трубопроводу охолодженої води позначають цифрами зі штрихом. Ділянки стояків і відгалуження до опалювальних приладів позначають цифрами, біля яких ставлять маленькі літери українського алфавіту, наприклад 1а, 2а, ... . Позначення ділянок якого небудь іншого стояка, що розраховується пізніше, приймають 1б, 2б, 3б і т. д. Тобто позначення не повинні повторюватися.

Для відключення лівої або правої частини системи опалення від живлення (подавання теплоносія) на ділянках 2 та 7' передбачені засувки (відповідні засувки наявні також і на лівій половині системи опалення, яка на аксонометричній схемі не відображена). Підіймальні та опускальні стояки приєднуються до магістральних трубопроводів за допомогою прохідних пробкових кранів. Для регулювання тепловіддачі біля кожного опалювального приладу встановлено кран подвійного регулювання з циліндричною пробкою. Для відведення з системи опалення повітря на кожному опалювальному приладі верхнього поверху встановлено повітряний кран (розповітрявач, кран Маєвського). На схемі, з метою спрощення, не показані такі засоби підвищення естетичних властивостей та компактності системи опалення як «качки» (відводи) і скоби (обходи).

Радіатори (опалювальні прилади) позначаються у вигляді прямокутників, усередині яких вказують їх теплові потужності у ватах. Потужність радіатора залежить від теплових втрат приміщення, у якому він встановлений, а також від кількості радіаторів (або батарей радіаторів) у цьому приміщенні. Потужність радіаторів можна визначити за допомогою даних, що наведені вище (див. попередній розділ).

На аксонометричній схемі (якщо не дозволяє місце) можна не показувати повністю всіх стояків. Замість непоказаного стояка вказують його номер і теплову потужність (як показано на рис. 4.4). Відсутній стояк можна зобразити збоку схеми (або де є вільне місце). Обов'язково відображають той стояк, через



який проходить головне циркуляційне кільце (див. далі) та хоча б один з тієї чи іншої групи ідентичних стояків.

### Розрахунок трубопроводів системи опалення

Система опалення приєднана до теплової мережі через елеватор. Температура води, що поступає в систему опалення із елеватора, становить  $t_T = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а на виході із системи опалення –  $t_0 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Тиск, який створює елеватор, прийmemo рівним  $p_e = 10000\text{ Па}$ . Теплові навантаження, довжини та інші необхідні дані показані на схемі системи опалення в аксонометричній проекції.

У випадку попутного руху води в подавальній і зворотній магістралях в якості **головного циркуляційного кільця** приймають кільце, що проходить через нагрівальний прилад першого поверху найбільш навантаженого стояка. Згідно з аксонометричною схемою одним з найбільш навантажених є стояк 5, теплове навантаження якого становить 9000 Вт. Тому в якості головного циркуляційного кільця виберемо кільце, що проходить через опалювальний прилад саме цього стояка.

Під час розрахунку трубопроводів двотрубної системи наявний циркуляційний тиск складається з тиску, який виникає у результаті охолодження води у приладах та трубопроводах, і тиску, який створює елеватор (циркуляційна помпа):

$$p_n = p_e + \Delta p_{\text{пр}} + \Delta p_{\text{тр}},$$

де  $p_e$  – тиск, який створює елеватор;

$\Delta p_{\text{пр}}$  – природний тиск, що виникає в результаті охолодження води у приладах;

$\Delta p_{\text{тр}}$  – природний тиск, що виникає в результаті охолодження води у трубопроводах.

У системах зі штучною циркуляцією води природний тиск як результат охолодження води в приладах враховують у розмірі 50 – 70 % (приймемо 50 %) від максимальної величини. Природний тиск, що виникає в результаті охолодження води у трубопроводах, якщо вони прокладені відкритим способом (а не у спеціальних борознах, виконаних у стінах), не враховують. Природний тиск від охолодження води як у приладах, так і в трубопроводах можна взагалі не враховувати, якщо він становить не більше 10 % від тиску, який створює елеватор чи помпа.

У результаті наведених міркувань можна записати, що

$$p_n = p_e + 0.5\Delta p_{\text{пр}} = p_e + 0.5(\rho_o - \rho_r)gh_1,$$

де  $\rho_o$  та  $\rho_r$  – густини охолодженої і гарячої води системи опалення,  $\text{кг/м}^3$ ;  
 $h_1 = 2.7$  м (див. рис. 4.3) – відстань за вертикаллю (перепад рівнів) від трубопроводів елеваторного теплового пункту, що живлять систему опалення, до середини нагрівальних приладів першого поверху.

У нашому випадку

$$p_n = p_e + 0.5(\rho_o - \rho_r)gh_1 = 10000 + 0,5(977,81 - 961,92) \cdot 9,81 \cdot 2,7 = 10210 \text{ Па.}$$

**Головне циркуляційне кільце** (див. аксонометричну схему, рис. 4.4) складається з ділянок 1, 2, 3, 4, 5, 6, 1а, 2а, 3а, 7' та 8', загальна довжина яких становить

$$\Sigma \ell = 7,1 + 3,9 + 7,7 + 5,7 + 7,6 + 7,7 + 0,9 + 0,7 + 0,9 + 3,9 + 7,1 = 53,2 \text{ м.}$$

Орієнтовна питома втрата тиску на тертя становить

$$R_{\text{ср}} = \frac{0,65 \cdot p}{\Sigma \ell} = \frac{0,65 \cdot 10210}{53,2} = 124,7 \text{ Па/м,}$$

де 0,65 – відношення втрат тиску на тертя в трубопроводах до загальних втрат в трубопроводах системи зі штучною циркуляцією, що складається із втрат тиску на тертя та втрат тиску в місцевих опорах (значення 0,65 приймають попередньо на основі досвіду розрахунку систем опалення).

Багато, щоб величина  $R_{\text{ср}}$  не перевищувала значення  $130 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$ .

Якщо у результаті розрахунку це буде мати місце, необхідно зменшити  $p_e$ , наприклад прийняти  $p_e = 9000, 8000, 7000$  Па (і т. д.), а потім перерахувати  $p_n$  і  $R_{\text{ср}}$  з метою забезпечення виконання умови  $R_{\text{ср}} < 130 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$ .

Витрату теплоносія  $G$ , що протікає кожною ділянкою циркуляційного кільця, визначимо за формулою

$$G = \frac{3,6Q}{c(t_r - t_o)} \text{ кг/год,}$$

де  $Q$  – теплове навантаження ділянки трубопроводу, Вт ;

$c$  – середнє значення питомої теплоємності теплоносія (води) в інтервалі температур  $t_o - t_r$ ,  $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$  ;

$(t_o - t_r)$  – перепад температур води в системі,  $^\circ\text{С}$  ;

3,6 – коефіцієнт переведення Вт у  $\frac{\text{кДж}}{\text{год}}$ .

Наприклад, для ділянки 1 (див. аксонометричну схему, рис. 4.4)

$$G = \frac{3.6Q}{c(t_r - t_o)} = \frac{3.6 \cdot 65000}{4.2(95 - 70)} = 2229 \text{ кг/год.}$$

Визначимо  $G$  також і для інших ділянок трубопроводу. Результати розрахунку та інші дані заносимо у бланк спеціальної форми (табл. 4.1).

Для визначення діаметрів  $d$  ділянок циркуляційного кільця використаємо спеціальну таблицю (дод. В), яка складена для  $t_r = 95^\circ\text{C}$ ,  $t_o = 70^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t = 1^\circ\text{C}$  ( $\Delta t$  – нахил горизонтальних ділянок трубопроводів),  $k_{ш} = 0.2$  мм ( $k_{ш}$  – коефіцієнт еквівалентної шорсткості трубопроводів). У випадку відсутності цієї таблиці для визначення діаметру  $d$  можна використовувати формулу:

$$R_{cp} = \frac{\lambda}{d} \frac{\omega^2}{2} \rho.$$

Ця таблиця складена на основі наведеної формули (про це мова буде йти також нижче).

Крім формул і розрахункових таблиць, для підбору оптимальних діаметрів труб розрахункового кільця використовують спеціально складені номограми, які наводять у довідковій літературі.

За розрахунковою таблицею (дод. В) підберемо діаметри труб головного циркуляційного кільця.

Наприклад, ми отримали  $R_{cp} = 124,7 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$ . У таблиці знаходимо найближче значення  $R_{cp} = 120 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$ . Підберемо діаметр трубопроводу для ділянки 1. Згідно з

табл. 4.1 витрата теплоносія на ділянці 1 становить  $G = 2229 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$ . У таблиці

(дод. В) у стрічці для  $R_{cp} = 120 \frac{\text{Па}}{\text{м}}$ , яка відповідає значенням  $G$ , знаходимо

найближче до 2229 значення  $G = 2674 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$ . Цьому значенню  $G$  відповідає

діаметр трубопроводу  $d = 40$  мм (діаметр умовного проходу  $D_y = 40$  мм). Аналогічним способом знаходимо діаметри  $d$  для інших ділянок циркуляційного кільця, а отримані значення заносимо у табл. 4.1.

Швидкість руху теплоносія в окремих ділянках циркуляційного кільця будемо визначати за формулою

$$\omega = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot G}{3600 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d^2}, \text{ м/с,}$$

де витрата теплоносія  $G$  вимірюється у  $\frac{\text{кг}}{\text{год}}$ , діаметр трубопроводу  $d$  – у мм,

густина теплоносія  $\rho - \gamma \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  (ця формула одержана з відомого рівняння неперервності потоку  $Q = \omega S = \omega \cdot (\pi \cdot d^2 / 4)$ ). При цьому для кожної ділянки кільця потрібно використовувати відповідне значення густини теплоносія.

Таблиця 4.1

Результати розрахунку трубопроводів системи водяного опалення

За схемою трубопроводу				За попереднім розрахунком						За остаточним розрахунком					
№ ділянки	Теплове навантаження Q, Вт	Витрата теплоносія G, $\frac{\text{кг}}{\text{год}}$	Довжина ділянки $\ell$ , м	Діаметр d, мм	Швидкість $\omega$ , $\frac{\text{м}}{\text{с}}$	Питомі втрати на тертя R, $\frac{\text{Па}}{\text{м}}$	Втрати на тертя R · $\ell$ , Па	Сума коефіцієнтів місцевих опорів $\sum \xi$	Втрати тиску в місцевих опорах Z, Па	d	$\omega$	R	R · $\ell$	$\sum \xi$	Z
<b>Головне циркуляційне кільце через нагрівальний прилад першого поверху стояка 5</b>															
1	65000	2229	7,1	40	0,512	85	604	0,5	252	32	0,8	260	1844	1	769
2	32500	1119	3,9	32	0,4	65	254	2	115	—	—	—	—	—	—
3	23500	806	7,7	25	0,474	117	901	1	162	—	—	—	—	—	—
4	17600	603	5,7	25	0,355	65	371	1,5	60	—	—	—	—	—	—
5	14900	511	7,6	20	0,47	143	1087	1	159	—	—	—	—	—	—
6	9000	309	7,7	20	0,284	52	400	1,5	58	—	—	—	—	—	—
1a	9000	309	0,9	20	0,284	52	47	3,5	193	—	—	—	—	—	—
2a	1200	41	0,7	15	0,066	4	3	12	19	—	—	—	—	—	—
3a	9000	309	0,9	20	0,279	51	46	3,5	133	—	—	—	—	—	—
7'	32500	1114	3,9	32	0,393	64	250	3,5	264	—	—	—	—	—	—
8'	65000	2229	7,1	40	0,504	84	596	0,5	62	32	0,787	255	1814	1	303
			$\sum \ell = 53,2 \text{ м}$			$\sum R \cdot \ell = 4559$	$\sum Z = 1477$					$\sum R \cdot \ell = 7017$	$\sum Z = 2235$		
				$\sum R \cdot \ell + \sum Z = 4559 + 1477 = 6036 \text{ Па}$								$\sum R \cdot \ell + \sum Z = 7017 + 2235 = 9252 \text{ Па}$			
				$\Delta_{\text{зап}} = \frac{10210 - 6036}{10210} \cdot 100\% = 41\%$								$\Delta_{\text{зап}} = \frac{10210 - 9252}{10210} \cdot 100\% = 9,4\%$			
				$p_{\text{н}} = 10210 \text{ Па}$ – наявний циркуляційний тиск											

Наприклад, для ділянки 1

$$\omega = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot G}{3600 \cdot \pi \cdot \rho_c \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot 2229}{3600 \cdot \pi \cdot 961,92 \cdot 40^2} = 0,512 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

для ділянки 2a

$$\omega = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot G}{3600 \cdot \pi \cdot \left(\frac{\rho_{\Gamma} + \rho_{\text{O}}}{2}\right) \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot 41}{3600 \cdot \pi \cdot \left(\frac{961,92 + 977,81}{2}\right) \cdot 15^2} = 0,066 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

для ділянки 8'

$$\omega = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot G}{3600 \cdot \pi \cdot \rho_0 \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot 2229}{3600 \cdot \pi \cdot 977,81 \cdot 40^2} = 0,504 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Визначимо швидкість руху теплоносія  $\omega$  також й у інших ділянках циркуляційного кільця і занесемо їх у табл. 4.1.

Під час руху трубами реальної рідини завжди мають місце втрати тиску на подолання тертя двох видів: а) тертя на прямих ділянках трубопроводів незмінного діаметру; б) тертя у місцевих опорах. До місцевих опорів відносять трійники, хрестовини, відводи, «качки», скоби, вентиля, крани, засувки, нагрівальні прилади, котли, теплообмінники та ін.

Втрати тиску на подолання тертя на ділянці трубопроводу з незмінною витратою середовища, що рухається, і незмінним діаметром визначають за формулою

$$R_m = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho \cdot \ell, \text{ Па,}$$

- де  $d$  – діаметр трубопроводу, м;  
 $\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного тертя, величина безрозмірна;  
 $\omega$  – швидкість руху води в трубопроводі,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  
 $\rho$  – густина середовища, що рухається,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  
 $R$  – питома втрата тиску,  $\frac{\text{Па}}{\text{м}}$ ;  
 $\ell$  – довжина ділянки трубопроводу, м.

Втрати тиску на подолання тертя у місцевих опорах визначають за формулою

$$Z = \sum \xi \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho, \text{ Па,}$$

- де  $\sum \xi$  – сума коефіцієнтів місцевих опорів на ділянці трубопроводу, яка розраховується, величина безрозмірна;  
 $\frac{\omega^2}{2} \cdot \rho$  – динамічний тиск теплоносія на цій же самій ділянці трубопроводу, Па.

Загальний гідравлічний опір, який виникає під час руху теплоносія у трубопроводі циркуляційного кільця, включаючи опалювальний прилад, котел (тепловий пункт), арматуру та ін., дорівнює сумі втрат тиску **на тертя**  $\Sigma(R \cdot \ell)$  плюс сума втрат тиску **у місцевих опорах**  $\Sigma Z$ . З метою забезпечення протікання всіма ділянками циркуляційного кільця потрібної кількості теплоносія **загальний гідравлічний опір**  $\Sigma(R \cdot \ell) + \Sigma Z$  не повинен перевищувати наявного циркуляційного тиску  $p_n$ :

$$\sum R \cdot \ell + \sum Z \leq p_n.$$

Під час розрахунку головного циркуляційного кільця дозволяється (і навіть бажано) залишати запас тиску на невраховані гідравлічні опори, але не більше 10 % від розрахованих втрат тиску:

$$\Delta_{zan} = \frac{P_n - (\Sigma R \cdot \ell + \Sigma Z)}{P_n} \cdot 100\% = 5 - 10\% .$$

Розбіжність між тисками, які втрачаються в окремих циркуляційних кільцях системи опалення (тобто розбіжність між загальними опорами циркуляційних кілець  $\Sigma R \cdot \ell + \Sigma Z$ ), допускається в однотрубних системах і двотрубних системах з попутним рухом теплоносія до 15 %, а в двотрубних системах з тупиковим розведенням – до 25 %.

Питомі втрати тиску на тертя в окремих ділянках циркуляційного кільця визначають за формулою:

$$R = \frac{10^3 \cdot \lambda}{d} \cdot \frac{\omega^2}{2} \rho, \text{ Па},$$

де  $d$  – діаметр ділянки циркуляційного кільця, мм;

$\omega$  – швидкість руху теплоносія на цій ділянці,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;

$\rho$  – густина теплоносія на цій ділянці,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Коефіцієнт гідравлічного тертя  $\lambda$ , який є безрозмірною величиною, залежить від відношення  $\frac{k_{ш}}{d}$  ( $k_{ш}$  – коефіцієнт еквівалентної жорсткості труби) та числа Рейнольдса, яке визначають за формулою

$$R_e = \frac{\omega \cdot d}{\nu},$$

де  $\nu$  – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини,  $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ .

З метою спрощення розрахунків приймемо орієнтовне значення коефіцієнта гідравлічного тертя  $\lambda = 0,027$ .

Згідно з зазначеним, для прикладу, питомі втрати тиску на тертя на ділянці 1 становлять

$$R = \frac{10^3 \cdot \lambda \cdot \omega^2 \cdot \rho_z}{2d} = \frac{10^3 \cdot 0,027 \cdot 0,512^2 \cdot 961,92}{2 \cdot 40} = 85 \frac{\text{Па}}{\text{м}},$$

на ділянці 2а –

$$R = \frac{10^3 \cdot \lambda \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{\rho_z + \rho_0}{2}\right)}{2d} = \frac{10^3 \cdot 0,027 \cdot 0,066^2 \cdot \left(\frac{961,92 + 977,81}{2}\right)}{2 \cdot 15} = 4 \frac{\text{Па}}{\text{м}},$$

а на ділянці 8' –

$$R = \frac{10^3 \cdot \lambda \cdot \omega^2 \cdot \rho_0}{2d} = \frac{10^3 \cdot 0.027 \cdot 0.504^2 \cdot 977,81}{2 \cdot 40} = 84 \frac{\text{Па}}{\text{м}}.$$

Ці та інші значення питомих втрат тиску на тертя  $R$  заносимо у табл. 4.1. Для знаходження втрат тиску на тертя перемножуємо питомі втрати тиску на тертя на довжину ділянки  $l$  кільця. Наприклад, для ділянки 1

$$R \cdot l = 85 \cdot 7.1 = 604 \text{ Па і т. д.}$$

Значення коефіцієнтів місцевих опорів  $\zeta$  на окремих ділянках циркуляційного кільця визначаємо з таблиць, які наводять у довідковій літературі (напр., у дод. Б). Проміжні результати визначення коефіцієнтів окремих місцевих опорів  $\zeta$  заносимо в табл. 4.2, а загальні суми коефіцієнтів місцевих опорів  $\Sigma\zeta$  на окремих ділянках циркуляційного кільця – у табл. 4.2 і 4.1.

Таблиця 4.2

Значення коефіцієнтів місцевих опорів  $\zeta$  на ділянках головного циркуляційного кільця

№ ділянки	Місцеві опори	$\zeta$	$\Sigma\zeta$
1	2	3	4
1	Відвід 90°, d=40 мм	0,5	0,5
2	Трійник на відгалуження	1,5	2
	Засувка, d = 32 мм	0,5	
3	Трійник на прохід	1	1
4	Трійник на відгалуженні	1,5	1,5
5	Трійник на прохід	1	1
6	Трійник на відгалуженні	1,5	1,5
1a	Відвід 90°, 20 мм	1,5	3,5
	Кран пробковий прохідний, d = 20 мм	2	
2a	Хрестовина на поворот	3	12
	Кран подвійного регулювання з циліндричною пробкою, d = 15 мм	4	
	Радіатор двоколонний, вхід і вихід	2	
	Хрестовина на поворот	3	
3a	Кран пробковий прохідний, d = 20 мм	2	3,5
	Трійник на відгалуження	1,5	
7'	Засувка, d = 32 мм	0,5	3,5
	Трійник на відгалуження при протитечії	3	
8'	Відвід 90°, 40 мм	0,5	0,5

Місцевий опір, який прилягає до двох суміжних ділянок циркуляційного кільця, відносять лише до однієї ділянки. Місцеві опори трійників і хрестовин відносять лише до розрахункових ділянок з найменшими витратами теплоносія. Місцеві опори нагрівальних приладів, котлів і бойлерів (теплообмінників) відносять **порівну** до кожної ділянки, яка до них прилягає. Наприклад, трійник, що з'єднує ділянки 1 і 2 (рис. 4.4), відносимо лише до ділянки 2, оскільки у ній менша витрата теплоносія у порівнянні з ділянкою 1 (1114 < 2229 кг/год). Інший приклад: якщо радіатор двоколонний має коефіцієнт місцевого опору  $\xi = 2$ , то вхід у радіатор має  $\xi = 1$ , а вихід із радіатора – також  $\xi = 1$  (1+1 = 2).

Втрати тиску у місцевих опорах визначаємо за формулою

$$Z = \sum \xi \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho.$$

Наприклад, для ділянки 1

$$Z = \sum \xi \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho_e = 0.5 \cdot \frac{0.512^2}{2} \cdot 961.92 = 252 \text{ Па},$$

для ділянки 2а –

$$Z = \sum \xi \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{\rho_e + \rho_0}{2} = 12 \cdot \frac{0.066^2}{2} \cdot \frac{961.92 + 977.81}{2} = 19 \text{ Па},$$

для ділянки 8' –

$$Z = \sum \xi \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho_o = 0.5 \cdot \frac{0.504^2}{2} \cdot 977.81 = 62 \text{ Па}.$$

Ці та інші значення  $Z$  заносимо у табл. 4.1.

Використовуючи дані з табл. 4.1, підсумовуємо значення  $R \cdot \ell$  та  $Z$  на окремих ділянках циркуляційного кільця:

$$\sum R \cdot \ell = 4559 \text{ Па};$$

$$\sum Z = 1477 \text{ Па};$$

$$\sum R \cdot \ell + \sum Z = 4559 + 1477 = 6036 \text{ Па}.$$

Запас тиску становить:

$$\Delta_{зан} = \frac{p_n - (\sum R \cdot \ell + \sum Z)}{p_n} 100\% = \frac{10210 - 6036}{10210} 100\% = 41\%.$$

Запас тиску 41 % є завеликим, оскільки, як зазначалось вище, він не повинен перевищувати 10 %. Тому з метою зменшення запасу тиску потрібно зменшити діаметр труб однієї (чи декількох) ділянки (ділянок) циркуляційного кільця, що є вигідним також і з огляду економії. Використовуючи рівняння для  $\Delta_{зан}$ , неважко визначити, що для забезпечення запасу тиску  $\Delta_{зан} = 5 \div 10$  % сумарні втрати тиску на тертя та у місцевих опорах повинні становити  $\sum R \cdot \ell + \sum Z = 9200 \div 9700$  Па, тобто повинні бути збільшені на  $3160 \div 3660$  Па.

Виходячи з зазначених міркувань, збільшимо гідравлічний опір ділянки 1



циркуляційного кільця, замінивши труби діаметру  $d = 40$  мм трубами діаметру  $d = 32$  мм. Перерахуємо швидкості теплоносія і втрати тиску, а отримані результати занесемо у відповідні графи табл. 4.1.

Результати розрахунків показали, що запас тиску ще занадто високий.

Оскільки з метою зменшення запасу тиску гідравлічний опір циркуляційного кільця необхідно далі збільшувати, зменшимо діаметр трубопроводу на ділянці 8' з 40 мм до 32 мм. Перерахуємо ще раз потрібні величини. Як ми бачимо, після внесення цих змін у кільце ми отримали

$$\Sigma R \cdot \ell + \Sigma Z = 7017 + 2235 = 9252 \text{ Па};$$

$$\Delta_{zan} = \frac{p_n - (\Sigma R \cdot \ell + \Sigma Z)}{p_n} 100\% = \frac{10210 - 9252}{10210} 100\% = 9.4 \%$$

Отриманий результат нас повністю задовольняє, оскільки  $\Delta_{zan}$  лежить у наперед визначених допустимих межах  $5 \div 10\%$ . Відтак розрахунок головного циркуляційного кільця на цьому завершено.

Під час розрахунку окремих ділянок циркуляційних кілець зручно мати під руками основні формули та величини:

$$\omega = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot G}{3600 \cdot \pi \cdot \rho \cdot d^2}$$

$$R = \frac{10^3 \cdot \lambda \cdot \omega^2 \cdot \rho}{2d}$$

$$Z = \Sigma \xi \cdot \frac{\omega^2}{2} \cdot \rho$$

$$\rho_e = 961.92 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_0 = 977.81 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\lambda = 0.027$$

Для одержання точніших результатів необхідно розрахувати ще декілька характерних циркуляційних кілець системи опалення та порівняти спад тиску у них. **Друге циркуляційне кільце** – кільце, яке проходить через опалювальний прилад першого поверху стояка, який другий у рейтингу теплового навантаження після головного циркуляційного кільця. Інший критерій вибору другого циркуляційного кільця – максимальна (або значна) віддаленість стояка, через який воно проходить, від теплового пункту. Подібними є критерії вибору наступних циркуляційних кілець (третього, четвертого, ...).

За результатами розрахунку циркуляційних кілець необхідно накреслити таблицю і занести у неї діаметри трубопроводів всіх ділянок аксонометричної схеми системи опалення. Для цього підійдуть дані з табл. 4.1 та інших таблиць з

результатами розрахунків циркуляційних кілець. Якщо у різних таблицях одна й та ж сама ділянка має різні діаметри, потрібно вибрати більший з них. Якщо ж одна або низка ділянок не були розраховані, то діаметр її (їх) потрібно прийняти на основі теплової потужності, яку вона (вони) передає (-ють), порівнюючи її (їх) з потужністю трубопроводів вже розрахованих ділянок системи опалення.

У цій практичній роботі кожний студент розраховує одне циркуляційне кільце. Кількість циркуляційних кілець залежить від кількості стояків. На рис. 4.4 (аксонометрична схема системи опалення) є 10 стояків (показано лише 5 (половину) з них, які розташовані у правій половині будинку). Як зазначалося вище, циркуляційне кільце обов'язково повинно проходити через опалювальний прилад, який знаходиться на першому поверсі будинку та приєднаний до того чи іншого стояка. Відповідно на базі рис. 4.4 можна сформувати 10 варіантів виконання практичної роботи (у залежності від номеру стояка). Якщо ж студент виконує курсовий проект (КП) з цієї дисципліни (і у цьому КП розглядається розрахунок системи опалення), то він може запропонувати викладачеві свій варіант циркуляційного кільця для розрахунку діаметрів трубопроводів на окремих його ділянках.

#### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. За рахунок чого забезпечується рух теплоносія у трубопроводах системи опалення?
2. Які види теплоносіїв для систем опалення будинків Ви знаєте?
3. Які Ви знаєте види систем опалення?
4. Що є причиною втрати тиску теплоносія під час його руху усередині трубопроводів та інших пристроїв системи опалення?
5. Що таке «місцеві опори»?
6. Що таке втрати тиску на тертя «по довжині трубопроводу»?
7. Як визначають втрати тиску на тертя «по довжині трубопроводу»?
8. Як визначають втрати тиску на тертя у «місцевих опорах»?
9. Що таке штучна циркуляція теплоносія? Як визначають штучний циркуляційний тиск?
10. Що таке природна циркуляція теплоносія? Як визначають природний циркуляційний тиск?
11. Що таке «загальний гідравлічний опір» трубопроводу чи його ділянки, у якому (-ій) протікає теплоносій?
12. Як залежать втрати тиску теплоносія від його швидкості під час руху трубопроводами чи іншими пристроями системи опалення?
13. Який орієнтовний діапазон швидкостей теплоносія під час його руху

трубопроводами системи опалення?

14. Які пристрої створюють штучний циркуляційний тиск у системах опалення?

15. Як необхідно змінити діаметр трубопроводу, щоб втрати тиску теплоносія, який у ньому рухається, зменшилися і навпаки?

16. Який запас циркуляційного тиску повинна мати система опалення на етапі розрахунку циркуляційних кілець цієї системи?

17. Що таке «однотрубна» система опалення? Які її переваги?

18. Що таке «двотрубна» система опалення? Які її переваги?

### СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.

2. Назва роботи.

3. Мета роботи.

4. Теоретичні відомості.

5. Завдання до виконання роботи (згідно з варіантом).

6. Результати виконання завдання.

7. Висновки.

Звіт з практичної роботи повинен бути виконаний на аркушах паперу формату А4 (297×210 мм).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Єнін П.М., Швачко Н.А. Теплопостачання (частина 1 «Теплові мережі та споруди»): навч. посіб. – К.: Кондор, 2007. – 244 с.
2. Пирков В.В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення. – К.: П ДП «Такі справи», 2003. – 176 с.
3. Драганов Б.Х. та ін. Теплотехніка: підруч. – К.: Інкос, 2005. – 504 с.
4. Джеджула В. В. Вентиляція та кондиціонування громадських об'єктів: навч. посіб. / В. В. Джеджула. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 71 с.
5. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спец. 144 «Теплоенергетика» / М.Ф. Боженко; НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – Електронні текстові дані (1 файл: 36,087 Мбайт). – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 380 с.
6. Братута Е.Г. та ін. Кондиціонування та вентиляція повітря: текст лекцій / Е.Г. Братута, А.М. Ганжа, О.В. Круглякова, В.В. Чубарова. – Харків: НТУ «ХПІ», 2009. – 128 с.
7. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 147 с.
8. ДБН В.2.6-31:2006 зі Зміною №1 від 1 липня 2013 р. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінбуд України, 2006. – 27 с.
9. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К.: Мінрегіон України, 2022. – 40 с.

## ДОДАТКИ

### Додаток А

Густина води  $\rho$ ,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , за температури води «+40» ÷ «+90» °С

°С	40	50	60	70	80	90
0	992.24	988.07	983.24	977.81	971.83	965.34
1	991.86	987.62	982.72	977.23	971.21	964.67
2	991.47	987.15	982.2	976.66	970.57	963.99
3	991.07	986.69	981.67	976.07	969.94	963.3
4	990.66	986.21	981.13	975.48	969.3	962.61
5	990.25	985.73	990.59	974.79	963.65	961.92
6	989.82	985.25	980.05	974.29	968	961.22
7	989.4	984.75	979.5	973.68	967.34	960.51
8	988.96	984.25	978.94	973.07	966.68	959.81
9	988.52	983.76	978.38	972.45	966.01	959.09

### Додаток Б

Коефіцієнти місцевих опорів  $\xi$  (наближені значення)

Місцевий опір	Значення $\xi$ (для всіх діаметрів)	Місцевий опір	Значення $\xi$ (для всіх діаметрів)					
			Умовний діаметр $D_y$ , мм					
			15	20	25	32	40	50 і більше
Радіатори двоколонні	2	Вентилі звичайні	16	10	25	9	8	7
Котли чавунні	2,5	Те саме, прямоточні	3	3	3	2,5	2,5	2
Раптове розширення (відноситься до великої швидкості)	1	Крани прохідні	4	2	2	2	—	—
Раптове звуження (відноситься до великої швидкості)	0,5	Крани подвійного регулювання з циліндричною пробкою	4	2	2	2	—	—
Відступи	0,5							
Трійники прохідні	1	Засувки паралельні	—	—	0,5	0,5	0,5	0,5
Те саме, поворотні на розгалуження	1,5							
Те саме, на протитечії	3							
Хрестовини прохідні	2	Відводи 90 ° і «качка»	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5
Те саме, поворотні	3							
Компенсатори П – подібні і ліроподібні	2	Скоби	3	2	2	2	2	2
Те саме, сальникові	0,5							

## Додаток В

Таблиця для гідравлічного розрахунку трубопроводів системи водяного опалення за  $t_2 = 95\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_0 = 70\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t = 1\text{ }^\circ\text{C}$  і  $\kappa_{\text{ш}} = 0,2\text{ мм}$  (у скороченому вигляді)

Втрати від тертя 1 м, Па ( $R_{\text{ср}} \cdot \frac{\text{Па}}{\text{м}}$ )	Труби сталеві водогазопровідні							Труби сталеві безшовні					
	Діаметр умовного проходу, $D_y$ , мм (d, мм)							Зовнішній діаметр і товщина стінки					
	15	20	25	32	40	50	65	57·3.5	76·3.5	89·3.5	108·4	133·4	159·4.5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	16.5 0.023	36 0.028	69 0.034	148 0.041	210 0.045	409 0.052	788 0.06	364 0.051	889 0.064	1343 0.071	2379 0.082	4259 0.096	6962 0.106
1.2	17.5 0.025	40 0.031	76 0.037	164 0.045	210 0.045	454 0.059	872 0.067	398 0.057	977 0.071	1493 0.079	2645 0.092	4860 0.108	7619 0.117
1.4	19 0.027	44 0.034	84 0.041	180 0.049	229 0.048	496 0.064	948 0.073	442 0.062	1054 0.076	1643 0.086	2876 0.1	5462 0.119	8510 0.13
1.6	21 0.03	47 0.037	96 0.045	191 0.053	249 0.052	535 0.069	1016 0.075	476 0.067	1132 0.082	1756 0.092	3089 0.107	5738 0.128	9136 0.14
1.8	22 0.031	50 0.039	108 0.051	197 0.054	269 0.057	571 0.073	1077 0.082	509 0.071	1209 0.087	1870 0.098	3302 0.144	6014 0.136	9755 0.149
2	24 0.033	53 0.042	111 0.054	203 0.057	304 0.064	606 0.078	1137 0.087	540 0.073	1286 0.093	1983 0.104	3947 0.121	6290 0.142	9245 0.154
2.4	26 0.037	59 0.056	120 0.057	223 0.062	338 0.071	671 0.087	1258 0.096	595 0.084	1440 0.104	2210 0.116	3853 0.134	6841 0.155	9947 0.17
2.6	27 0.039	62 0.042	126 0.06	234 0.064	353 0.074	700 0.091	1317 0.1	623 0.09	1498 0.11	2300 0.12	4031 0.14	7119 0.16	10370 0.177
3.2	31 0.044	72 0.058	140 0.068	263 0.073	396 0.083	774 0.102	1483 0.144	689 0.097	1673 0.121	2569 0.135	4475 0.155	7953 0.18	11637 0.199
4	35 0.05	85 0.06	146 0.073	299 0.082	448 0.094	861 0.115	1667 0.126	766 0.108	1906 0.138	2902 0.153	5049 0.175	8968 0.203	13033 0.222
5	40 0.057	95 0.073	157 0.074	366 0.093	507 0.107	971 0.13	1398 0.145	865 0.122	2139 0.154	3285 0.173	5049 0.197	10116 0.299	14698 0.251
6	44 0.063	103 0.08	168 0.082	373 0.103	559 0.118	1081 0.144	2090 0.16	962 0.126	2372 0.171	3587 0.188	6266 0.217	11033 0.25	16184 0.276
7	48 0.069	111 0.086	184 0.089	406 0.112	601 0.126	1172 0.149	2269 0.174	1043 0.146	2564 0.185	3878 0.204	6838 0.237	11949 0.271	17568 0.3
8	55 0.082	113 0.088	199 0.097	434 0.12	642 0.135	1268 0.161	2450 0.187	1124 0.158	2756 0.199	4175 0.22	7299 0.253	12866 0.291	18767 0.32
9	57 0.084	119 0.092	212 0.103	463 0.128	684 0.144	1354 0.171	2596 0.199	1205 0.166	2927 0.211	4471 0.235	7760 0.269	13726 0.311	19873 0.339
10	59 0.087	126 0.097	225 0.109	490 0.135	725 0.151	1445 0.182	2744 0.21	1286 0.179	3078 0.222	4703 0.247	8221 0.285	14484 0.328	20825 0.355
12	63 0.093	140 0.108	248 0.12	537 0.149	809 0.17	1583 0.201	3011 0.23	1409 0.197	3378 0.214	5280 0.272	9018 0.313	15909 0.36	22728 0.388
14	67 0.098	151 0.117	269 0.131	579 0.16	876 0.184	1720 0.218	3246 0.148	1531 0.214	3679 0.266	5629 0.296	9783 0.339	17232 0.39	24250 0.420
16	70 0.103	163 0.126	289 0.141	621 0.172	937 0.197	1858 0.236	3482 0.266	1654 0.231	3950 0.285	6020 0.317	10474 0.363	18272 0.414	26534 0.453
18	74 0.108	174 0.135	309 0.15	663 0.184	997 0.21	1974 0.251	3718 0.284	1757 0.264	4191 0.303	6904 0.337	11114 0.385	19312 0.437	28438 0.485
20	77 0.144	184 0.142	322 0.161	705 0.195	1058 0.222	2090 0.165	3953 0.302	1859 0.26	4433 0.32	6781 0.367	11704 0.406	20352 0.461	30062 0.513
28	91 0.135	221 0.171	398 0.19	840 0.233	1261 0.165	2465 0.312	4702 0.35	2194 0.307	2194 0.381	5283 0.424	11838 0.483	13936 0.555	24511 0.605
34	102 0.15	245 0.189	428 0.208	933 0.258	1405 0.296	2727 0.345	5196 0.397	2427 0.34	5846 0.423	8914 0.469	15191 0.527	27066 0.612	39475 0.673
40	112 0.164	267 0.206	467 0.226	1026 0.284	1524 0.321	2973 0.37	5667 0.433	2646 0.37	6317 0.456	9669 0.509	16446 0.570	29311 0.664	42656 0.728
45	126 0.186	297 0.23	530 0.257	1149 0.318	1710 0.36	3336 0.422	6339 0.485	2669 0.416	7108 0.513	10832 0.57	18538 0.643	30072 0.749	47960 0.818
60	139 0.205	324 0.25	593 0.288	1270 0.352	1866 0.393	3690 0.468	6971 0.533	3283 0.462	7829 0.565	11767 0.619	20630 0.715	36198 0.819	52398 0.894
70	151 0.223	351 0.271	635 0.308	1365 0.379	2022 0.426	3988 0.504	7534 0.576	3549 0.498	8493 0.613	12630 0.664	22143 0.768	39159 0.886	56337 0.969

80	163 0.239	377 0.291	677 0.328	1467 0.406	2178 0.458	4276 0.54	8666 0.618	3805 0.534	9069 0.655	13494 0.71	37656 0.82	42119 0.953	60904 1.039
95	178 0.262	417 0.328	739 0.369	1593 0.441	2370 0.499	4645 0.589	8819 0.675	4152 0.538	9826 0.709	14807 0.778	25920 0.899	45680 1.034	66369 1.132
120	201 0.295	469 0.362	835 0.405	1786 0.494	2674 0.563	5250 0.664	9899 0.757	4673 0.657	10929 0.789	16951 0.892	29384 0.019	51415 1.164	74594 1.272

Примітка: верхня стрічка — кількість води, що проходить трубою  $G$ , кг/год, нижня — швидкість руху води у трубі  $\omega$ , м/с.  
Для труби  $57 \times 3,5$  мм  $d = 57 - 3,5 \times 2 = 50$  мм і т.д.