

МЕХАНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра «Теплотехніка та теплові двигуни»

ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до контрольної роботи і практичних занять
з дисципліни**

**«ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ»
та дипломного проектування**

Харків - 2013

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри „Теплотехніка та теплові двигуни” 9 березня 2011 р., протокол № 4.

Методичні вказівки призначені для виконання практичних занять з дисципліни „Основи розрахунку теплових мереж” студентами денної форми навчання та практичних занять і контрольної роботи студентами заочної форми навчання спеціальності 6.090510 „Теплоенергетика”, а також для дипломного проектування.

Укладачі:

доц. В.В. Савенко, асист. О.В. Гришина

Рецензент

доц. С.В. Комар

ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до контрольної роботи і практичних занять
з дисципліни

«ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ»

та дипломного проектування

Відповідальний за випуск Савенко В.В.

Редактор Решетилова В.В.

Підписано до друку 29.03.11 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 1,0. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Українська державна академія залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2874 від 12.06.2007 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

Кафедра „Теплотехніка та теплові двигуни ”

ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до контрольної роботи і практичних занять з дисципліни
„ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ”
та дипломного проектування

Харків 2013

Методичні вказівки розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри „Теплотехніка та теплові двигуни” 9 березня 2011 р., протокол № 4.

Методичні вказівки призначені для виконання практичних занять з дисципліни „Основи розрахунку теплових мереж” студентами денної форми навчання та практичних занять і контрольної роботи студентами заочної форми навчання спеціальності 6.090510 „Теплоенергетика”, а також для дипломного проектування.

Укладачі:

доц. В.В. Савенко, асист. О.В. Гришина

Рецензент

доц. С.В. Комар

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Робоча програма з дисципліни „Основи розрахунку теплових мереж”	4
2 Розрахунок режимів роботи теплової мережі	15
3 Розрахунок поточкорозподілу у кільцевій мережі	20
4 Оцінювання роботи системи тепlopостачання за допомогою температурних графіків	23
5 Вибір дросельних діафрагм для розподільчої теплової мережі	26
6 Розрахунок кількості опор теплопроводів	31
7 Розрахунок на міцність непрямолінійних ділянок теплопроводів	31
Список літератури	34

ВСТУП

Ці методичні вказівки призначені для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю «Теплоенергетика».

Студенти денної форми навчання виконують, згідно з вказівками, всі практичні заняття, що передбачено навчальним планом з дисципліни «Основи розрахунку теплових мереж». Студенти заочної форми навчання виконують за даними вказівками практичні заняття, що передбачаються навчальним планом, та контрольну роботу. Загальний обсяг практичних занять разом з контрольною роботою дорівнює обсягу всіх наведених завдань. Таким чином, студенти заочної форми навчання частину завдань виконують за допомогою викладача під час практичних занять, а решту – самостійно. Під час оцінки самостійної роботи студентів враховується виконання всіх завдань.

У розділі 1 наведено робочу програму з дисципліни «Основи розрахунку теплових мереж» для студентів спеціальності «Теплоенергетика» УкрДАЗТ. Це сприятиме самостійному вивченню дисципліни студентами будь-якої форми навчання. У програмі обсяги годин вказано для студентів денної форми навчання протягом семестру, що вміщує 17 навчальних тижнів.

Для виконання контрольної роботи студентами заочної форми навчання у кожному завданні наведено 10 варіантів вихідних даних. Варіант вихідних даних обирається за останньою цифрою шифру.

1 РОБОЧА ПРОГРАМА З ДИСЦИПЛІНИ «ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ»

1.1 Опис предмета навчального курсу

Предмет курсу: основи теплотехнічних розрахунків процесів, що пов'язані з транспортуванням і використанням теплової енергії при централізованому теплопостачанні; розрахунки з вибору основних параметрів теплових мереж та теплотехнічного обладнання мереж та теплових пунктів.

Показники навчального курсу, всього (по семестрах)	Галузь знань, напрямок підготовки, спеціальність, спеціалізація, освітньо- кваліфікаційний рівень	Характеристика навчального курсу
---	--	---

Кількість кредитів ECTS 2	Галузь знань - 0506 Енергетика та енергетичне машинобудування	Рік підготовки - 4
Залікових кредитів 1	Напрямок підготовки - 6.050601 Теплоенергетика	Семестр - 7
Модулів 2		Лекції – 17 год
Змістових модулів 4	Спеціальність - Теплоенергетика	Практичні заняття – 17 год
Загальна кількість годин 72	Спеціалізація - Теплоенергетика залізничного транспорту	Лабораторні заняття - -
Тижневих аудиторних годин 2		Інд.-конс. робота -
у т.ч.: лекцій – 1;	Освітньо-кваліфікаційний рівень - бакалавр	Самостійна робота - 38 год
практ. – 1;		Види контролю по семестрах: - залік – 7
лаборат. - 0		

1.2 Мета

Метою навчального курсу є підготовка фахівців, які мають не тільки необхідний рівень знань про технологічні процеси та обладнання теплових мереж, їх взаємозв'язок з виробництвом теплової енергії та її споживанням та які будуть здатні кваліфіковано експлуатувати обладнання, але також мають

практичні навички розрахунків основних параметрів теплових мереж та обґрунтованого вибору основного обладнання мереж та теплових пунктів.

1.3 Програма

Вступ

Курс базується на знаннях, отриманих під час вивчення курсів фізики, хімії, вищої математики, водопідготовки, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, теорії тепломасообміну, теплотехнічних вимірювань, теплових та електричних станцій, котельних установок, теплотехнологічних процесів та установок, нагнітачів та турбін, основ економіки, теплових мереж.

Курс є базовим для вивчення у наступному таких дисциплін як: системи виробництва та розподілу енергоносіїв, захист навколишнього середовища, основи охорони праці, організація виробничих процесів, автоматизація теплоенергетичних установок, теплоспоживаючі установки залізничного транспорту, а також для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра.

Курс містить у собі:

- **лекційне вивчення** основних теоретичних положень, що пов'язані з предметом та метою курсу;
- **практичні заняття** для закріплення отриманих знань і набуття навичок аналізу роботи теплотехнічних систем та розрахунку їх елементів.

Ряд розділів і питань курсу виносяться на самостійне вивчення під керівництвом і контролем викладача.

Оцінка рівня підготовки студентів під час вивчення курсу виконується шляхом оцінки активності студентів під час проведення практичних занять, проведення модульного контролю, підсумкового контролю (залік).

Вивчивши курс, студент повинен:

- **знати:** методи розрахунку основних параметрів розгалужених теплових мереж, методи розрахункового вибору параметрів основного обладнання мереж та теплових пунктів;

- **вміти:** обирати схеми та параметри теплових мереж, що відповідають раціональному використанню енергоресурсів, обґрунтовано обирати параметри основного обладнання теплових мереж та теплових пунктів;

- **мати уявлення:** про основні напрямки подальшої економії ресурсів у системах централізованого теплопостачання.

ЗАЛІКОВИЙ КРЕДИТ 1

Лекційні та практичні заняття.

Аудиторна та позааудиторна робота над курсом

Модуль 1. Розрахунки з вибору параметрів теплової мережі

Змістовий модуль 1. Розрахунки схем мереж (5 годин)

Складність сучасних схем мереж централізованого теплопостачання, вибір системи теплопостачання. Особливості схеми водяної теплової мережі м. Харкова.

Гідравлічні характеристики ділянок мережі та їх послідовного і паралельного з'єднань, визначення гідравлічного опору розгалуженої мережі.

Можливі режими роботи мережі в експлуатації, розрахунки режимів роботи в мережах з регуляторами витрати та без регуляторів. Закони Кірхгофа для гідравлічних мереж, розрахунки потокорозподілу у кільцевих мережах та в мережах з двома джерелами теплопостачання.

Змістовий модуль 2. Розрахунки з регулювання відпуску теплоти (4 години)

Вибір метода центрального регулювання відпуску теплоти. Розрахунки з визначення параметрів регулювання. Побудова графіків змінювання параметрів теплоносія для методів регулювання: якісного, кількісного, якісно-кількісного. Вплив на параметри теплоносія наявності різномірного навантаження, особливості графіків змінювання параметрів теплоносія для різномірного навантаження. Проблеми регулювання теплового навантаження під час незначних потреб у теплоті.

Модуль 2. Розрахунки з вибору обладнання

Змістовий модуль 3. Обладнання мереж (4 години)

Гідравлічні характеристики відцентрових насосів та їх з'єднань, вибір сіткових насосів для конкретної мережі. Застосування насосних підстанцій на подавальній, зворотній лініях та на відгалуженнях мережі, режими роботи мережі з насосними підстанціями.

Утрати теплоти від теплопроводів, особливості різних видів теплоізоляції, критичний діаметр теплоізоляції, основи вибору товщини теплоізоляції.

Самокомпенсація температурних подовжень теплопроводів, розрахунок теплопроводів на самокомпенсацію.

Змістовий модуль 4. Обладнання теплових пунктів

(4 години)

Розрахунок і вибір елеваторів для систем опалення. Можливості змінювання параметрів елеваторів в експлуатації.

Пусконаладжувальні роботи, засоби налагодження та розрахунки до них.

Структура навчального курсу

Навчальний курс
“Основи розрахунку теплових мереж”

<p>Заліковий кредит 1</p> <p>Аудиторна та позааудиторна робота над курсом (лекції та практичні заняття)</p> <p>72 години 2,0 кредитів ECTS</p>	<p>Заліковий кредит 2</p>	<p>Заліковий кредит 3</p>
<p>Модуль 1</p> <p>Змістовий модуль 1</p> <p>Змістовий модуль 2</p>		
<p>Модуль 2</p> <p>Змістовий модуль 3</p> <p>Змістовий модуль 4</p>		
<p>Заключний контроль</p> <p>Семестровий залік</p>		

Структура залікового кредиту

ЗАЛІКОВИЙ КРЕДИТ 1

Складові залікового кредиту I	Кількість годин, відведених на:				
	аудиторну роботу			Інд.-консульт. роботу	самостійну роботу
	лекції	практ. заняття	лаб. заняття		
<u>Модуль 1. Розрахунки з вибору параметрів теплової мережі</u>					
Змістовий модуль 1. Розрахунки схем мереж	5	5	0	0	12
Змістовий модуль 2. Розрахунки з регулювання відпуску теплоти	4	4	0	0	10
Усього по модулю 1	9	9	0	0	22
<u>Модуль 2. Розрахунки з вибору обладнання</u>					
Змістовий модуль 3. Обладнання мереж	4	4	0	0	8
Змістовий модуль 4. Обладнання теплових пунктів	4	4	0	0	8
Усього по модулю 2	8	8	0	0	16
Загальна кількість годин	17	17	0	0	38

Теми практичних занять

- 1 Розрахунок режимів роботи теплової мережі – 2 години.
- 2 Розрахунок поточкорозподілу у кільцевій мережі – 3 години.
- 3 Побудова температурних графіків роботи теплової мережі – 3 години.

4 Розрахунок теплопроводів на самокомпенсацію – 3 години.

5 Вибір елеваторів для системи опалення – 3 години.

6 Вибір дросельної діафрагми для абонентської системи – 3 години.

Теми лабораторних занять

Лабораторних занять навчальною програмою не передбачено.

Курсове проектування

Курсового проектування навчальною програмою не передбачено.

Практика

Окремої практики в програмі навчального курсу не запланована.

Методи навчання

Лекції з моделюванням ситуацій, лекції із застосуванням наочного матеріалу, варіативне виконання практичних завдань, складання графічних схем, самостійне вивчення питань за допомогою навчально-методичної літератури.

Методи оцінювання

Оцінювання участі у практичних заняттях, модульний контроль, усне опитування під час заліку.

Розподіл балів, що виставляються студентам

Згідно з положенням про впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу (тимчасовим), в УкрДАЗТ використовується 100-бальна шкала оцінювання.

Принцип формування оцінки за модуль у складі залікового кредиту 1 за 100-бальною шкалою показано у таблиці, де наведена максимальна кількість балів, яку може набрати студент за різними видами навчального навантаження.

Розподіл балів за різними критеріями для залікового кредиту 1			
Модульний контроль	Лабораторні роботи	Практичні заняття	Сума балів за модуль
Модуль 1 - до 80	-	(4 заняття) до 20	до 100
Модуль 2 - до 80	-	(4 заняття) до 20	до 100

Модульний контроль оцінює рівень засвоєння матеріалу змістових модулів, які входять до складу кожного з двох модулів. Максимальна кількість балів за кожний модуль складає 80.

Практичні заняття оцінюються за п'ятибальною шкалою, тобто за кожне практичне заняття студент може отримати від 1 до 5 балів. За нестандартні рішення та творчий підхід при виконанні практичних завдань викладач може додати до 4 балів. Максимальна сума, яку може набрати студент за виконання практичних занять, – 20 балів.

До перелічених складових модульної оцінки можуть нараховуватися *додаткові бали* за участь студента у науковій роботі, підготовці публікацій, робіт на конкурси, участь в олімпіадах тощо. Кількість додаткових балів визначається на розсуд викладача, але у сумі не більш 100 балів разом з переліченими складовими модульної оцінки. Обґрунтованість нарахування студенту додаткових балів розглядається на засіданні кафедри та оформлюється відповідним протоколом.

Кількість балів, яка може бути отримана за результатом модульного контролю, дає студенту можливість для підвищення оцінки на одну ступінь за державною шкалою:

- з “4” (75-89 балів) на “5” (90-100 балів);
- з “3” (60-74 бали) на “4” (75-89 балів);

— з “2” (35-59 балів) на “3” (60-74 бали).

Оцінка іспиту визначається, як середньоарифметична оцінок всіх модулів залікового кредиту. За бажанням студента він може скласти іспит незалежно від результатів модульного контролю. Організація виставлення екзаменаційної оцінки та умови її покращення наведені у п.3.4 «Положення про впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу (тимчасовому)».

Під час заповнення заліково-екзаменаційної відомості та залікової книжки (індивідуального навчального плану) студента оцінка, виставлена за 100-бальною шкалою, повинна бути переведена до державної шкали (5, 4, 3,) та шкали ECTS (A, B, C, D, E).

Визначення назви за державною шкалою (оцінка)	Визначення назви за шкалою ECTS	За 100-бальною шкалою	ECTS оцінка
ВІДМІННО – 5	<u>Відмінно</u> – відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	90-100	A
ДОБРЕ – 4	<u>Дуже добре</u> – вище середнього рівня з кількома помилками	82-89	B
	<u>Добре</u> – в загальному правильна робота з певною кількістю грубих помилок	75-81	C
ЗАДОВІЛЬНО - 3	<u>Задовільно</u> - непогано, але зі значною кількістю недоліків	69-74	D
	<u>Достатньо</u> – виконання задовольняє мінімальні критерії	60-68	E

НЕЗАДОВІЛЬНО - 2	Незадовільно – потрібно попрацювати перед тим, як отримати залік або екзамен (без повторного вивчення модуля)	35-59	FX
	Незадовільно - необхідна серйозна подальша робота (повторне вивчення модуля)	<35	F

Методичне забезпечення

1 Програма, завдання та методичні вказівки до контрольної роботи з дисципліни «Теплові мережі» / В.В. Савенко. – Харків: УкрДАЗТ, 2003. – 25 с.

2 Методичні вказівки до практичних занять і контрольної роботи з дисципліни «Теплові мережі» / В.В. Савенко. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – 28 с.

Література

Основна

1 Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1982. - 360 с.

2 Сафонов А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 232 с.

Додаткова

1 Эксплуатация тепловых пунктов систем теплоснабжения / В.П.Витальев, В.Б.Николаев, Г.А.Порывай, Н.Н.Сельдин. – М.: Стройиздат, 1985. – 382 с.

2 Цветков В.В., Бережнов И.А. Справочник по теплоснабжению промышленных предприятий. – Харьков: Прапор, 1987. – 118 с.

3 Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справоч. пособие /Л.Д.Богуславский и др. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.

4 Апарцев М.М. Наладка водяных систем централизованного теплоснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 204 с.

5 Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник /В.И.Манюк и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 432 с.

Ресурси

1 НТБ УкрДАЗТ (Харків, пл. Феєрбаха, 7)

2 Медіатека УкрДАЗТ (Харків, пл. Феєрбаха, 7)

3 ХДНБ ім. В.Г. Короленка (Харків, пров. Короленка, 18)

4 Харківський ЦНТЕІ (Харків, просп. Гагаріна, 4).

2 РОЗРАХУНОК РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ

2.1 Завдання та вихідні дані

Схему двотрубної водяної теплової мережі в однолінійному зображенні наведено на рисунку 2.1. Для мережі було проведено гідравлічний розрахунок та побудовано п'єзометричний графік. За результатами розрахунків стали відомі витрати води у кожного абонента та втрати напору на кожній ділянці мережі (з урахуванням подавального та зворотного трубопроводів). Такі дані наведено у таблицях 2.1 та 2.2 за варіантами завдання. Втрата напору у кожній абонентській системі повинна складати 8 м.

Визначити дійсні витрати води у кожного з абонентів у таких умовах. Запропонувати заходи з налагодження системи, якщо дійсні витрати води відрізняються від потрібних.

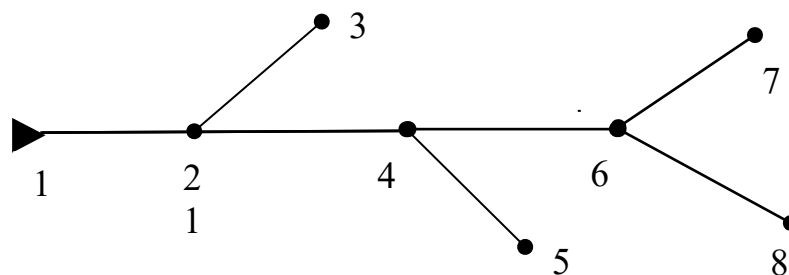


Рисунок 2.1 – Схема теплової мережі в однолінійному зображенні

Таблиця 2.1 – Втрати напору на ділянках за варіантами завдання

Позначення ділянки за рисунком 2.1	Втрата напору на ділянці, м, за варіантами завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1-2	0,5	0,7	0,9	0,8	1,2	1,0	0,7	0,8	0,9	0,6
2-3	0,8	0,9	0,7	1,0	0,6	1,1	0,8	0,9	1,2	1,0
2-4	0,4	0,6	0,5	0,7	0,4	0,8	0,5	0,6	0,8	0,7
4-5	1,2	1,0	0,8	0,7	1,1	1,3	0,9	1,0	1,2	1,4
4-6	0,7	0,5	0,6	0,4	0,8	0,9	0,6	0,7	0,5	0,8
6-7	1,8	1,4	1,2	1,5	1,7	1,6	1,3	1,9	1,8	2,0
6-8	0,6	0,4	0,3	0,5	0,7	0,4	0,3	0,6	0,6	0,8

Таблиця 2.2 – Витрати води у абонентів за варіантами завдання

№ абонента за рисунком 2.1	Витрата води у абонента, кг/с, за варіантами завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
3	2,2	2,5	2,8	2,6	2,4	3,0	2,5	3,4	2,2	3,2
5	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	3,2	2,8	3,1	2,7	3,3
7	1,8	2,4	2,5	2,0	2,1	2,8	2,4	2,6	2,6	2,5
8	1,5	1,9	2,3	1,8	1,7	2,2	1,6	2,0	2,3	2,5

2.2. Методичні вказівки

Методику розрахунків можливих режимів роботи теплових мереж та дійсних витрат води у системі викладено, наприклад, у [1, с. 170-174; 2, с.90, 95-96].

Розв'язання завдання можна зробити у два етапи:

- 1) визначити гідравлічний опір всієї мережі;
- 2) розрахувати розподіл витрат води за умовами завдання.

Для визначення гідравлічного опору мережі треба знати гідравлічні опори кожної ділянки, які можна знайти за результатами гідравлічного розрахунку, наведеними у вихідних даних. Попередньо треба знайти розрахункові витрати води на ділянках за заданими витратами води у абонентів, враховуючи схему мережі. Тоді гідравлічний опір S_i будь-якої ділянки знайдемо із залежності

$$\Delta H_i = S_i G_i^2, \quad (2.1)$$

де ΔH_i - втрата напору на ділянці; G_i - витрата води на ділянці.

Із залежності вигляду (2.1) можна знайти також гідравлічні опори $S_{аб}$ абонентських систем. Наприклад, для абонента 7

$$S_{аб7} = \frac{\Delta H_{аб7}}{G_7^2}, \quad (2.2)$$

де $\Delta H_{аб7}$ - задана втрата напору у абонента 7; G_7 - розрахункова витрата води у абонента 7.

Після цього є можливість починати визначення гідравлічного опору мережі.

Слід нагадати, що ділянки мережі можуть бути з'єднані між собою послідовно або паралельно. При послідовному з'єднанні двох ділянок 1 та 2 з гідравлічними опорами S_1 та S_2 справедлива залежність

$$S_{12} = S_1 + S_2, \quad (2.3)$$

де S_{12} - гідравлічний опір з'єднання ділянок 1 та 2.

При паралельному їх з'єднанні

$$a_{12} = a_1 + a_2, \quad (2.4)$$

де $a = \frac{1}{\sqrt{S}}$ - гідравлічні провідності ділянки або з'єднання.

Щоб не зробити помилок, рекомендується знаходити послідовно параметри з'єднання тільки двох ділянок та користуватись еквівалентними схемами мережі. Починати треба з кінцевих ділянок, рухаючись крок за кроком у напрямку джерела теплопостачання. При цьому до гідравлічного опору кінцевих ділянок слід додавати гідравлічний опір абонентської системи. Наприклад, для схеми мережі за рисунком 2.1 треба розглянути спочатку ділянки 6-7 та 6-8. Вони з'єднані паралельно, тому

$$a_6 = a_{67} + a_{68}; \quad (2.5)$$

$$a_{67} = \frac{1}{\sqrt{S_{67} + S_{a67}}} ; \quad a_{68} = \frac{1}{\sqrt{S_{68} + S_{a68}}} ; \quad (2.6)$$

$$S_6 = \frac{1}{a_6^2} , \quad (2.7)$$

де a_6, S_6 - відповідно гідравлічні провідність та опір з'єднання ділянок 6-7 та 6-8 з урахуванням абонентських систем.

Після цього вихідну схему мережі можна замінити схемою, яка еквівалентна їй за гідравлічним опором і відповідає рисунку 2.2. На рисунку 2.2 пунктиром позначена умовна ділянка мережі з параметрами a_6, S_6 .

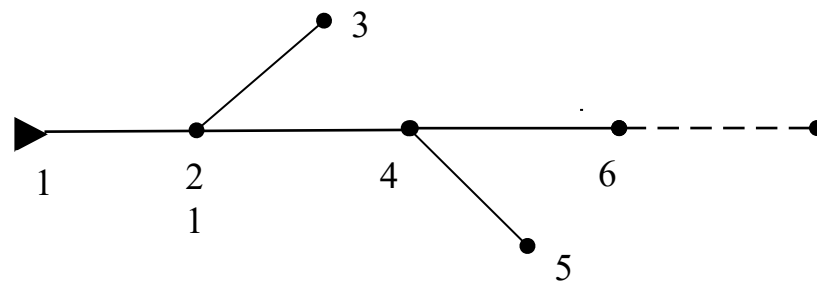


Рисунок 2.2 – Варіант схеми мережі, яка еквівалентна вихідній схемі

Далі за рисунком 2.2 можна визначити параметри послідовного з'єднання ділянок 4-6 та умовної ділянки

$$R_{46} = S_{46} + S_6 ; \quad (2.8)$$

$$a_{46} = \frac{1}{\sqrt{R_{46}}} . \quad (2.9)$$

З'єднання останніх двох ділянок замінюємо умовною ділянкою з параметрами R_{46}, a_{46} , унаслідок чого отримаємо нову еквівалентну схему (рисунок 2.3).

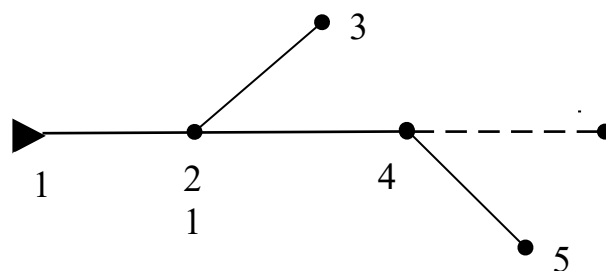


Рисунок 2.3 – Другий варіант схеми мережі,
яка еквівалентна вихідній схемі

Після схеми за рисунком 2.3 наступний варіант еквівалентної схеми буде ще простішим. Подальше спрощення схеми призведе кінець кінцем до схеми з одною умовною ділянкою, гідравлічний опір якої буде дорівнювати опору S_1 всієї мережі. На цьому перший етап розрахунків буде виконаний.

Знайдена величина S_1 пов'язана залежністю вигляду (2.1) з падінням напору ΔH_1 у всій мережі та витратою води G_1 на вході в мережу. Значення ΔH_1 можна знайти за вихідними даними

$$\Delta H_1 = \Delta H_{a67} + \Delta H_{67} + \Delta H_{46} + \Delta H_{24} + \Delta H_{12} . \quad (2.10)$$

Тоді

$$G_1 = \sqrt{\frac{\Delta H_1}{S_1}} . \quad (2.11)$$

Знайдена величина G_1 буде дорівнювати дійсній витраті води $G_{\partial 12}$ на ділянці 1-2.

У вузлі 2 мережі здійснюється розподіл потоку за двома напрямками. Дійсні витрати води за кожним з напрямків залежать від гідравлічних опорів частин мережі, які відносяться до цих напрямків. Наприклад, для вузла 2 мережі розподіл витрат води знайдемо за формулами [1,2]

$$G_{\partial 23} = G_{\partial 12} \sqrt{\frac{S_2}{R_{23}}} , \quad (2.12)$$

$$G_{\partial 24} = G_{\partial 12} \sqrt{\frac{S_2}{R_{24}}} . \quad (2.13)$$

За формулами вигляду (2.12), (2.13) можна знайти розподіл витрат води для решти вузлів. Як наслідок одержимо дійсні витрати води на кожній ділянці мережі та у кожного з абонентів.

Дійсні витрати води у абонентів треба порівняти з розрахунковими. При їх невідповідності запропонувати варіанти заходів з налагодження роботи теплової мережі.

3 РОЗРАХУНОК ПОТОКОРОЗПОДІЛУ У КІЛЬЦЕВІЙ МЕРЕЖІ

3.1 Завдання та вихідні дані

Схему кільцевої частини водяної теплової мережі в однолінійному зображенні наведено на рисунку 3.1. Витрати води G_2 , G_3 , G_4 відомі. Кільце складається з чотирьох ділянок, гідравлічні опори яких прийняти самостійно у межах $0,1 \dots 2$ кПа/(кг/с)², але різні значення для різних ділянок. Витрати води G_2 , G_3 , G_4 прийняти різними у межах $2 \dots 10$ кг/с.

Визначити напрямки течії та витрати води на ділянках кільця.

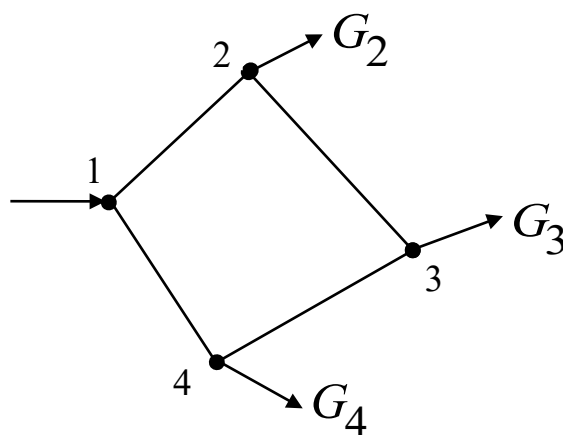


Рисунок 3.1 - Схема кільцевої частини теплової мережі

3.2 Методичні вказівки

Для розрахунків поточкорозподілу у кільцевих мережах використовують перше та друге рівняння Кірхгофа для гідравлічних систем [1, с. 186-187; 2, с. 107-108]:

1) для будь-якого вузла мережі алгебраїчна сума витрат рідини дорівнює нулю, тобто

$$\sum_{i=1}^n G_i = 0 \quad ; \quad (3.1)$$

2) для замкненого контуру алгебраїчна сума втрат тиску (напору) дорівнює нулю, а саме

$$\sum_{i=1}^n \Delta H_i = \sum_{i=1}^n S_i G_i^2 = 0 \quad . \quad (3.2)$$

Для застосування рівнянь (3.1), (3.2) треба знати напрямки течії, а вони заздалегідь невідомі. Тому розрахунки проводять у наступний спосіб.

Приймають довільно напрямки течії на ділянках. Для заданої схеми мережі приймемо, наприклад, напрямки течії за рисунком 3.2. Такі напрямки течії будуть означати, що точка водорозподілу знаходиться у вузлі 3.

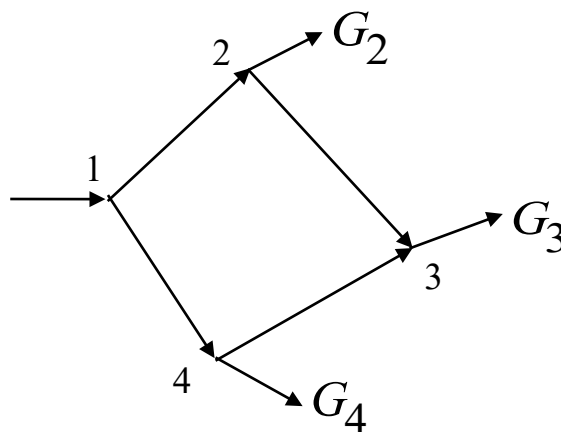


Рисунок 3.2 – Схема мережі з початково прийнятими напрямками течії

До існуючих вузлів мережі застосовують рівняння (3.1). У заданій мережі чотири вузли, але незалежних рівнянь є тільки три. Четверте рівняння теж можна записати, але воно буде залежним від попередніх трьох і тому не може бути корисним. Оберемо, наприклад, вузли 2, 3, 4, для яких, згідно з рисунком 3.2, одержимо

$$G_{12} - G_2 - G_{23} = 0 \quad , \quad (3.3)$$

$$G_{23} + G_{43} - G_3 = 0 \quad , \quad (3.4)$$

$$G_{14} - G_4 - G_{43} = 0 \quad . \quad (3.5)$$

Рівняння (3.2) для замкненого контуру за рисунком 3.2 буде мати вигляд

$$S_{12}G_{12}^2 + S_{23}G_{23}^2 - S_{14}G_{14}^2 - S_{43}G_{43}^2 = 0 \quad . \quad (3.6)$$

Маємо чотири рівняння (3.3)-(3.6) з чотирма невідомими. Таку систему рівнянь можна розв'язувати будь-яким відомим методом. На практиці віддають перевагу методу послідовних наближень (ітераційному методу), який запроваджують наступним чином.

Приймають довільно (у межах можливого) одну з невідомих витрат води на будь-якій ділянці. Тоді з рівнянь (3.3)-(3.5) знайдуться всі інші витрати. Знайдені витрати води підставляють у рівняння (3.6) і за розрахунками одержують деяку неув'язку δp

$$\sum_{i=1}^n S_i G_i^2 = \delta p \neq 0 \quad .$$

Якщо $\delta p > 0$, то це буде означати, що прийняті витрати води на ділянках з додатковими напрямками течії завищені. Тоді уточнюють прийняту витрату води на якусь величину δG з урахуванням знаку величини δp і повторюють розрахунки спочатку, тобто ще раз знаходять витрати води на ділянках та підставляють їх у рівняння (3.6). У залежності від знаку нової неув'язки δp знов уточнюють витрату води на обраній ділянці та

повторюють ітерації, доки не буде отримане прийнятне рішення. Прийнятним можна вважати, наприклад, таке рішення, коли останнє уточнення δG складає не більше 2...3 % від найменшої витрати води на ділянках.

Під час ітерацій величину поправки δG приймають навмання або визначають за приблизною залежністю [1]

$$\delta G = \frac{\delta p}{2 \sum_{i=1}^n |S_i G_i|} \quad (3.7)$$

У залежності (3.7) напрямки течії води на ділянках не враховуються, тобто всі доданки у знаменник повинні бути додатними.

Під час ітерацій може статися, що на деякій ділянці витрата води стає від'ємною. Це означає, що на цій ділянці треба змінити напрямок течії на протилежний і у подальшому у всіх рівняннях (3.3)-(3.6) враховувати цей змінений напрямок течії. Тоді після закінчення ітерацій разом з величинами витрат води будуть знайдені дійсні напрямки течії на ділянках (дійсне положення точки водорозподілу).

4 ОЦІНЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕМПЕРАТУРНИХ ГРАФІКІВ

4.1 Завдання та вихідні дані

Систему опалення будинку приєднано до теплової мережі за схемою, що наведено на рисунку 4.1.

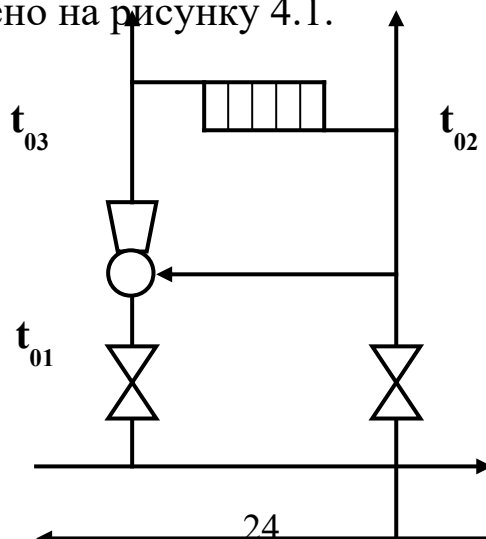


Рисунок 4.1 – Схема приєднання до ТМ системи опалення

У системі здійснюється якісне регулювання витрат теплоти за розрахунковим графіком $t_{o1p}/t_{o2p}/t_{o3p}=130/70/95$. При температурі зовнішнього повітря $t_{н1}$ термометри, що встановлено на тепловому пункті, показують температури води у подавальному трубопроводі до елеватора t_n і у зворотному трубопроводі - $t_{зв}$. Побудувати температурні графіки та встановити, чи забезпечать задані температури води потрібну температуру повітря у приміщеннях і чому?

Прийняти розрахункову температуру повітря у приміщеннях $t_{вр}= 18$ °С. Розрахункову температуру $t_{нр}$ зовнішнього повітря прийняти для району, де мешкає студент. Дані з величин $t_{нр}$ для деяких міст України, згідно з [3], наведені у таблиці 4.1.

Вихідні дані за варіантами завдання наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Температури $t_{нр}$ для деяких міст України [3]

Місто	$t_{нр},$ °С	Місто	$t_{нр},$ °С
Бердянськ	-19	Миколаїв	-20
Винниця	-21	Одеса	-18
Джанкой	-17	Полтава	-23
Дніпропетровськ	-23	Рівне	-21
Донецьк	-23	Севастополь	-11
Євпаторія	-16	Сімферополь	-15
Житомир	-22	Слов'янськ	-23
Запоріжжя	-22	Суми	-24
Івано-Франківськ	-20	Тернопіль	-21
Ізмаїл	-14	Ужгород	-18

Керч	-15	Умань	-22
Київ	-22	Феодосія	-15
Кіровоград	-22	Харків	-23
Конотоп	-24	Херсон	-19
Луганськ	-25	Хмельницький	-21
Луцьк	-20	Черкаси	-22
Львів	-19	Чернігів	-23
Любашівка	-20	Чернівці	-20
Маріуполь	-23	Ялта	-6

Таблиця 4.2 – Вихідні дані за варіантами завдання

Позначення температури	Температури повітря і води, °С, за варіантами завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$t_{н1}$	-10	0	2	-15	-8	-20	-12	-25	-5	-18
t_n	95	66	60	105	90	112	95	128	85	115
$t_{зв}$	54	41	40	62	53	65	56	67	50	66

4.2 Методичні вказівки

При якісному регулюванні теплового навантаження температури теплоносія при різних температурах t_n зовнішнього повітря для схеми приєднання за рисунком 4.1 визначаються за формулами [1; 2, с. 97-98; 4, с. 282-283; 5, с. 106-108; 13, с. 40-43]

$$t_{o1} = t_{ep} + q_o^{0,8} \Delta t_{op} + q_o \left[t_{o1p} - 0,5(t_{o2p} + t_{o3p}) \right], \quad (4.1)$$

$$t_{o2} = t_{ep} + q_o^{0,8} \Delta t_{op} - 0,5q_o (t_{o3p} - t_{o2p}), \quad (4.2)$$

$$t_{o3} = t_{ep} + q_o^{0,8} \Delta t_{op} + 0,5q_o (t_{o3p} - t_{o2p}), \quad (4.3)$$

де t_{01}, t_{02}, t_{03} - температури води відповідно у подавальній лінії системи опалення, зворотній лінії та після елеватора (рисунки 4.1); q_0 - відносний тепловий потік на опалення; $t_{01p}, t_{02p}, t_{03p}$ - значення температур t_{01}, t_{02}, t_{03} на розрахунковому режимі, що відповідають прийнятому температурному графіку; Δt_{op} - температурний напір в опалювальних установках.

$$\Delta t_{op} = 0,5 \left(t_{03p} + t_{02p} \right) - t_{вр} . \quad (4.4)$$

Значення q_0 при різних температурах t_n визначаються за формулою

$$q_0 = \frac{t_{вр} - t_n}{t_{вр} - t_{нр}} . \quad (4.5)$$

Таким чином, температурні графіки можуть будуватися у залежності від q_0 або від t_n . Більш доцільною здається побудова графіків у залежності від температури t_n зовнішнього повітря. Під час цього межі змінювання t_n повинні складати $+ 8 \text{ }^\circ\text{C} \dots t_{нр}$, але з точки зору зручності побудови графіків рекомендується будувати їх у межах $t_{вр} \dots t_{нр}$.

Залежності $t_{01}, t_{02}, t_{03} = f(t_n)$ нелінійні, тому для побудови графіків слід мати якнайменш по п'ять розрахункових точок кожного графіка. Одночасно з побудовою цих графіків доцільно збудувати графік $q_0 = f(t_n)$. Остання залежність є лінійною, тому для побудови графіка достатньо двох розрахункових точок.

Після побудови графіків можна порівняти задані температури ($t_n, t_{зв}$) із розрахунковими за графіками та зробити відповідні висновки щодо забезпечення потрібної температури повітря у приміщеннях, що опалюються.

5 ВИБІР ДРОСЕЛЬНИХ ДІАФРАГМ ДЛЯ РОЗПОДІЛЬ- ЧОЇ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ

5.1 Завдання та вихідні дані

У завданні 1 було розраховано дійсні витрати води у абонентів у заданих умовах. Обрати дросельні діафрагми для тих абонентів за завданням 1, де дійсні витрати води не відповідають розрахунковим. Вибір діафрагм провести за різними залежностями, що пропонуються в літературі.

5.2 Методичні вказівки

Одним з найбільш простих заходів з налагодження роботи розподільчої водяної теплової мережі є встановлення у абонентів дросельних діафрагм [4, 6-11].

Одним з основних параметрів діафрагми є діаметр d_0 її отвору. Найбільш відомими з літератури залежностями для визначення d_0 є [4, с. 191; 6, с. 372; 7, с. 156]

$$d_0 = 11,3 \sqrt{\frac{G}{\sqrt{\Delta H}}} \quad (5.1)$$

та залежність [8, с. 59; 9, с. 209; 10, с. 101; 11, с. 447]

$$d_0 = 10 \cdot \sqrt[4]{\frac{G^2}{\Delta H}} \quad , \quad (5.2)$$

де G - витрата води через діафрагму; ΔH - надлишковий напір, який необхідно дроселювати.

Є також залежність, яку отримано на кафедрі “Теплотехніка та теплові двигуни” [12]

$$\left. \begin{aligned} m &= 0,29 \cdot v_{mp}^{0,9} \cdot \Delta H^{-0,44} \quad , \\ d_0 &= d_{mp} \cdot \sqrt{m} \quad , \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

де m - модуль діафрагми; V_{mp} - середня швидкість води у трубопроводі; d_{mp} - внутрішній діаметр трубопроводу.

При $Re_0 > 10^5$, $V_{mp} \leq 2$ м/с, $2 \leq \Delta H \leq 40$ м, $m \leq 0,5$ похибки визначення модуля m за формулою (5.3) не перевищують 3%. Указані межі змінювання параметрів слід розглядати як межі застосування формули (5.3) з прийнятною похибкою.

Для використання залежностей (5.1)-(5.3) треба знати надлишковий напір ΔH води у абонента, тобто різницю між наявним напором ΔH_p у абонента за п'єзометричним графіком та розрахунковою втратою напору $\Delta H_{аб}$ в абонентській системі.

Величини ΔH_p для будь-якого абонента за рисунком 2.1 можна обчислити без побудови п'єзометричного графіка, виходячи з втрат напору на ділянках мережі. Наприклад, для абонента 7 за рисунком 2.1

$$\Delta H_{p7} = \Delta H_{аб} .$$

Для абонента 8 отримаємо

$$\Delta H_{p8} = \Delta H_{p7} + \Delta H_{67} - \Delta H_{68} , \quad (5.4)$$

$$\Delta H_8 = \Delta H_{p8} - \Delta H_{аб} . \quad (5.5)$$

Для інших абонентів значення надлишкового напору ΔH знаходяться аналогічно. Необхідні для використання залежностей (5.1)-(5.3) розрахункові витрати води у абонентів відомі із завдання 2. У залежності (5.3) присутній діаметр трубопроводу, в якому буде встановлено діафрагму. Для розподільчої мережі внутрішні діаметри трубопроводів на кінцевих ділянках у багатьох випадках складають 40, 51, 70 мм.

Доцільно обрати діафрагми для кожного з трьох вказаних діаметрів. За результатами розрахунків вказати одну з трьох наведених залежностей, яка може давати більш достовірні результати, та обґрунтувати свій вибір.

6 РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ОПОР ТЕПЛОПРОВОДІВ

6.1 Завдання та вихідні дані

Довжина ділянки водяної теплової мережі та діаметр трубопроводу відомі. Обрати найменшу кількість опор теплопроводу на ділянці.

Довжину ділянки та діаметр трубопроводу за варіантами завдання наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

Найменування показника та одиниця вимірювання	Значення показника за варіантами завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Довжина ділянки, м	45	56	42	48	34	54	36	52	40	44
Зовнішній діаметр трубопроводу, мм	273	108	57	89	133	76	159	194	89	219

6.2 Методичні вказівки

Вибір типу та кількості опор теплопроводів розглядається, зокрема, в літературі [1, с. 264-265; 2, с.145-150; 4, с. 116-118; 5, с. 22-24; 13, с. 111-113].

На кінцях обраної ділянки мережі є нерухомі опори. Завдання у даному випадку полягає в тому, щоб обрати кількість рухомих опор та відстань між ними. Ці параметри визначають виходячи з міцності трубопроводу, за умови

$$\sigma_u \leq \sigma_d, \quad (6.1)$$

де σ_u - напруження згину, що виникають у трубопроводі;

σ_d - допустимі для матеріалу трубопроводу напруження.

Якщо розглядати теплопровід на опорах як багатопроміжну балку, то з умови (6.1) можна знайти розрахункову відстань l_{opr} між опорами

$$l_{opr} \leq \sqrt{\frac{12\sigma_{\partial} W}{q_{\partial}}}, \quad (6.2)$$

де W - екваторіальний момент опору трубопроводу;

q_{∂} - питоме вертикальне навантаження на трубопровід (на одиницю довжини).

Для трубопроводів теплових мереж з урахуванням зменшення міцності у зварювальних стиках можна приймати $\sigma_{\partial} = 40-50$ МПа.

$$q_{\partial} = q_{\partial 1} + q_{\partial 2} + q_{\partial 3}, \quad (6.3)$$

де $q_{\partial 1}, q_{\partial 2}, q_{\partial 3}$ - питомі вертикальні навантаження відповідно від ваги трубопроводу, води і теплоізоляції.

Значення W , $q_{\partial 1}, q_{\partial 2}, q_{\partial 3}$ для деяких теплопроводів наведено в таблиці 6.2 (дані взято для безшовних труб, щільність теплоізоляції прийнято 400 кг/м^3 при рекомендованій у літературі товщині теплоізоляції $\delta_{из}$).

Таблиця 6.2 – Довідкові дані для деяких теплопроводів
(d_y - умовний діаметр трубопроводу)

d_y , мм	W , м ³	$\delta_{из}$, мм	Питомі навантаження, Н/м		
			$q_{\partial 1}$	$q_{\partial 2}$	$q_{\partial 3}$
70	$12,1 \cdot 10^{-6}$	50	53	37,5	77
80	$18,1 \cdot 10^{-6}$	50	71,5	52,4	87
100	$35,2 \cdot 10^{-6}$	50	100	77	100
125	$51 \cdot 10^{-6}$	60	125	120	146
150	$82,1 \cdot 10^{-6}$	60	168	173	162
175	$1,29 \cdot 10^{-4}$	60	227	262	184
200	$2,10 \cdot 10^{-4}$	60	310	327	206
250	$3,84 \cdot 10^{-4}$	60	457	516	244

300	$6,45 \cdot 10^{-4}$	60	614	740	284
350	$9,50 \cdot 10^{-4}$	70	800	1000	382

Визначивши l_{opr} для ділянки довжиною l , уточнюють кількість рухомих опор та відстані між ними.

Наприклад, для $l = 70$ м одержано $l_{opr} = 7,4$ м. Тоді кількість проміжків k_{np} між опорами дорівнює $70/7,4 = 9,46 \approx 10$, а кількість опор k_{on} дорівнює 9 з відстанню між ними $l_{on} = 70/10 = 7$ м. Визначена таким чином кількість опор буде найменшою з можливих.

7 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ НЕПРЯМОЛІНІЙНИХ ДІЛЯНОК ТЕПЛОПРОВОДІВ

7.1 Завдання та вихідні дані

Для ділянки теплової мережі заданої конфігурації і розмірів визначити необхідність встановлення компенсаторів температурних подовжень. Робота мережі планується за температурним графіком 150/70.

Варіанти конфігурацій ділянок мережі наведено на рисунку 7.1. Вихідні дані за варіантами завдання наведено в таблиці 7.1.

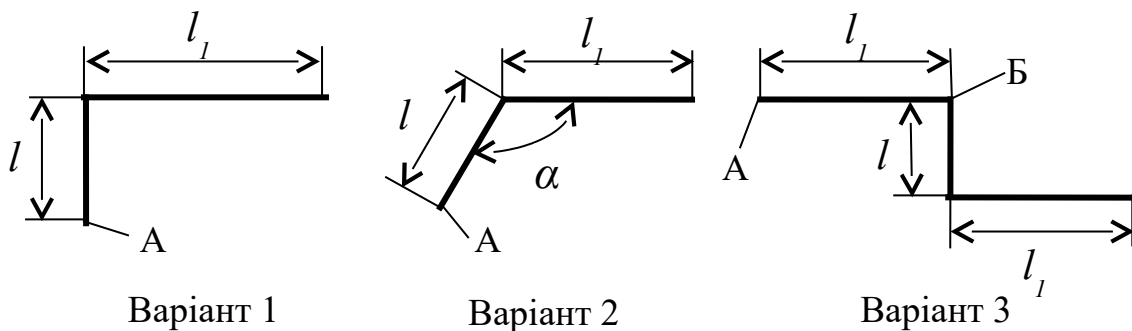


Рисунок 7.1 – Варіанти конфігурацій ділянок мережі

Таблиця 7.1 – Вихідні дані за варіантами завдання

Найменування або позначення показника та	Значення показника за варіантами завдання									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

Одиниця вимірювання										
Варіант конфігурації ділянки	3	2	3	1	2	1	2	3	3	1
Кут α , градусів	-	120	-	-	135	-	150	-	-	-
l_1 , м	30	20	25	35	40	28	32	45	30	35
l , м	22	10	12	24	30	15	18	25	16	20
Зовнішній діаметр трубопроводу, мм	57	273	159	194	108	76	108	89	133	219

7.2 Методичні вказівки

Для прямолінійних ділянок теплопроводів встановлення компенсаторів температурних подовжень практично є обов'язковим. На практиці значна частина ділянок теплової мережі може бути непрямолінійною. У такому разі компенсація температурних подовжень може відбуватися за рахунок існуючої конфігурації і спеціальні компенсатори можуть не знадобитися, але це потребує підтвердження розрахунками. Розрахунки містять визначення напружень у найбільш безпечних частинах трубопроводу і порівняння їх з припустимими величинами. Методику таких розрахунків наведено, наприклад, у [2, с.145-150].

Напруження у трубопроводі від температурних подовжень ділянки мережі між двома нерухомими опорами можна визначити за формулою [2]

$$\sigma = c \frac{\Delta l E d_H}{l^2}, \quad (7.1)$$

де c - коефіцієнт, величина якого залежить від конфігурації ділянки; Δl - температурне подовження трубопроводу у напрямку дії зусилля; E - модуль пружності для матеріалу трубопроводу, для сталевих трубопроводів $E=19,62 \cdot 10^{10}$ Па; d_H - зовнішній діаметр трубопроводу; l - довжина меншої прямолінійної частини ділянки (рисунок 7.1).

Для варіанта 1 конфігурації найбільше напруження виникає у точці А (рисунок 7.1), а коефіцієнт c для цієї точки визначається за формулою [2]

$$c_A = 1,5 \left[\frac{n^3 + 2n^2 + 1}{n^2(n+1)} \right]; \quad n = \frac{l_1}{l} . \quad (7.2)$$

Для варіанта 2

$$c_A = \frac{1,5}{\cos \beta} \left[\frac{n^3 + 2n^2 + 1}{n^2(n+1)} + \frac{n+3}{n(n+1)} \sin \beta \right], \quad (7.3)$$

де $\beta = \alpha - 90$.

Для варіанта 3 у залежності від співвідношення довжин l та l_1 точками з найбільшими напруженнями можуть бути або А, або Б (рисунок 7.1). Тому треба визначити напруження для обох точок з урахуванням коефіцієнтів

$$c_A = 0,75 \left[\frac{4n^3 + 3n + 1}{n^3(3n+2)} \right], \quad (7.4)$$

$$c_B = 0,75 \left[\frac{8n^2 + 3}{n^2(3n+2)} \right]. \quad (7.5)$$

Температурне подовження Δl розраховують за формулою

$$\Delta l = \alpha_t l_t \Delta t , \quad (7.6)$$

де α_t - коефіцієнт температурного подовження, для сталевих трубопроводів він дорівнює $1,2 \cdot 10^{-5}$ 1/К; l_t - довжина трубопроводу, унаслідок подовження якої виникає напруження. Для варіантів конфігурації 1 та 2 - $l_t = l_1$, для варіанта 3 - $l_t = 2l_1$; Δt - змінення температури трубопроводу, за відсутності більш

точных данных величину Δt принимают равной наибольшей температуре воды в сети (выходные данные).

Если расчетная величина σ меньше допустимого напряжения σ_0 , то компенсатор на этой длине можно не устанавливать. Для стальных трубопроводов тепловых сетей $\sigma_0 = 40$ МПа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 360 с.

2 Сафонов А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 232 с.

3 СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика. - <http://www.proxima.com.ua/dbn/articles.php?clause=271>.

4 Пешехонов Н.И. Проектирование теплоснабжения. – К.: Вища школа, 1982. – 328 с.

5 Водяные тепловые сети: Справоч. пособие по проектированию / Под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.

6 Справочник по теплоснабжению и вентиляции: Книга первая. Отопление и теплоснабжение / Р.В. Щекин, С.М. Корневский, Г.Е. Бем и др. – К.: Будівельник, 1976. – 416 с.

7 Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей / Под общ. ред. В.Я. Хасилева и А.П. Меренкова. - М.: Энергия, 1978. - 176 с.

8 Апарцев М.М. Настройка водяных систем централизованного теплоснабжения: Справ.-метод. пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 203 с.

9 Настройка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник / В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 432 с.

10 Варварин В.К., Швырев А.В. Наладка систем теплоснабжения, водоснабжения и канализации. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 206 с.

11 Эксплуатация тепловых пунктов и систем теплопотребления: Справочник / В.П. Витальев, В.Б. Николаев, Н.Н. Сельдин. – М.: Стройиздат, 1988. – 623 с.

12 Савенко В.В., Зубко А.М. Помилки при виборі дросельних діафрагм систем теплопостачання // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – Вип. 57. – С. 183-195.

13 Єнін П.М., Швачко Н.А. Теплопостачання (Ч.1: Теплові мережі та споруди): Навч. посібник. – К.: Кондор, 2007. – 244 с.