

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«МІСЬКІ ІНЖЕНЕРНІ МЕРЕЖІ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня
програма «Міське будівництво та господарство», «Промислове та цивільне
будівництво», «Цивільна інженерія»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Міські інженерні мережі» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітньо-професійна програма «Міське будівництво та господарство», «Промислове та цивільне будівництво», «Цивільна інженерія») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : С. В. Павловський, О. В. Гвоздецький. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 98 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. С. В. Павловський,
канд. техн. наук, доц. О. В. Гвоздецький

Рецензент

Ю. І. Чайка, кандидат технічних наук, професор кафедри теплогазопостачання і вентиляції Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою теплогазопостачання і вентиляції,
протокол № 16 від 18.01.2024*

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Подано вимоги до оформлення, засоби та послідовність виконання завдань, список рекомендованих джерел.

ЗМІСТ

I ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ.....	5
1 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ ВОДОСПОЖИВАННЯ	5
1.1 Господарсько-побутові потреби	5
1.1.1 Максимальні секундні витрати	5
1.1.2 Максимальні годинні витрати.....	6
1.1.3 Середньогодинні витрати	6
1.2 Витрата води на потреби пожежогасіння	7
1.3 Витрати води на поливання вулиць і зелених насаджень	8
1.4 Визначення витрат води на господарсько-побутові потреби промислових підприємств	9
2 СХЕМИ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ	11
2.1 Водозабірні споруди для прийому води з поверхневих і підземних джерел.....	11
2.2 Принципова схема водопостачання населених міст. Конструювання водопровідної мережі.....	14
2.2.1 Вільні напори у водопровідній мережі	14
2.2.2 Основи розрахунку та схеми трасування зовнішніх водопровідних мереж	16
3 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ СТИЧНИХ ВОД	17
3.1 Визначення розрахункових витрат від житлової забудови.....	17
3.2 Визначення розрахункових витрат стічних вод промислових підприємств	18
3.3 Конструювання системи каналізації	22
4 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИТРАТИ ТЕПЛОНОСІЯ	25
4.1 Визначення теплових навантажень	25
4.2 Побудова графіка теплових навантажень. Визначення витрат теплоносія. Графік витрати теплоносія.....	27
4.2.1 Графік теплових навантажень.....	27
4.2.2 Визначення розрахункових витрат теплоносія	31
5 ДЕТАЛЮВАННЯ ТРУБОПРОВОДІВ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ.....	33
5.1 Компенсатори	33
5.2 Опори	35
5.3 Теплова ізоляція	37
5.4 Канали теплової мережі.....	38
5.5 Побудова повздовжнього профілю.....	40

6 ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ГАЗУ. ОБЛАДНАННЯ ГРП	43
6.1 Визначення витрати газу побутовими споживачами	43
6.2 Визначення витрати газу промисловими споживачами	44
6.2.1 Системи газопостачання промислового підприємства	44
6.3 Визначення витрати газу джерелом теплопостачання	45
6.3.1 Розрахування годинних обсягів споживання газу	45
6.4 Підбір обладнання ГРП	46
7 СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	47
7.1 Принципова схема електропостачання населених міст	47
7.1.1 Розрахунок захисного заземлення	49
7.2 Методи прокладання розподільних і розвідних електричних мереж. Розташування трансформаторних підстанцій	55
7.2.1 Кабельні електричні мережі. Трансформаторні підстанції.....	56
7.3 Визначення електричних навантажень	58
8 ТРАСУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ НА ГЕНПЛАНІ МІКРОРАЙОНУ ЧИ МІСТА	60
8.1 Трасування водопровідних мереж на генплані	60
8.2 Трасування каналізаційних мереж на генплані.....	61
8.3 Трасування теплових мереж на генплані.....	63
8.4 Трасування газопроводів на генплані	64
8.5 Трасування електричних мереж на генплані.....	65
9 ЕКСПЛУАТАЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ.....	67
9.1 Випробування інженерних мереж	67
9.2 Підвищення надійності систем водопостачання, водовідведення	75
9.3 Захист газопроводів від корозії.....	76
II САМОСТІЙНА РОБОТА.....	79
ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 1	79
ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 2	80
ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 3	83
ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 4	84
ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 5	85
ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 6	87
ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 7	88
ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 8	89
ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 9	94
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	96

І ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

1 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ ВОДОСПОЖИВАННЯ

1.1 Господарсько-побутові потреби

Існують декілька витрат води:

- максимальні секундні витрати;
- максимальні годинні витрати;
- середньогодинні (середньодобові) витрати.

1.1.1 Максимальні секундні витрати

Визначаються відповідно до [1], додаток А, таблиця А.5.

Приклад 1. Визначити максимальну секундну витрату холодної води житловим мікрорайоном, який розташовано у м. Харкові. Житлові будинки обладнано ваннами завдовжки більш ніж 1 500 мм. Кількість водорозбірних кранів системи холодного водопостачання складає 16 000 шт. Система гарячого водопостачання – централізована.

Порядок виконання:

1. Визначаємо кліматичний район для м. Харкова (згідно з [10] рис. 1).

Згідно з даними карти-схеми Харків розташовано у першому кліматичному районі.

2. Відповідно до [1], таблиця А.1 визначаємо розрахункові (питомі середні за рік) добові витрати води у житлових будинках, л/доба на одного мешканця.

$$Q_T^c = Q_T^{\text{tot}} - Q_T^h = 250 - 100 = 150 \frac{\text{л}}{\text{доба}} \text{ або } 6,25 \frac{\text{л}}{\text{год}}.$$

3. Визначаємо максимальні секундні витрати холодної води відповідно до [1], таблиця А.5.

Максимальні секундні витрати холодної води визначаємо відповідно до даних визначеної витрати води п. 2, які складають 6,25 л/год, а також даних кількості водорозбірних кранів, згідно до завдання 16 000 шт.

4. Визначаємо максимальну секундну витрату холодної води для значення 6,25 л/год.

1.1.2 Максимальні годинні витрати

Визначаються відповідно до [1], додаток А, таблиця А.5.

Визначаються аналогічно максимальних секундних витрат, але під час вибору рядка обираємо одиницю виміру м³/год, замість одиниці виміру л/с.

Приклад 2. Визначити максимальну годинну витрату холодної води житловим мікрорайоном, який розташовано у м. Харкові. Житлові будинки обладнано ваннами завдовжки більш ніж 1 500 мм. Кількість водорозбірних кранів системи холодного водопостачання складає 16 000 шт. Система гарячого водопостачання – централізована.

Порядок виконання:

1. Визначаємо кліматичний район для м. Харкова (відповідно до даних рис. 1.1).

Відповідно до даних карти-схеми Харків розташовано у першому кліматичному районі.

2. Відповідно до [1], таблиця А.1, визначаємо розрахункові (питомі середні за рік) добові витрати води у житлових будинках, л/доба на одного мешканця.

$$Q_T^c = Q_T^{\text{tot}} - Q_T^h = 250 - 100 = 150 \frac{\text{л}}{\text{доба}} \text{ або } 6,25 \frac{\text{л}}{\text{год}}.$$

3. Визначаємо максимальні годинні витрати холодної води відповідно до [1], таблиця А.5.

Максимальні годинні витрати холодної води визначаємо відповідно до даних визначеної витрати води п. 2, які складають 6,25 л/год, а також даних кількості водорозбірних кранів, згідно до завдання 16 000 шт.

4. Визначаємо максимальну годинну витрату холодної води для значення 6,25 л/год.

$$(220 - 188) \cdot (6,25 - 6,0) / (8,0 - 6,0) + 188 = 192 \text{ м}^3/\text{год}.$$

1.1.3 Середньогодинні витрати

Визначаються відповідно до [1], додаток А, таблиця А.1 або таблиця А.2.

Приклад 3. Визначити середньодобову витрату холодної води нежитлової будівлі, яка розташована у м. Суми. Кількість водорозбірних кранів системи холодного водопостачання складає 100 шт. Кількість працівників – 200 людей. Система гарячого водопостачання – децентралізована. Режим роботи 8 год/доба.

Порядок виконання:

1. Визначаємо кліматичний район для м. Суми (відповідно до даних рис. 1.1).

Згідно з даними карти-схеми місто Суми розташовано у першому кліматичному районі.

Відповідно до [1], таблиця А.2 визначаємо розрахункові (питомі середні за рік) добові витрати води, л/доба на одного працівника.

$$Q_T^c = Q_T^{tot} = 15 \frac{\text{л}}{\text{доба}} \text{ або } 1,88 \frac{\text{л}}{\text{год}}.$$

2. Визначаємо середньогодинні витрати холодної води.

$$Q_T^c = \frac{Q_T^{tot} \cdot U}{1\,000 \times 8} = \frac{15 \times 200}{8\,000} = 0,375 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

1.2 Витрата води на потреби пожежогасіння

До внутрішньої системи пожежогасіння відносять пожежні крани. До зовнішньої системи пожежогасіння відносять пожежні гідранти.

1.2.1 Визначення витрат води на внутрішню систему пожежогасіння

Визначаються відповідно до [1], таблиця 3.

Приклад 4. Визначити витрату води на внутрішню систему пожежогасіння, якщо це адміністративна будівля висотою 21 м та об'ємом 20 000 м³.

Порядок виконання:

Відповідно до даних таблиці 3, яка наведена в [1], визначаємо кількість необхідних струменів та мінімальну витрату води на кожний струмінь.

Витрата води складає: $1 \times 2,5 = 2,5 \frac{\text{л}}{\text{с}}$.

1.2.2 Визначення витрат води на зовнішню систему пожежогасіння

Визначаються відповідно до [2], таблиці 3, 4, 5, 6.

Приклад 5. Визначити витрату води на зовнішню систему пожежогасіння, якщо це адміністративна будівля висотою 21 м та об'ємом 20 000 м³. Кількість поверхів – 7.

Порядок виконання:

Відповідно до даних таблиці 3, яка наведена в [2], визначаються мінімальну витрату води на одну пожежу.

1.3 Витрати води на поливання вулиць і зелених насаджень

Витрати води на поливання у населених пунктах і на території промислових підприємств визначають згідно з нормами таблиці 1, за даними про площі за видами благоустрою (зелені насадження, проїзди тощо) або на одного жителя залежно від їхньої кількості та розташування кліматичного району.

Таблиця 1.1 – Розрахункові (питомі середні за рік) добові витрати води

Ч. ч.	Споживачі	Одиниця виміру	Розрахункові (пи- томі) середні за рік добові витрати води, л/добу на одиницю виміру		Підвищу- вальний коефіці- єнт для III, IV кліматич- них райо- нів	Три- ва- лість водо- роз- бору, год
			зага- льна Q_T^{tot}	зокрема гарячої Q_T^h		
1	2	3	4	5	6	7
9	Підприємства загального харчування – без приготування їжі;	1 страва	2	1	1	–
	– з приготуванням їжі, яка реалізується в обідньому залі;	Те саме	12	4	1,0	–
	– з приготуванням їжі, яка реалізується на дому	– » –	10	3	1	–
22	Витрати води на поливання – покриття із трави;	1 м ²	3	–	1,2	–
	– футбольного поля;	Те саме	0,5	–	1,2	–
	– решти спортивних споруд;	– » –	1,5	–	1,2	–
	– удосконалених покриттів, тротуарів, майданів, заводських проїздів;	– » –	0,5	–	1,2	–
	– зелених насаджень, газонів і квітників	– » –	3–6	–	1,2	–

Середньодобова витрата води на поливання зелених насаджень, полів, визначається за формулою:

$$Q_T^{сер} = \frac{F \cdot n \cdot q \cdot K}{1000} \text{ м}^3/\text{доба},$$

де F – площа вулиць, площ, зелених насаджень, м²;

q – норма витрати води на поливання, приймають залежно від типу покриття, виду поливання та ін. умов за таблицею 1;

n – кількість поливань, приймають 1–2 залежно від режиму поливання;

K – коефіцієнт, який враховує місце розташування, відповідно до кліматичного району (для I та II кліматичних районів приймається 1,0; для III та IV кліматичних районів приймається 1,2).

Кліматичні райони наведено на рисунку 1.1.

Середньодобова витрата води на поливання вулиць визначається за формулою:

$$Q_T^{\text{сер}} = \frac{F \cdot n \cdot q \cdot 0,1}{1\,000} \text{ м}^3/\text{доба},$$

де 0,1 – поливається 10 % від усієї площі.

Середня годинна витрата визначається за формулою:

$$Q_h^{\text{сер}} = \frac{Q_T^{\text{сер}}}{24} \text{ м}^3/\text{год}.$$

1.4 Визначення витрат води на господарсько-побутові потреби промислових підприємств

Витрата води для промислових підприємств складається з витрати води на санітарно-гігієнічні, комунальні потреби (витрати води на душ, умивальники, їдальню) і витрати води на виробничі потреби.

Витрати води на умивальники

Середньодобова витрата води визначається за формулою:

$$Q_T^{\text{сер}} = \frac{0,045 \cdot U_h + 0,025 \cdot U_c}{T} \cdot N \text{ м}^3/\text{доба},$$

де 0,045 і 0,025 – відповідно норми водоспоживання на 1 робітника в гарячих і холодних цехах, м³/добу;

U_h та U_c – відповідно загальна кількість працівників на підприємстві в гарячих і холодних цехах;

T – тривалість роботи у годинах, однієї зміни за добу;

N – кількість змін за добу.

Розрахункові максимальна годинна витрата води в розрізі доби повинна прийматися за зміною, у якій працює найбільша кількість робітників (у максимальну зміну).

Максимальна годинна витрата:

$$Q_T^{\text{макс}} = \frac{0,045 \cdot U_h \cdot K_h + 0,025 \cdot U_c \cdot K_c}{T} \cdot N \text{ м}^3/\text{год},$$

де K_h , K_c – коефіцієнти годинної нерівномірності відповідно в гарячих і холодних цехах; $K_h = 2,5$, $K_c = 3$.

Витрати води на душові

Витрата води, яка необхідна для користування душем робітниками, які працюють у гарячих і холодних цехах, дорівнює:

$$Q_T^{\text{макс}} = \frac{0,06 \cdot U_h + 0,04 \cdot U_c}{0,75} \text{ м}^3/\text{ГОД},$$

де 0,06 і 0,04 – норми витрати на один душ у гарячих і холодних цехах відповідно, м³/людина.

За нормами користування душ приймають протягом 45 хв (0,75 год).

Витрата води їдальнею

Середньодобова витрата води визначається за формулою:

$$Q_T^{\text{сер}} = \frac{q \cdot U}{1\,000} \text{ м}^3/\text{доба},$$

де q – норма витрати води на одну умовну страву, приймаємо за таблицею 1;

U – кількість умовних страв, реалізованих за робочий день.

$$U = 2,2 \cdot n \cdot m \cdot T \cdot \psi,$$

де n – кількість посадкових місць;

m – кількість посадок, для їдалень підприємств (m = 3);

T – час роботи підприємства, год;

ψ – коефіцієнт нерівномірності посадок, протягом робочого дня, для їдалень підприємств (ψ = 0,45).

Кількість посадкових місць n можна знайти з виразу:

$$n = k_k \cdot M / (m \cdot T_{\text{п}}),$$

де k_к – коефіцієнт користування працівниками їдальнями підприємства, k_к = 0,5÷0,8;

M – кількість працівників у зміну, ос./зміна;

T_п – загальна тривалість перерви (чи наскрізних перерв) для працівників усіх цехів підприємства, що обслуговуються їдальнею, год, приймається T_п = 1...3.

Для зменшення розрахункової місткості їдальні та видатності кухонного блока доцільно на середніх та великих підприємствах зміщувати початок перерви працівників різних цехів (підрозділів), що обслуговуються однією їдальнею.

Середня годинна витрата визначається за формулою:

$$Q_h^{\text{сер}} = \frac{Q_T^{\text{сер}}}{24} \text{ м}^3/\text{ГОД}.$$

2 СХЕМИ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1 Водозабірні споруди для прийому води з поверхневих і підземних джерел

Для забору води з поверхневих джерел залежно від рельєфу місцевості, природних умов забору води приймають берегові або руслові водозабори.

На річках великої глибини з крутими берегами влаштовують береговий водозабір, який складається із залізобетонного берегового колодязя з наземним павільйоном.

Розміри берегового колодязя визначають частково за гідравлічними розрахунками, частково за конструктивними рішеннями, виходячи із умов зручності в експлуатації. Необхідну мінімальну глибину води H , м біля водоприймальних вікон берегових водозаборів і затоплених оголовків приймають:

$$H = h + D + a + 0,3 + 0,9\delta, \quad (2.1)$$

де $h = (0,5...1)$ м – величина порогу;

D – висота водозабірної отвори, м;

$(a + 0,3)$ – глибина води над вікнами, м ($0,3$ – віддаль від нижньої краю льоду до верхнього краю вікна чи оголовка, м);

$0,9\delta$ – глибина зануреної частини льоду при товщині δ , м.

Площу водоприймальних вікон берегового колодязя (брутто), m^2 , визначають за формулою:

$$F = 1,25 \cdot K \frac{Q_p}{V}, \quad (2.2)$$

де $1,25$ – коефіцієнт, який враховує засмічення отворів;

$K = \frac{(a+d)}{a}$ – коефіцієнт стиснення площі вікна стержнями ґрат, a – відстань між стержнями, мм;

d – діаметр або товщина стержнів, мм;

V – швидкість руху води у приймальному вікні, яка для берегових водозаборів приймається $0,2...0,6$ м/с.

Площу вікон у перегородці між водоприймальною та всмоктувальною камерами берегових та руслових водозаборів визначають за формулою 2.2, прийнявши швидкість руху води у створах сітки $V < 0,4$ м/с, а коефіцієнт стиснення площі вікна сіткою вираховують за формулою:

$$K = \left[\frac{(a+d)}{a} \right]^2, \quad (2.3)$$

де $a = 2...10$ мм – відстань між дротами сітки, мм;

$d = 1...2$ – діаметр дроту, мм.

На кожне вікно влаштовують дві сітки, які працюють поперемінно. Допустимі втрати напору в сітках 0,1...0,2 м.

Водозабірні споруди з підземних джерел. Найчастіше для забору підземних вод, що залягають на глибині більше за 10 м, застосовують свердловини (трубчасті колодязі), які складаються з трьох основних елементів: оголовка, ствола і водоприймальної частини. Оголовок призначений для закріплення гирла свердловини, захисту від потрапляння в неї забруднених поверхневих вод, а також розміщення арматури й обладнання. Висота оголовка має бути не менше 2,5 м.

Дебіт свердловини залежить від виду водоносного горизонту і його характеристики (напірні чи безнапірні води), типу свердловини (досконала чи недосконала), кількості свердловин і характеру їхньої взаємодії.

Свердловину, яка проходить повністю всю товщину водоносного пласта і стінки якої не обладнані фільтром, називають досконалою. Дебіт досконалої свердловини, яка живиться напірними водами, визначають за формулою:

$$Q = \frac{2,73 \cdot K_{\phi} \cdot m \cdot S}{\lg \frac{R}{r}} = q_{\text{пит}} \cdot S \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (2.4)$$

де m і K_{ϕ} – відповідно потужність, м, і коефіцієнт фільтрації, м/добу, водоносного пласта;

R – радіус впливу свердловини, м, тобто радіус депресійної воронки, яка створюється навколо свердловини за відкачування з неї води;

r – радіус свердловини, м;

$S = Z_{\text{ст}} - Z_{\text{дин}}$ – зниження статичного рівня води за відкачування з неї витрати Q ;

$Z_{\text{ст}}$ і $Z_{\text{дин}}$ – відмітки відповідно статичного і динамічного рівнів води у свердловині, м;

$q_{\text{пит}}$ – питомий дебіт свердловини, $\text{м}^3/(\text{добу} \cdot \text{м})$, тобто витрата води при зниженні статичного рівня на 1 м.

Дебіт досконалої свердловини, яка живиться безнапірними водами, визначають за формулою:

$$Q = \frac{1,36 \cdot K_{\phi} \cdot (2H - S) \cdot S}{\lg \frac{R}{r}} \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (2.5)$$

Величини m , R і K_{ϕ} – визначають на основі гідрогеологічних досліджень.

Зменшення дебіту недосконалої свердловини (свердловина проходить ні весь водоносний пласт) порівняно із досконалою враховується коефіцієнтом K , який характеризує додатковий фільтраційний опір водоносного пласта і фільтра.

Необхідна кількість робочих свердловин:

$$n_{\text{роб}} = \frac{Q_{\text{розр}}}{Q_1} \text{ шт.}, \quad (2.6)$$

де $Q_{\text{розр}}$ – розрахункова витрата води, що подається споживачам;

Q_1 – дебіт однієї свердловини.

Кількість робочих свердловин визначають залежно від кількості робочих свердловин і категорії водозабору. Для водозаборів першої категорії при одній робочій свердловині приймають ще одну резервну; від 2 до 10 свердловин – 2 резервні, а за більшої кількості – 20 % від робочих. Для водозаборів другої категорії за кількості робочих свердловин до 10 приймають 1 резервну свердловину і за більшої кількості 10 % від робочих. Для водозаборів третьої категорії резервну свердловину не проєктують, проте на складі передбачають резервні насоси у кількості 10 % від робочих, але не менше одного.

За відносно невеликої глибини залягання безнапірних водоносних пластів (10...30 м) влаштовують шахтні колодязі. Дебіт такого колодязя, що забирає воду з пласта через дно, м³/добу:

$$Q = \frac{\pi \cdot K_{\phi} \cdot (2H - S) \cdot S}{\text{Lg}\left(1,65 \frac{R}{r}\right) + \xi} \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (2.7)$$

де K_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації, м³/добу;

H – потужність водоносного пласта, м;

S – зниження рівня води під час відкачування, м;

R – радіус впливу колодязя, м;

$r = \frac{D}{2}$ – внутрішній радіус колодязя, м;

ξ – додатковий опір, який враховує недосконалість колодязя (приймають за довідковою літературою).

Якщо вода в колодязь надходить тільки через стінки, то його розраховують як і свердловину. Дебіт шахтних колодязів квадратної форми із стороною a визначають як і для круглої, приймаючи $r = 0,6a$.

Приклад 1. Визначити потрібну кількість свердловин, відстань між ними та підібрати насос для забору води із свердловини, якщо необхідно подати споживачам витрату води $Q_{\text{розр}} = 32 \text{ м}^3/\text{год}$. Водозабір другої категорії. $S = Z_{\text{дин}} - Z_{\text{ст}} = 7 \text{ м}$. Питомий дебет складає $1,43 \text{ м}^3/\text{год}$. Геометрична висота підйому води, що вимірюється між статичним рівнем води у свердловині і рівнем води у резервуарі, $H_r = 18 \text{ м}$. Втрати напору в напірних водоводах під час подачі розрахункових витрат $h_{\text{вод}} = 6,2 \text{ м}$. Втрати на фільтрі 3 м вод. ст. , втрати на насосі 2 м вод. ст.

Вирішення:

$$Q_1 = q_{\text{пит}} \cdot S = 1,43 \times 7 = 10,1 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Розрахункова кількість свердловин: $n_{\text{роб}} = \frac{Q_{\text{розр}}}{Q_1} = \frac{32}{10,1} = 3,17$. Приймаємо 4 робочих свердловини, дебіт кожної з них: $Q_1 = \frac{32}{4} = 8 \text{ м}^3/\text{год}$. Для водозабору 2 категорії при чотирьох робочих свердловинах передбачаємо одну резервну, тобто загальна кількість свердловин – 5.

Розрахункове зниження статичного рівня води у свердловині:

$$S_{\text{розр}} = \frac{8}{7} = 1,14 \text{ м.}$$

Визначаємо потрібний напір насоса:

$$H_{\text{потр}} = H_{\Gamma} + S_{\text{розр}} + h_{\text{вод}} + h_{\text{св}} + h_f = 18 + 1,14 + 6,2 + 3 + 2 + 2 = 32,34 \text{ м,}$$

де $h_{\text{вод}}$ – втрати напору в напірних водоводах;

$h_{\text{св}}$ – втрати напору у свердловині (у фільтрі та на насосі);

$h_f = 2 \text{ м}$ – втрати напору на вилив води із трубопроводів у резервуар.

За витратами води $Q_1 = 8 \text{ м}^3/\text{год}$ і напором $H_{\text{потр}} = 32,34 \text{ м}$ приймаємо за онлайн-програмою підбору насосів фірми Wilo, обираємо насос TWU 4.08-10-EM-C.

2.2 Принципова схема водопостачання населених міст. Конструювання водопровідної мережі

2.2.1 Вільні напори у водопровідній мережі

Необхідний вільний мінімальний напір ($H_{\text{в}}$) у водопровідній мережі в точці приєднання вводу у будинку визначається як сума геометричної висоти підйому води (H_{Γ}), запасу напору для нормальної роботи водорозбірних приборів ($H_{\text{із}}$) та втрат напору за довжиною трубопроводу від вводу до найбільшого віддаленого водорозбірного прибору ($h_{\text{дов}}$):

$$H_{\text{в}} = H_{\Gamma} + H_{\text{із}} + h_{\text{дов}}. \quad (2.8)$$

За одноповерхової забудови необхідний вільний мінімальний напір складає не менш 10 метрів. За багатоповерхової – на перший поверх приймається 10 метрів, а на кожний наступний у годину максимального водопостачання – по 4 м. В інші години – по 3,5 м.

$$H_{\text{в}} = 10 + h_1 \cdot (n - 1), \quad (2.9)$$

де h_1 – напір, що приймається, на один поверх, м;

n – кількість поверхів будинку.

Під п'єзометричною відміткою у вузлу водопровідної мережі мається на увазі сума відмітки землі й вільного напору в цьому вузлі:

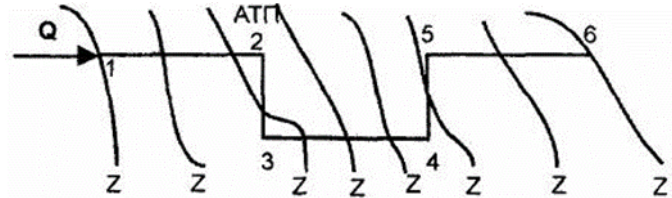
$$\Pi_i = H_{\text{св}}^i + Z_i, \quad (2.10)$$

де Π_i – п'єзометрична відмітка, м;

H_{CB}^i – вільний напір в i -й точці, м;

Z_i – відмітка землі в i -й точці, м.

Приклад 2. Визначити H_B та п'єзометричну відмітку у вузлових точках тупикової мережі. Поверховість – 5 поверхів. $h_{1-2} = 0,8$ м, $h_{2-3} = 1,2$ м, $h_{3-4} = 1,1$ м, $h_{4-5} = 0,9$ м, $h_{5-6} = 0,7$ м. Відмітки поверхні землі у вузлових точках: $Z_1 = 94$ м, $Z_2 = 96,2$ м, $Z_3 = 95,8$ м, $Z_4 = 98,4$ м, $Z_5 = 99,2$ м, $Z_6 = 101$ м.



Вирішення:

1. Знаходимо вільний напір у точці 6.

$$H_B^6 = 10 + 4 \cdot (5 - 1) = 26 \text{ м.}$$

2. Знаходимо п'єзометричну відмітку у точці 6.

$$П^6 = 26 + 101 = 127 \text{ м.}$$

3. Знаходимо п'єзометричну відмітку у точці 5.

$$П^5 = 127 + 0,7 = 127,7 \text{ м.}$$

4. Знаходимо вільний напір у точці 5.

$$H_B^5 = 127,7 - 99,2 = 28,5 \text{ м.}$$

5. Знаходимо п'єзометричну відмітку у точці 4.

$$П^4 = 127,7 + 0,9 = 128,6 \text{ м.}$$

6. Знаходимо вільний напір у точці 4.

$$H_B^4 = 128,6 - 98,4 = 30,2 \text{ м.}$$

7. Знаходимо п'єзометричну відмітку у точці 3.

$$П^3 = 128,6 + 1,1 = 129,7 \text{ м.}$$

8. Знаходимо вільний напір у точці 3.

$$H_B^3 = 129,7 - 95,8 = 33,9 \text{ м.}$$

9. Знаходимо п'єзометричну відмітку у точці 2.

$$П^2 = 129,7 + 1,2 = 130,9 \text{ м.}$$

10. Знаходимо вільний напір у точці 2.

$$H_B^2 = 130,9 - 96,2 = 34,7 \text{ м.}$$

11. Знаходимо п'єзометричну відмітку у точці 1.

$$П^1 = 130,9 + 0,8 = 131,7 \text{ м.}$$

12. Знаходимо вільний напір у точці 1.

$$H_B^1 = 131,7 - 94 = 37,7 \text{ м.}$$

2.2.2 Основи розрахунку та схеми трасування зовнішніх водопровідних мереж

Підготовка мережі до розрахунку полягає у складанні умовної розрахункової схеми. При гідравлічному розрахунку мережі неможливо врахувати всі реальні точки відбору води споживачами, тому реальна схема замінюється умовною з вузловими точками відбору води, що розташовані зазвичай на перетинах магістральних ліній. Вузлові точки поділяють мережу на розрахункові ділянки. Порядок визначення витрат води на ділянках такий:

1. За графіком водоспоживання для призначеного режиму визначають розрахункові витрати $q_{\max}$, л/с.

2. Визначають питомі витрати $q_{\text{пит}}$ в л/с на 1 м мережі, виключаючи при цьому зосереджених водоспоживачів:

$$q_{\text{пит}} = \frac{q_{\max} - \sum q_{\text{зос}}}{\sum L}, \quad (2.11)$$

де $\sum q_{\text{зос}}$ – сума витрат зосередженими водоспоживачами, л/с;

$\sum L$ – сумарна довжина ділянок мережі, які віддають воду, м (до неї не включаються ділянки, що призначені лише для транспортування води).

За різного характеру забудови (багатоповерхова, малоповерхова, індивідуальна) питомі витрати визначають для кожного району окремо.

3. Вважаючи, що відбір води з мереж рівномірний, визначають шляхові витрати на кожній ділянці:

$$q_{\text{шлях}} = q_{\text{пит}} \cdot l_i. \quad (2.12)$$

4. Для спрощення розрахунків замінюють шляхові витрати вузловими (умовно зосередженими у вузлах) і визначають їх як півсуму шляхових витрат ділянок, що приєднуються до даного вузла:

$$q_{\text{вуз}} = 0,5 \sum q_{\text{шлях}}. \quad (2.13)$$

Якщо є зосереджена витрата у вузлі, то:

$$q_{\text{вуз}} = 0,5 \sum q_{\text{шлях}} + q_{\text{зос}}. \quad (2.14)$$

Сума витрат, що притікають до вузла, повинна бути рівною сумі витрат, що витікають з нього.

Враховуючи, що окрім шляхових витрат, розрахунковою ділянкою проходить також транзитна $q_{\text{тран}}$ для живлення наступних ділянок мережі, визначають розрахункові витрати на кожній ділянці:

$$q_i = q_{\text{тран}} + 0,5 \cdot q_{\text{шлях}}, \quad (2.15)$$

де 0,5 – коефіцієнт, який враховує, що на початку ділянки $q_i = q_{\text{тран}} + 0,5 \cdot q_{\text{шлях}}$, а в кінці – $q_i = q_{\text{тран}}$.

Знаючи розрахункові витрати на ділянках мережі і прийнявши матеріал труб, визначають діаметри магістральних трубопроводів:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V}}, \quad (2.16)$$

де Q – розрахункові витрати ділянки, $\text{м}^3/\text{с}$;

V – швидкість руху води в трубі, $\text{м}/\text{с}$.

Визначаючи величину швидкості руху, варто враховувати, що малі швидкості руху води ведуть до збільшення діаметра, а великі – до його зменшення. Перше призводить до збільшення будівельної вартості, а друге – до збільшення втрат напору в трубах, і тим самим – до витрат електроенергії на їхнє подолання, тобто збільшення експлуатаційних витрат. Економічна вигідна швидкість складає: для труб малого діаметра 0,6–0,9 $\text{м}/\text{с}$; для труб великого діаметра – 0,9–1,5 $\text{м}/\text{с}$.

За формулами гідравліки при відомих діаметрах і витратах ділянок мережі визначають втрати напору. Для спрощення розрахунків за цими формулами складені таблиці, користуючись якими, загальні втрати напору визначають, як:

$$h_l = i \cdot l, \quad (2.17)$$

де i – ухил трубопроводу;

l – довжина трубопроводу, м .

3 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ВИТРАТ СТИЧНИХ ВОД

3.1 Визначення розрахункових витрат від житлової забудови

Насамперед варто визначити норму водовідведення для районів об'єкта залежно від ступеня благоустрою та кліматичних умов.

Далі необхідно знайти площу всіх кварталів населеного пункту (площа промислових підприємств не враховується).

За невідомої кількості санітарно-технічних приладів (точок водорозбору) N дозволяється приймати їхню кількість, що дорівнює кількості споживачів U .

Розрахункові середні витрати води за добу потрібно приймати відповідно до [1], таблиця А.1 для житлових будинків із різними системами інженерного забезпечення з урахуванням кліматичного району будівництва.

Загальну кількість населення, що проживає на території населеного пункту, розраховують за формулою:

$$N = \sum_{i=1}^n P_i \cdot F_i, \quad (3.1)$$

де P_i – заселеність для певного кварталу, $\text{люд}/\text{га}$;

F_i – площа кварталу, га .

Якщо заселеність у районах неоднакова, варто розрахувати кількість населення по районах.

Середньодобову витрату стічних вод від населення міста знаходять за формулою:

$$Q_{\text{mid}} = \frac{U \cdot Q_{T^{\text{tot}}}}{1\,000} \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (3.2)$$

де $Q_{T^{\text{tot}}}$ – питоме водовідведення, л/добу на 1 людину (див. [1] додаток А, табл. А1).

Середня секундна витрата становить:

$$Q_{\text{mid.s}} = \frac{U \cdot Q_{T^{\text{tot}}}}{24 \times 3\,600} \text{ л/с}. \quad (3.3)$$

Максимальну й мінімальну добові витрати визначають за формулами:

$$Q_{\text{max}} = Q_{\text{mid}} \cdot K_{\text{gen.max}}^3 \text{ м}^3/\text{добу},$$

$$Q_{\text{min}} = Q_{\text{mid}} \cdot K_{\text{gen.min}}^3 \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (3.4)$$

де $K_{\text{gen.max}}$, $K_{\text{gen.min}}$ – максимальний і мінімальний коефіцієнти нерівномірності притоку стічних вод, які визначають залежно від середньої витрати (згідно з [3], табл. 2).

Дані про середні витрати стічних вод від житлової забудови вносять у таблицю за формою таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок чисельності населення і середньої витрати стічних вод

Номер кварталу	Площа, F, га	Щільність населення P, чол/га	Норма питомого водовідведення, л/(чол. доб)	Модуль стоку, q ₀ , л/с на 1 га	Середня витрата			Чисельність населення N, чол
					добова, м ³ /год	годинна, ³ /год	секундна, л/с	

3.2 Визначення розрахункових витрат стічних вод промислових підприємств

У витрати стічних вод промислових підприємств входять господарсько-побутові, від прийому душу та виробничі витрати.

Розрахунок кількості господарсько-побутових стічних вод промислових підприємств проводиться за методикою, яка наведена в Практиці 1, підтема 1.4.

Розрахунки кількості стічних вод від прийому душів.

Витрата душевих стічних вод у зміну з максимальним водовідведенням:

$$q = \frac{500 \cdot m}{3600}, \quad (3.4)$$

$$Q = \frac{500 \cdot m \cdot 45}{1000 \times 60}. \quad (3.5)$$

Витрата душевих стічних вод у розрахункову зміну:

$$Q = \frac{500 \cdot m \cdot 45}{1000 \times 60} \cdot \frac{N_{зм}}{N_{зм.макс}}, \quad (3.6)$$

де 500 – витрата води однією душовою сіткою, л/год;

45 – тривалість користування душем, хвилин;

$N_{зм}$, $N_{зм.макс}$ – кількість робітників, що користуються душем відповідно у розрахункову зміну і у зміну з максимальним водовідведенням;

m – кількість душевих сіток.

$$m = \frac{U_r}{n_{гор}} + \frac{U_c}{n_{хол}}, \quad (3.7)$$

де $n_{гор}$, $n_{хол}$ – кількість робітників на одну душову сітку відповідно у гарячих та холодних цехах. Приймають залежно від санітарної групи виробничих процесів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Розрахункова кількість людей на одну душову сітку

Група виробничих процесів	Санітарні характеристики виробничих процесів	Кількість людей, які миються на одну душову сітку
I	а) які не викликають забруднення одягу та рук	15
	б) які викликають забруднення одягу та рук	7
II	в) з видаленням великої кількості пилу або особливо забруднених речовин	3
	г) з додатковою потребою води	5

Розрахункова витрата виробничих стічних вод.

Середньодобова витрата стічних вод від технологічних процесів, м³/добу:

$$Q_{mid} = M \cdot q_{вир}. \quad (3.8)$$

Розрахункова витрата виробничих стічних вод, л/с:

$$Q_{max.s} = \frac{M_1 \cdot q_{вир}}{T \cdot 3,6} \cdot K_1. \quad (3.9)$$

Витрати виробничих стічних вод та коефіцієнти нерівномірності даються у завданні. Розрахункову витрату, л/с, визначають за формулою:

$$q_{пр} = \frac{Q_{пр} \cdot K}{T \cdot 3,6}, \quad (3.10)$$

де $Q_{пр}$ – витрати виробничих стічних вод у зміну, м³;

К – коефіцієнт нерівномірності;

Т – тривалість зміни, годин.

Витрати стічних вод від умивальників

Середньодобова витрата стічних вод визначається за формулою:

$$Q_T^{\text{сер}} = (0,045 \cdot U_h + 0,025 \cdot U_c) \cdot N \text{ м}^3/\text{доба}. \quad (3.11)$$

Середньогодинна витрата стічних вод визначається за формулою:

$$Q_T^{\text{сер}} = \frac{0,045 \cdot U_h + 0,025 \cdot U_c}{T} \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.12)$$

де 0,045 і 0,025 – відповідно норми водоспоживання (скидання стічних вод) на 1 робітника в гарячих і холодних цехах, м³/добу;

U_h та U_c – відповідно загальна кількість працівників на підприємстві в гарячих і холодних цехах;

Т – тривалість роботи у годинах, однієї зміни за добу;

N – кількість змін за добу.

Розрахункові максимальна годинна витрата стічних вод у розрізі доби повинна прийматися за зміною, у якій працює найбільша кількість робітників (у максимальну зміну).

Максимальна годинна витрата:

$$Q_T^{\text{макс}} = \frac{0,045 \cdot U_h \cdot K_h + 0,025 \cdot U_c \cdot K_c}{T} \text{ м}^3/\text{год}, \quad (3.13)$$

де K_h, K_c – коефіцієнти годинної нерівномірності відповідно в гарячих і холодних цехах; K_h = 2,5, K_c = 3;

Розрахункова витрата виробничих стічних вод

Середньодобова витрата стічних вод від технологічних процесів, м³/добу:

$$Q_{\text{mid}} = M \cdot q_{\text{вир}}. \quad (3.14)$$

Розрахункова витрата виробничих стічних вод, л/с:

$$Q_{\text{max.s}} = \frac{M_1 \cdot q_{\text{вир}}}{T \cdot 3,6} \cdot K_1. \quad (3.15)$$

Витрати виробничих стічних вод та коефіцієнти нерівномірності даються у завданні. Розрахункову витрату, л/с, визначають за формулою:

$$q_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{пр}} \cdot K}{T \cdot 3,6}, \quad (3.16)$$

де Q_{пр} – витрати виробничих стічних вод у зміну, м³;

К – коефіцієнт нерівномірності;

Т – тривалість зміни, годин.

Приклад 1. Визначити загальну кількість стічних вод від промислового підприємства з кількістю працівників 2 000 людей (1 400 робітників – гарячий цех, 600 робітників – холодний цех), використовують душ 60 % від загальної кількості працівників. Об'єм продукції, що випускається, 1 500 од/доба, а питома витрата на одиницю продукції 0,3 м³. Режим роботи – 1 зміна, 8 годин.

Група виробничих процесів відповідно до таблиці 3.2 – Іа. Коефіцієнт нерівномірності $K = 2$.

Вирішення:

Розрахунок кількості господарсько-побутових стічних вод промислових підприємств проводиться за формулою:

$$Q_{\text{год}} = \frac{0,045 \times 1\,400 \times 2,5 + 0,025 \times 600 \times 3}{8} = 25,31 \text{ м}^3/\text{год},$$

де 1 400 людей – працює в холодних цехах у зміну;

600 людей – працює у гарячих цехах у зміну.

$$q = \frac{Q_{\text{год}}}{3,6} \text{ л/с},$$

$$q = \frac{25,31}{3,6} = 7,03, \text{ л/с}.$$

Витрата стічних вод від душових, у розрахункову зміну:

$$Q = \frac{500 \cdot m \cdot 45}{1\,000 \times 60} \cdot \frac{N_{\text{зм}}}{N_{\text{зм.макс}}} \text{ м}^3/\text{ГОД},$$

$$Q = \frac{500 \times 80 \times 45}{1\,000 \times 60} \cdot 1 = 30 \text{ м}^3/\text{ГОД},$$

$$Q = \frac{500 \cdot m}{3\,600} \cdot \frac{N_{\text{зм}}}{N_{\text{зм.макс}}} \text{ л/с},$$

$$Q = \frac{500 \times 80}{3\,600} \cdot 1 = 11 \text{ л/с}.$$

Визначаємо кількість робітників, які використовують душові сітки:

$$N_{\text{г}} = 1\,400 \cdot \frac{60}{100} = 840 \text{ людей},$$

$$N_{\text{с}} = 600 \cdot \frac{60}{100} = 360 \text{ людей}.$$

Загальна кількість людей: $840 + 360 = 1\,200$ робітників.

Кількість душових сіток:

$n_{\text{гор}}$ та $n_{\text{хол}}$ – приймаємо відповідно до завдання, за даними таблиці 3.2.

$$m = \frac{N_{\text{г}}}{n_{\text{гор}}} + \frac{N_{\text{с}}}{n_{\text{хол}}} \text{ шт.},$$

$$m = \frac{1\,200}{15} = 80 \text{ шт}.$$

Середньодобова витрата стічних вод від технологічних процесів:

$$Q_{\text{mid}} = M \cdot q_{\text{вир}} \text{ м}^3/\text{доба},$$

$$Q_{\text{mid}} = 1\,500 \times 0,3 = 450 \text{ м}^3/\text{доба}.$$

Розрахункова витрата виробничих стічних вод:

$$Q_{\text{max.s}} = \frac{M_1 \cdot q_{\text{вир}}}{T \cdot 3,6} \cdot K_1 \text{ л/с},$$

$$Q_{\text{max.s}} = \frac{1\,500 \times 0,3}{8 \times 3,6} \cdot 2 = 31,25 \text{ л/с}.$$

Розрахункова витрата стічних вод промислового підприємства:

$$q_{\text{сум}} = 7,03 + 11,0 + 31,25 = 49,28 \text{ л/с}.$$

3.3 Конструювання системи каналізації

Гідравлічний розрахунок мереж складається із визначення діаметрів труб, їхніх ухилів, наповнення та швидкості течії по них стічних вод залежно від розрахункової витрати, а також позначок лотка труби і заглиблення.

Гідравлічний розрахунок проводять на базі діючих норм проєктування. Згідно з [3] – приймають мінімальні діаметри труб; мінімальні ухили; граничне наповнення, мінімальні швидкості; максимальні швидкості.

Гідравлічний розрахунок рекомендують виконувати у формі таблиці 3.3. Вибір диктуючої точки: суттєво важливим і відповідальним етапом розрахунку є уточнення положення диктуючої точки. За диктуючу (тобто таку, з якої варто починати розрахунок) точку приймають найвіддаленішу від гирла колектора і найнижчу відносно до нього точку.

Таблиця 3.3 – Відомість гідравлічного розрахунку господарсько-побутової мережі

Номер ділянки	Довжина, l, м	Розрахункова витрата, q, л/с	Діаметр, d, мм	Ухил, i	Швидкість, V, м/с	Наповнювання		Втрата тиску, Δh, м
						h/d	h, мм	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Продовження таблиці 3.3

Номер ділянки	Позначка поверхні, м						Заглиблення, м	
	Землі		Лотка		Шелиги		Початок	Кінець
	Початок	Кінець	Початок	Кінець	Початок	Кінець		
1	10	11	12	13	14	15	16	17

Розрахунок починають з накреслення профілю землі за трасою мереж, що проєктуються. Профілі будують за позначками розрахункових точок і горизонталей, що перетинаються трасою. Відстань між розрахунковими точками приймають за генеральним планом і вносять у графу 2. У графі 10, 11 проставляють натурні позначки поверхні землі в метрах із точністю до сантиметрів.

Як допоміжний матеріал розраховують ухили місцевості за трасою колектора:

$$i = \frac{Z_n - Z_k}{l}, \quad (3.17)$$

де Z_n , Z_k – позначки поверхні землі відповідно на початку і в кінці розрахункової ділянки, м;

l – довжина розрахункової ділянки, м;

i – ухил поверхні землі.

У графу 3 із «Відомості розрахункових витрат» переносяться значення розрахункових витрат по ділянках мережі. За відомою витратою приймають діаметр труби і записують у графу 4. Орієнтовно діаметр можна приймати по номограмі.

Початкове заглиблення вуличної мережі визначають залежно від заглиблення дворової мережі, глибини промерзання ґрунту, довжини з'єднувальної ділянки за формулами:

$$H = h_n + i \cdot (L + l) + \Delta - (Z_d - Z_1), \quad (3.18)$$

$$h_n \geq h_{np} - (0,3 \dots 0,5) \geq (0,7 + d), \quad (3.19)$$

де h_n – початкове заглиблення дворової мережі, м;

i – ухил дворової мережі;

L , l – довжина відповідно дворової мережі та ділянки від контрольного колодязя до розрахункової точки, м;

Δ – різниця діаметрів труб дворової та вуличної мереж, м;

Z_d , Z_1 – позначки поверхні землі відповідно на початку дворової мережі і в розрахунковій точці, м;

h_{np} – глибина промерзання ґрунту, м.

Отримане за формулою (3.12) початкове заглиблення вносять у графу 16.

У всіх випадках для зменшення об'єму земельних робіт варто прагнути до укладання трубопроводів за ухилом, що забезпечує мінімальне заглиблення. При пласкому рельєфі або при негативних ухилах місцевості, труби варто укладати з мінімальним ухилом, який приблизно розраховують за формулою:

$$i = \frac{1}{d}, \quad (3.20)$$

де d – діаметр трубопроводу, мм.

За таблицями для гідравлічних розрахунків визначають швидкість і заповнення. При цьому перевіряють, щоб отримана швидкість була не меншою за швидкість самоочищення і не більшою за критичну, а заповнення – не більшим за нормативне. У разі невідповідності наведеним вимогам змінюють ухил або діаметр трубопроводу. Отримані дані заносять у графи 4–8.

При крутому рельєфі, у випадку необхідності зменшення розрахункової швидкості, ухил трубопроводу призначають меншим, ніж ухил місцевості, а поєднання розрахункових ділянок проводять у перепадних колодязях.

Визначають позначку лотка труби на початку розрахункової ділянки, віднімаючи із позначки поверхні землі на початку ділянки початкове заглиблення; отримане значення вносять у графу 12.

Позначку лотка труби в кінці ділянки знаходять, віднімаючи із позначки лотка труби на початку ділянки падіння тиску; результати вносять у графу 13. Позначки щелиги на початку і в кінці ділянки отримують, додаючи до позначок лотка труби її діаметр (графи 14, 15).

Заглиблення у кінці ділянки дорівнює різниці позначок поверхні землі та лотка на кінці ділянки (графа 17). На цьому розрахунок першої ділянки закінчений.

Перед тим як почати гідравлічний розрахунок мережі, потрібно визначити розрахункові витрати за всіма ділянками мережі (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Відомість розрахункових витрат

Ділянка мережі	Номер кварталу		Площа стоку, га		Модуль стоку, л/с на га	Середня витрата з кварталів, л/с			
	По шляху	Бокового	По шляху	Бокового		По шляху	Бічна	Транзитна	Загальна
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Продовження таблиці 3.4

Ділянка мережі	Коефіцієнт нерівномірності	Витрати, л/с			
		Від житлових кварталів	Зосереджені		Розрахункова
			місцеві	транзитні	
1	11	12	13	14	15

Під час розрахунків другої та наступних ділянок мережі діаметри, ухили, заповнення та швидкості визначають аналогічно. Труби в розрахункових точках (колодязях) поєднують переважно по щелигах труб, іноді по розрахункових рівнях води. Поєднання по рівнях води дозволяє дещо зменшити заглиблення мереж порівняно із поєднанням по щелигах, і застосовується у особливо несприятливих умовах (наприклад, у разі плаского рельєфу).

В обох випадках позначка щелиги труби (або рівня води) в кінці попередньої ділянки переноситься відповідно на початок наступної ділянки.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ВИТРАТИ ТЕПЛОНОСІЯ

4.1 Визначення теплових навантажень

Метод питомих теплових характеристик

Теплове навантаження системи *опалення* будівлі $Q_{оп}$, Вт:

$$Q_{оп} = q_{оп} \cdot V \cdot (t_i - t_o).$$

Теплове навантаження системи *вентиляції* будівлі Q_v , Вт:

$$Q_v = q_v \cdot V \cdot (t_i - t_o).$$

Теплове навантаження системи *гарячого водопостачання* будівлі Q'_h , Вт, розраховується за формулою:

$$Q'_h = c \cdot m \cdot a \cdot (t_h - t_c) / (T \cdot 3,6),$$

де V – об'єм будівлі за зовнішнім обміром, m^3 ;

$q_{оп}$ – питома тепла характеристика будівлі для опалення, $Вт/(m^3 \cdot ^\circ C)$, що залежить від її розмірів, призначення будівлі та розрахункової температури зовнішнього повітря;

q_v – питома тепла характеристика будівлі для вентиляції, $Вт/(m^3 \cdot ^\circ C)$;

t_i – температура внутрішнього повітря;

t_o – розрахункова опалювальна температура зовнішнього повітря, приймається згідно з [10] таблиця 2, $^\circ C$;

c – теплоємність води, приймається $c = 4,187$ кДж/(л $\cdot$ $^\circ C$);

m – кількість людей (споживачів);

a – норма витрати гарячої води одним споживачем, л/(люд $\cdot$ добу), приймається згідно з [1] таблиця А.1 або таблиця А.2;

t_h , t_c – розрахункові температури відповідно гарячої та холодної водопровідної води в зимовий період, $^\circ C$;

T – період гарячого водопостачання за добу (для житлових будинків приймається 24 години, для адміністративних будівель – 8 годин);

3,6 – розмірний коефіцієнт.

Максимальне навантаження Q'_{hmax} , Вт, на гаряче водопостачання приймається, як:

$$Q'_{hmax} = 2,4Q'_{hm}.$$

Приклад 1. Визначити максимальне теплове навантаження систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання (методом питомих теплових характеристик), якщо об'єм адміністративної будівлі складає 5 000 m^3 , кількість працівників складає 100 людей, об'єкт розташовано у м. Львів.

Максимальне теплове навантаження системи опалення знаходимо за формулою:

$$Q_{\text{оп}} = q_{\text{оп}} \cdot V \cdot (t_i - t_o) = 0,38 \times 1,11 \times (18 + 19) \times 5\,000 = 78\,033 \text{ Вт або } 0,078 \text{ МВт.}$$

Максимальне теплове навантаження системи вентиляції знаходимо за формулою:

$$Q_v = q_v \cdot V \cdot (t_i - t_o) = 0,14 \times 1,11 \times (18 + 19) \times 5\,000 = 28\,749 \text{ Вт або } 0,029 \text{ МВт.}$$

Середнє зимове теплове навантаження системи гарячого водопостачання знаходимо за формулою:

$$Q'_h = c \cdot m \cdot a \cdot (t_h - t_c) / (T \cdot 3,6) = 4,187 \times 100 \times 6 \times \frac{(60-5)}{8} \times 3,6 = 4\,798 \text{ Вт} \\ \text{або } 0,0048 \text{ МВт.}$$

Максимальне зимове теплове навантаження системи гарячого водопостачання знаходимо за формулою:

$$Q'_{h\text{max}} = 2,4Q'_{hm} = 2,4 \times 4\,798 = 11\,515 \text{ Вт або } 0,012 \text{ МВт.}$$

Метод питомих (укрупнених) показників

Теплове навантаження на *опалення* житлових та громадських будівель максимальне дорівнює, Вт:

$$Q'_{\text{оmax}} = q_o \cdot A(1 + K_1).$$

Теплове навантаження на *вентиляцію* громадських будівель максимальне дорівнює, Вт:

$$Q'_{v\text{max}} = q_o \cdot A \cdot K_1 \cdot K_2.$$

Середнє теплове навантаження на *гаряче водопостачання* житлових та громадських будівель в опалювальний період дорівнює, Вт:

$$Q'_{hm} = q_{um}^h \cdot m.$$

Максимальне теплове навантаження на *гаряче водопостачання* житлових та громадських будівель в опалювальний період дорівнює, Вт:

$$Q'_{h\text{max}} = 2,4Q'_{hm},$$

де q_o – питомий показник максимального теплового потоку на опалення житлових будинків на 1 м^2 загальної площі, Вт;

A – загальна площа житлових будинків, м^2 ;

K_1 – коефіцієнт, що враховує тепловий потік на опалення громадських споруд, за відсутності інших даних приймається 0,25;

K_2 – коефіцієнт, що враховує тепловий потік на вентиляцію громадських споруд, за відсутності інших даних приймається 0,4 для громадських будівель, зведених до 1985 року та 0,6 – для будівель, зведених після 1985 р.;

q_{um}^h – середня за опалювальний період норма витрати води за температури $55 \text{ }^\circ\text{C}$ на гаряче водопостачання на добу на одну людину, що проживає в будинку з гарячим водопостачанням, л; приймають залежно від рівня комфортності будинків, згідно з [5] таблиця К.1.

$$q_o = q_E = 1\,000 \cdot E_{\max} \cdot (t_i - t_o) / [(t_i - t_p) \cdot T_p \cdot 24],$$

де q_E – укрупнений показник питомого теплового навантаження на опалення, Вт/м², обчислюваний за величиною $E_{\max}$;

$E_{\max}$ – максимально допустиме значення питомих тепловитрат на опалення будинку за опалювальний період, кВт · год/м² (або кВт · год/м³), що визначається згідно з [12] залежно від призначення будинку, його поверховості та температурної зони експлуатації будинку;

t_i – розрахункова температура внутрішнього повітря будівлі, °С, що залежить від типу (призначення) будівлі; для житлових будинків можна приймати $t_i = 20\text{--}22$ °С;

t_o – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування системи опалення, °С, що залежить від особливостей клімату місця розташування будівлі; $t_o = t_{\text{хп}}$, що приймається згідно з [10] таблиця 2;

t_p – середня температура опалювального періоду, що визначається згідно з [10] таблиця 2;

T_p – тривалість опалювального періоду, що визначається згідно з [10] таблиця 2.

4.2 Побудова графіка теплових навантажень. Визначення витрат теплоносія. Графік витрати теплоносія

4.2.1 Графік теплових навантажень

Графік середнього теплового навантаження залежно від температури зовнішнього повітря

Графік відображає залежність теплових навантажень від температури зовнішнього повітря t_z . Графік будується за значеннями сумарних теплових навантажень. У процесі побудови графіка варто мати на увазі, що навантаження систем опалення та вентиляції лінійно залежать від температури зовнішнього повітря, а навантаження систем гарячого водопостачання вважаються незалежними від зовнішньої температури.

Тому для побудови графіка достатньо мати значення теплових навантажень за температур повітря t_o , +8 та t_i , пам'ятаючи, що за температур, більших за +8 °С, навантаження опалення та вентиляції відсутні. На графіку відображаються окремо лінії навантажень кожної з інженерних систем, що споживає тепло (опалення Q_o , вентиляції Q_v , гарячого водопостачання Q_{hmid}), а також лінія сумарних теплових навантажень усіх інженерних систем Q_{Σ} .

Приклад побудови графіка показаний на рисунку 4.1. Графік побудовано для таких вихідних даних:

- розрахункова температура зовнішнього повітря на опалення t_o : $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- розрахункова температура холодної води в зимовий період t_c : $5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- розрахункова температура холодної води в літній період t_{cs} : $15\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- розрахункові витрати тепла на опалення Q_o за t_o : $2,095\text{ МВт}$;
- розрахункові витрати тепла на вентиляцію Q_v за t_o : $0,241\text{ МВт}$;
- розрахункові витрати тепла на опалення Q_o^8 за $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$: $0,811\text{ МВт}$;
- розрахункові витрати тепла на вентиляцію Q_v^8 за $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$: $0,093\text{ МВт}$;
- розрахункові витрати тепла на гаряче водопостачання Q_{hmid} : $0,815$

МВт;

- розрахункові витрати тепла на ГВ у літній період Q_{hmids} : $1,00\text{ МВт}$.

Значення навантажень Q_o^8 , Q_v^8 , Q_{hmids} визначаються за формулами:

$$Q_o^8 = Q_o (t_i - 8) / (t_i - t_o), \text{ для системи опалення}$$

$$Q_v^8 = Q_v (t_i - 8) / (t_i - t_o), \text{ для системи вентиляції}$$

$Q_{hmids} = Q_{hmid} \beta (55 - t_{cs}) / (55 - t_c)$, для системи гарячого водопостачання,
де Q_o – максимальне теплове навантаження системи опалення, МВт;

Q_v – максимальне теплове навантаження системи вентиляції, МВт;

Q_{hmid} – середнє зимове теплове навантаження системи гарячого водопостачання у зимовий період року, МВт;

β – коефіцієнт, який враховує зміну середньої витрати води на гаряче водопостачання в неопалювальний період по відношенню до опалювального періоду; за відсутності даних приймається для житлово-комунального сектора $0,8$ (для курортних та південних міст $\beta = 1,5$), для підприємств $\beta = 1,0$;

t_i – розрахункова температура внутрішнього повітря будівлі, $^{\circ}\text{C}$, що залежить від типу (призначення) будівлі; для житлових будинків можна приймати $t_i = 20\text{--}22\text{ }^{\circ}\text{C}$;

t_o – розрахункова температура зовнішнього повітря для проєктування системи опалення, $^{\circ}\text{C}$, що залежить від особливостей клімату місця розташування будівлі; $t_o = t_{хп}$, що приймається згідно з [10] таблиця 2.

З графіка видно, що в інтервалі температур зовнішнього повітря $t_3 \leq +8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (опалювальний період) $Q_{\Sigma} = Q_o + Q_v + Q_{hmid}$, зокрема за $t_3 = +8\text{ }^{\circ}\text{C}$ $Q_{\Sigma}^8 = Q_o^8 + Q_v^8 + Q_{hmid}$. У літній період $Q_{\Sigma}^s = Q_{hmids}$.

Звичайний графік залежності теплових навантажень від температур зовнішнього повітря t_3 будується в інтервалі температур повітря $t_i \geq t_3 \geq t_o$.

Графік тривалості теплового навантаження

Для побудови графіка інтервальну тривалість спостереження температур, вибрану з таблиці 4.2 для населеного пункту, для якого проєктується система теплопостачання, перераховують на інтегральну тривалість спостереження температур за принципом: якщо t_a та t_b відповідно нижня та верхня межа

інтервалу температур ($t_a < t_6$), то сумарна кількість годин спостереження зовнішніх температур $t_3 \leq t_6$ буде дорівнювати кількості годин спостереження температур в інтервалі від t_a до t_6 плюс тривалість спостереження зовнішніх температур $t_3 < t_a$ за аналогією з таблиці 4.1. Значення інтегральної (сумарної) кількості годин за умов $t_3 < +8$ °C у нижньому рядку має збігтися з сумарною кількістю годин в останньому стовпчику інтервальної тривалості («Усього годин») для розрахованого міста (у прикладі для умовного міста ця кількість дорівнює 3 110 годин).

Таблиця 4.1 – Перерахунок інтервальної тривалості спостереження температур зовнішнього повітря в інтегральну тривалість

Інтервал температур $t_a \dots t_6$, °C	-24,9... -20	-19,9... -15	-14,9 ... -10	-9,9... -5	-4,9... -0	-0,1... +5	+5,1... +8	Усього годин
Інтервальна тривалість $T_{аб}$, год	0	10	50	200	700	1250	900	3 110
Діапазон температур $t_3 \leq t_6$, °C	≤ -20	≤ -15	≤ -10	≤ -5	≤ 0	$\leq +5$	$\leq +8$	
Інтервальна тривалість $T_{\leq 6}$, год	0	10	60	260	760	2 210	3 110	

Приклад побудови графіка показаний на рисунку 4.2.

Таблиця 4.2 – Кліматологічні дані щодо тривалості спостереження температур в населених пунктах України за даними

Ч. ч.	Місто	Тривалість спостереження температур зовнішнього повітря, год, в інтервалах температур, °C									
		-34,9... -30	-29,9... -25	-24,9... -20	-19,9... -15	-14,9... -10	-9,9... -5	-4,9... 0	+0,1... +5	+5,1... +8	Усього годин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Вінниця	1	10	38	121	308	618	1 180	1 438	655	4 369
2	Гайворон	0	9	36	125	250	489	1 145	1 472	650	4 176
3	Дніпро	0	9	36	125	231	449	1 132	1 488	658	4 128
4	Донецьк	0	10	42	176	383	702	1 097	1 169	644	4 223
5	Житомир	0	5	21	99	296	590	1 185	1 489	730	4 415
6	Запоріжжя	0	9	35	120	223	433	1 093	1 436	635	3 984
7	Івано-Франківськ	0	10	38	130	240	468	1 179	1 548	683	4 296

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	Ізмаїл	0	0	4	15	87	321	840	1 392	965	3 624
9	Київ	1	4	29	122	316	590	1 153	1 393	616	4 224
10	Кропивницький	0	9	37	127	235	457	1 153	1 514	669	4 201
11	Кривий Ріг	0	9	36	124	230	447	1 126	1 479	654	4 105
12	Лозова	0	9	42	177	386	710	1 113	1 184	652	4 273
13	Лубни	3	5	35	137	345	640	1 179	1 289	687	4 320
14	Луганськ	1	7	51	154	365	635	992	1 280	643	4 128
15	Луцьк	0	5	20	96	290	578	1 161	1 456	714	4320
16	Львів	0	0	2	19	58	429	1 060	1 666	1062	4 296
17	Миколаїв	0	0	7	53	221	449	1 025	1 472	638	3 865
18	Одеса	0	0	5	21	128	382	934	1 705	617	3 792
19	Полтава	5	8	43	153	372	688	1 165	1 074	764	4 272
20	Рівне	0	5	21	97	293	584	1 173	1 473	722	4 368
21	Ромни	1	8	37	128	325	637	1 202	1 423	678	4 439
22	Сімферополь	0	0	3	15	85	332	825	1 329	1 107	3 696
23	Суми	1	10	38	125	316	635	1 211	1 479	673	4488
24	Тернопіль	1	10	38	122	312	624	1 192	1 455	663	4 417
25	Ужгород	0	0	2	17	52	384	874	1 411	956	3 696
26	Умань	1	10	37	125	272	540	1 169	1 479	664	4 297
27	Феодосія	0	0	0	0	6	69	473	1 528	1 331	3 407
28	Харків	0	9	44	179	389	714	1 117	1 189	655	4 296
29	Херсон	0	0	7	35	159	423	864	1 518	907	3 913
30	Хмельницький	1	10	38	121	309	619	1 183	1 445	667	4 393
31	Черкаси	1	9	37	119	301	605	1 154	1 406	640	4 272
32	Чернівці	0	10	37	127	235	458	1 153	1 513	668	4 201
33	Чернігів	1	10	38	124	317	634	1 212	1 478	673	4 487
34	Ялта	0	0	0	0	5	61	360	1 404	1 194	3 024

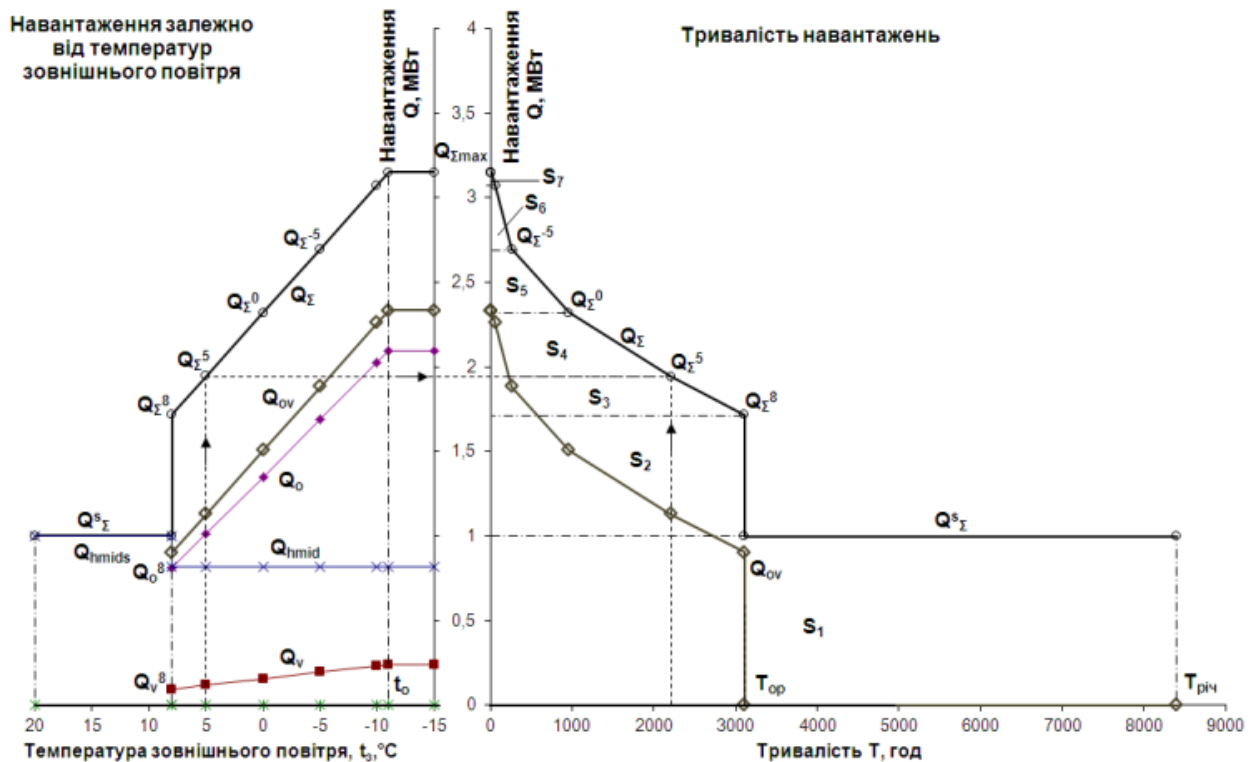


Рисунок 4.1 – Приклад побудови графіка теплових навантажень

Рисунок 4.2 – Приклад побудови графіка тривалості теплового навантаження

4.2.2 Визначення розрахункових витрат теплоносія

Розрахункові витрати водяного теплоносія на ІТП у кг/год на опалення G_o :

$$G_o = 3,6 \times 10^9 \cdot Q_o / [c \cdot (\tau_1 - \tau_2)] = 0,855 \times 10^6 \cdot Q_o / (\tau_1 - \tau_2); \quad (4.1)$$

на вентиляцію G_v :

$$G_v = 3,6 \times 10^9 \cdot Q_v / [c \cdot (\tau_1 - \tau_2)] = 0,855 \times 10^6 \cdot Q_v / (\tau_1 - \tau_2), \quad (4.2)$$

де Q_o – розрахункове навантаження на опалення, МВт;

Q_v – розрахункове навантаження на вентиляцію, МВт;

τ_1 – розрахункова температура теплоносія в подавальній магістралі теплової мережі (за розрахункової опалювальної температури зовнішнього повітря t_o), °С;

τ_2 – розрахункова температура теплоносія в зворотній магістралі теплової мережі, °С;

c – теплоємність теплоносія, середнє значення якої від інтервалу температур між подавальною та зворотною магістралями 115–70 °С до інтервалу 150–70 °С змінюється з 4 214 Дж/(кг · °С) до 4 250 Дж/(кг · °С).

Розрахункові витрати водяного теплоносія на ІТП у кг/с

на опалення G_o :

$$G_o = Q_o \cdot 10^6 / [c \cdot (\tau_1 - \tau_2)] = 236 \cdot Q_o / (\tau_1 - \tau_2); \quad (4.3)$$

на вентиляцію G_v :

$$G_v = Q_v \cdot 10^6 / [c \cdot (\tau_1 - \tau_2)] = 236 \cdot Q_v / (\tau_1 - \tau_2). \quad (4.4)$$

Розрахункові середні витрати водяного теплоносія на ІТП на гаряче водопостачання (ГВ) за наявності акумулятора та паралельної схеми підключення підігрівника у кг/год:

$$G_{hm} = 3,6 \times 10^9 Q_{hm} / [c(\tau'_1 - \tau'_3)] = 0,86 \times 10^6 Q_{hm} / (\tau'_1 - \tau'_3). \quad (4.5)$$

Те ж саме в кг/с:

$$G_{hm} = Q_{hm} \cdot 10^6 / [c(\tau'_1 - \tau'_3)] = 236 \cdot Q_{hm} / (\tau'_1 - \tau'_3). \quad (4.6)$$

Розрахункові максимальні витрати теплоносія на ІТП на потреби ГВ за відсутності акумулятора та паралельної схеми підключення підігрівника в кг/год:

$$G_{hmax} = 3,6 \times 10^9 Q_{hmax} / [c(\tau'_1 - \tau'_2)] = 0,86 \times 10^6 Q_{hmax} / (\tau'_1 - \tau'_2). \quad (4.7)$$

Те ж саме в кг/с:

$$G_{hmax} = Q_{hmax} \cdot 10^6 / [c(\tau'_1 - \tau'_2)] = 236 \times Q_{hmax} / (\tau'_1 - \tau'_2). \quad (4.8)$$

Розрахункові середні витрати теплоносія на ІТП на потреби ГВ для двоступінчастих схем підключення підігрівників в кг/год:

$$G_{hm} = 0,86 \times 10^6 Q_{hm} [(t_h - t_n) / (t_h - t_c) + 0,2] / (\tau'_1 - \tau'_2). \quad (4.9)$$

Те ж саме в кг/с:

$$G_{hm} = 236 \cdot Q_{hm} [(t_h - t_n) / (t_h - t_c) + 0,2] / (\tau'_1 - \tau'_2). \quad (4.10)$$

Розрахункові максимальні витрати теплоносія на ІТП на потреби ГВ для двоступінчастих схем підключення підігрівників в кг/год:

$$G_{hmax} = 0,86 \times 10^6 Q_{hmax} [(t_h - t_n) / (t_h - t_c) + 0,2] / (\tau'_1 - \tau'_2). \quad (4.11)$$

Те ж саме в кг/с:

$$G_{hmax} = 236 \cdot Q_{hmax} [(t_h - t_n) / (t_h - t_c) + 0,2] / (\tau'_1 - \tau'_2). \quad (4.12)$$

У виразах (4.1)-(4.12) застосовані позначення:

τ'_1 – температура теплоносія в подавальній магістралі теплової мережі за температури зламу графіка t'_3 , °C;

τ'_2 – температура теплоносія в зворотній магістралі теплової мережі за температури зламу графіка t'_3 , °C;

τ'_3 – температура теплоносія у зворотній магістралі теплової мережі, приймається 30 °C;

c_h – теплоємність теплоносія за мінімальної температури в подавальній магістралі для закритих систем (70 °C); $c_h = 4\,189$ Дж/(кг · °C);

t_h – температура гарячої води, °C;

t_c – температура холодної водопровідної води, °C;

t_n – температура водопровідної води після підігрівника першого ступеня, °C, приймаємо $\tau'_2 - 5(10)$ °C.

5 ДЕТАЛЮВАННЯ ТРУБОПРОВОДІВ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ

5.1 Компенсатори

Підбір компенсаторів

Компенсатори призначені для зниження до безпечного рівня термічних напружень, що виникають внаслідок лінійного видовження трубопроводів, що працюють за температур більших, ніж вони мали під час монтажу.

Повне теплове видовження розрахункової ділянки трубопроводів Δl , мм, знаходиться за формулою:

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta t \cdot L, \quad (5.1)$$

де α – середній коефіцієнт лінійного розширення, мм/(м · °С), у процесі нагріву від $t_{\text{мон}}$ до $t_{\text{роб}}$, °С;

Δt – розрахунковий перепад температур, що дорівнює різниці температур між $t_{\text{роб}}$ та $t_{\text{мон}}$, °С;

L – відстань між нерухомими опорами на ділянці, де встановлюється компенсатор, м.

Як робоча температура $t_{\text{роб}}$ приймається найбільша температура, яку може набувати теплоносіє за період експлуатації трубопроводу. За монтажну температуру трубопроводу $t_{\text{мон}}$ приймають розрахункову опалювальну температуру зовнішнього повітря.

Розрахункове теплове подовження трубопроводів Δx , мм, для визначення розмірів гнучких компенсаторів належить визначати за формулою:

$$\Delta x = \varepsilon \cdot \Delta l, \quad (5.2)$$

де ε – коефіцієнт, що враховує релаксацію компенсаційних напружень і попереднє розтягування компенсатора у розмірі 50 % повного теплового видовження Δl для температура теплоносія $t \leq 400$ °С та у розмірі 100 % для температури теплоносія $t > 400$ °С й приймається 0,5.

Компенсатори або компенсаційні елементи мають розташовуватися між кожними двома нерухомими опорами. До компенсаційних елементів теплотраси відносять власне компенсатори та елементи самокомпенсації, якими можуть бути повороти траси з кутом від 90° до 150° включно. Один поворот траси утворює так звану Г-подібну ділянку, два поспіль повороти у різних напрямках – це Z-подібна ділянка. З усіх видів компенсаторів, що застосовуються у теплових мережах, найкращими для промислового теплопостачання є П-подібні компенсатори, що відносяться до компенсаторів радіального типу. П-подібні компенсатори розташовують посередині ділянки, що потребує компенсації.

Приклад підбору П – подібного компенсатора

Вихідні дані:

Температура теплоносія 150 °С.

Розрахункова опалювальна температура зовнішнього повітря мінус 23 °С.

Діаметр теплової мережі 108 мм.

Довжина ділянки між нерухомими опорами 80 м.

Визначаємо теплове подовження:

$$\Delta x = \varepsilon \cdot \Delta l = \varepsilon \cdot \alpha \cdot (T - t) \cdot L,$$

де T – температура теплоносія у подавальному трубопроводі, за розрахункової опалювальної температури зовнішнього повітря, °С;

t – розрахункова опалювальна температура зовнішнього повітря, °С;

L – довжина ділянки трубопроводу, м;

ε – коефіцієнт, який враховує релаксацію компенсаційних напружень, приймаємо 0,5;

α – середній коефіцієнт лінійного розширення сталі, який приймається для температури у 75 °С: 0,012 (мм/м · °С), для температури у 150 °С: 0,0125 (мм/м · °С).

$$\Delta x = \varepsilon \cdot \Delta l = \varepsilon \cdot \alpha \cdot (T - t) \cdot L = 0,5 \times 0,0125 \times (150 + 23) \times 80 = 86,5 \text{ мм.}$$

За даними таблиці 5.1 визначаємо «виліт» та «спінку» компенсатора.

Таблиця 5.1 – Підбір компенсаторів

Діаметр, мм	В/Н	Продовження, мм при «виліт», м			
		8D _h	12D _h	16D _h	24D _h
1	2	3	4	5	6
57	0,5	13	28	48	80
	1	18	37	65	108
	2	26	56	98	167
	4	42	94	164	282
108	0,5	31	61	104	200
	1	37	76	125	260
	2	50	104	176	372
	4	76	163	280	605
219	0,5	74	136	213	400
	1	85	158	252	490
	2	104	204	334	670
	4	148	293	494	1 030

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
325	0,5	117	207	316	585
	1	127	237	368	705
	2	155	296	472	940
	4	206	413	678	1 410
426	0,5	150	272	417	780
	1	168	312	490	940
	2	204	392	610	1 265
	4	275	452	920	1910
529	0,5	195	348	530	960
	1	215	392	610	1 114
	2	254	480	765	1 495
	4	332	660	1 080	2 200

«Виліт» Н складає: $12 \times 108 = 1\,296$ мм.

«Спінка» В складає: $2 \times 1\,296 = 2\,592$ мм.

5.2 Опори

Нерухомі опори використовують для закріплення на місцевості окремих точок теплотраси з метою сприйняття термічних напружень і запобігання неконтрольованої деформації трубопроводів теплової мережі.

Нерухомі опори обов'язково розташовують на виході з джерела тепла, перед будівлею кожного споживача і перед кожним відгалуженням у вузлі трубопроводів або перед ним у напрямку розподілу тепла від джерела теплопостачання до споживачів. Окрім цього, нерухомі опори можуть також розташовуватися поза вузлів трубопроводів на прямолінійних ділянках траси, якщо довжина такої ділянки перевищує рекомендовану відстань між нерухомими опорами. Допустимі відстані між щитовими нерухомими опорами наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Відстані, м, між нерухомими опорами трубопроводів з П-подібними (П) і чепцевими (Ч) компенсаторами

D _y , мм	Теплоносій					
	Вода		Пара			
	p = 0,8÷1,6 МПа t = 100÷150 °С		p = 0,8 МПа t = 250 °С		p = 1,3 МПа t = 300 °С	
	П	Ч	П	Ч	П	Ч
1	2	3	4	5	6	7
25	—	—	50	—	50	—

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5	6	7
32	50		50		50	
40–50	60		60		60	
70	70		70		70	
80	80		80		80	
100	80	70	80	60	80	50
125	90	70	90	60	90	50
150	100	80	100	70	90	60
175	100	80	100	70	100	60
200	120	80	120	70	100	60
250	120	100	120	70	120	60
300	120	100	120	70	120	60
350	140	120	120	70	120	60
400	160	140	140	100	140	80

Примітка. Відстань між нерухомими опорами трубопроводів на ділянках самокомпенсації рекомендується приймати не більше 60 % від зазначених для П-подібних компенсаторів.

Нерухому опору показують тонкою лінією, що перетинає всі трубопроводи перпендикулярно подовжній осі траси, відзначаючи заземлення кожного трубопроводу хрестиком. Нерухомі опори поза вузлами трубопроводів позначають літерою Н з порядковим номером опори, наприклад: Н1, Н2, Н5 і т. ін.

Рухомі опори призначаються для сприйняття вертикальних зусиль від ваги трубопроводу разом із теплоносієм і запірною арматурою водночас із забезпеченням його вільного горизонтального переміщення. Рухомі опори застосовуються за використання всіх способів прокладання теплових мереж, окрім підземного безканального. Допустимі відстані між рухомими опорами наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Відстані, м, між рухомими опорами для теплової мережі з параметрами $p = 1,6 \text{ МПа}$, $t = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Найменування	Умовний діаметр труби, D_y , мм											
	25	40	70	100	150	200	300	400	500	600	800	1 000
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Прогін між рухомими опорами трубопроводів, м												
Прокладка на бетонних подушках	1,7	2,5	3	4	5	6	8	8,5	10	10	10	10
Прокладка надземна з П-подібними компенсаторами	2	2,5	3,5	5	7	9	12	14	14	15	16	20
Те саме з чепцевими компенсаторами	2	2,5	3,5	5	7	9	12	13	13	13	13	16

Продовження таблиці 5.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Відстань між нерухомими опорами трубопроводів, м												
З П-подібними компенсаторами	50	60	70	80	100	120	120	160	180	200	200	200
Із чепцевими компенсаторами	—	—	—	70	80	80	100	140	140	160	160	160
Примітки: 1. Для відстаней між рухомими опорами за надземної прокладки й по стелажах необхідно вводити коефіцієнти: для ділянок перед гнучкими компенсаторами, перед поворотами й для кінцевих ділянок 0,8; для поворотів 0,67; для ділянок з кожної сторони чепцевого компенсатора 0,5. 2. Відстані між нерухомими опорами дані за розташування компенсаторів не ближче 1/3 і не далі 2/3 зазначених відстаней від нерухомих опор. Для ділянок самокомпенсації приймати відстані, рівні 0,6 від зазначених у таблиці.												

5.3 Теплова ізоляція

Теплову ізоляцію трубопроводів та обладнання теплових мереж розраховують згідно з [4] зазвичай за нормованою густиною теплового потоку з поверхні теплоізоляційної конструкції.

Приклад визначення теплових втрат ізольованим трубопроводом

Вихідні дані.

Прокладання теплової мережі – підземне, каналне.

Теплова мережа розташована у м. Харкові.

Діаметр трубопроводів Т1 і Т2 – 108 мм.

Довжина ділянки – 90 м.

Температурний графік 124–61 °С.

Вирішення.

Визначаємо кількість годин опалювального періоду: $179 \text{ діб} \cdot 24 \text{ години} = 4\,296 \text{ години}$.

Визначаємо тепловіддачу подавального трубопроводу:

$$Q_{\text{вТ1}} = 1,2 \cdot q_{\text{вТ1}} \cdot L = 1,2 \times 46 \times 90 = 4\,698 \text{ Вт.}$$

Визначаємо тепловіддачу зворотного трубопроводу:

$$Q_{\text{вТ2}} = 1,2 \cdot q_{\text{вТ2}} \cdot L = 1,2 \times 19 \times 90 = 2\,052 \text{ Вт.}$$

Сумарні теплові втрати: $4\,698 + 2\,052 = 6\,750 \text{ Вт}$.

5.4 Канали теплової мережі

Згідно з [5] у містах та інших населених пунктах виконують зазвичай підземне прокладання теплових мереж (безканальне із попередньо ізольованих трубних секцій, у каналах, у тунелях спільно чи роздільно з іншими інженерними мережами).

Прохідні канали зазвичай застосовують у випадку прокладання в одному напрямку не менше 5 труб великого діаметра. Висота прохідного каналу має бути не меншою за 1,8 м, ширина проходу – не меншою за 0,7 м.

Напівпрохідні канали застосовують в умовах наявності обмеженого простору та неможливості ані використання прохідних каналів, ані проведення розкривних робіт для ремонту зазвичай на коротких ділянках мереж. Висота напівпрохідного каналу має бути не меншою за 1,4 м, ширина проходу не меншою за 0,6 м.

Непрохідні канали застосовують у випадку підземного прокладання трубопроводів, що не вимагають постійного нагляду й обслуговування, з метою здешевлення та спрощення теплотраси і будівельних робіт.

Прокладання у непрохідних каналах є найрозповсюдженішим способом. Непрохідні канали виконують зі збірних залізобетонних виробів, за конструктивними рішеннями поділяють на три типу: КЛ, КЛп, КЛс. Непрохідні канали типу КЛ збирають з лоткових елементів та перекривають плитами, канали типу КЛп – із лоткових елементів, які опираються на плити, канали типу КЛс – із нижніх та верхніх лоткових елементів. Номенклатура збірних залізобетонних виробів каналів складається з лоткових елементів та плит перекриття. Під час прокладання теплових мереж зазвичай використовують канали типу КЛ, тому що канали типів КЛп і КЛс ускладнюють проведення монтажних-зварювальних робіт. Розміри непрохідних каналів наведено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Розміри непрохідних каналів

Тип каналу	A, мм	H = H _н + H _в , мм				
КЛ, КЛп	300	300	—	—	—	—
	450	300	—	—	—	—
	600	300	450	600	—	—
	900	450	600	900	1 200	—
	1 200	450	600	900	1 200	—
	1 500	450	600	900	1 200	1 500
	1 800	600	900	1 200	1 500	—
	2 100	600	900	1 200	1 500	—

Продовження таблиці 5.4

	2 400	900	1 200	1 500	—	—
	3 000	900	1 200	1 500	—	—
КЛс	900	900	1 200	—	—	—
	1 200	900	1 200	1 500 = 600 + 900	—	—
	1 500	900	1 200	—	—	—
	1 800	1 200	—	—	—	—
	2 100	1 200	—	—	—	—

Розміри каналу залежать від кількості трубопроводів, їхнього діаметра (з урахуванням теплової ізоляції), а також відповідно до вимог мінімальних відстаней в світу між трубопроводами та будівельними конструкціями каналу. Дані мінімальних відстаней наведено у [5] таблиця Ж.1.

Приклад 1. Розглянемо приклад чотирьохтрубної системи тепlopостачання, два трубопроводи водяних теплових мереж (Т1 і Т2), у ізоляції ППУ мають діаметр Д 159/250/4,5 та два трубопроводи системи гарячого водопостачання (Т3 і Т4), у ізоляції ППУ мають діаметр для Т3 Д 114/200/4,0. Для Т4 – 76/140/3,5 (159 мм – зовнішній діаметр сталеві труби, 250 мм – зовнішній діаметр з урахуванням теплової ізоляції, 4,5 мм – товщина стінки сталеві труби). Розміри каналу вибираємо відповідно до даних таблиці 5.11, з урахуванням вимог таблиці 5.12. Мінімальна ширина каналу знаходиться, як $250 + 140 + 250 + 140 + 200 + 140 + 140 + 80 + 70 = 1\,270$ мм (де 250 мм – зовнішній діаметр трубопроводів Т1 і Т2, з урахуванням теплової ізоляції, 200 мм – зовнішній діаметр трубопроводу Т3, з урахуванням теплової ізоляції, 140 мм – зовнішній діаметр трубопроводу Т4, з урахуванням теплової ізоляції, 140 мм – відстань до теплової ізоляції між суміжними конструкціями трубопроводів, для труб Ду 100÷250 мм, 80 мм – відстань між тепловою ізоляцією трубопроводу до стіни будівельної конструкції для труб з діаметром Ду 100÷250 мм, 70 мм – відстань між тепловою ізоляцією трубопроводу до стіни будівельної конструкції для труб з діаметром Ду 25÷80 мм).

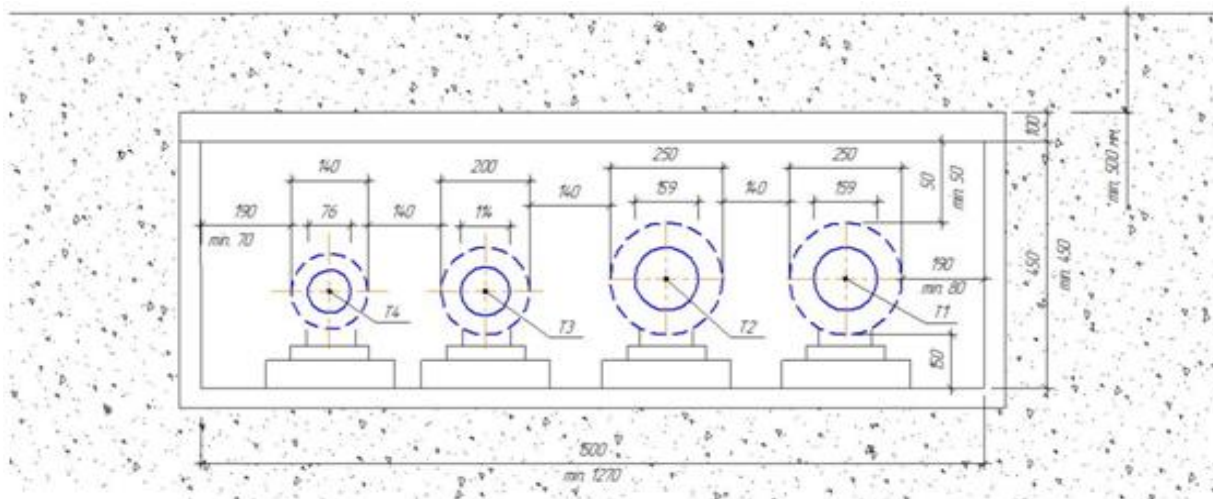


Рисунок 5.2 – Розріз непрохідного каналу типу КЛ

Мінімальна висота каналу знаходиться як $150 + 250 + 50 = 450$ мм (де 150 мм – мінімальна відстань від теплової ізоляції трубопроводу до дна каналу для труб з діаметром $D_u 100 \div 250$ мм, 250 мм – зовнішній діаметр трубопроводів T1 і T2, з урахуванням теплової ізоляції, 50 мм – мінімальна відстань від теплової ізоляції трубопроводу до перекриття каналу). Відповідно до даних таблиці 5.11 вибираємо канал КЛ розміром $1\ 500 \times 450$ мм. Результати вибору наведено на рисунку 5.2.

5.5 Побудова повздовжнього профілю

Повздовжній профіль теплотраси (ППТ) будується з метою визначення способів її прокладання на окремих ділянках та рівня розташування трубопроводів, а також ув'язування обраного розташування теплотраси з іншими інженерними комунікаціями (автомобільні та залізничні шляхи, газопроводи, водопроводи, каналізація, електрокабелі тощо) та підземними й надземними спорудами. Також ППТ використовують для визначення ухилів трубопроводів та місць розташування пристроїв для спуску води (дренажів, дренажних колодязів) та повітря (повітровідвідників). З метою забезпечення природного спорожнення трубопроводів, а також заповнювання водою відремонтованих ділянок теплотраси без залишків повітря, дренажі розташовують у найнижчих точках теплотраси, а повітровідвідники – у найвищих точках.

Згідно з [6] ППТ будується у вигляді розгорток по осі траси в масштабах: по горизонталі – $1 : 500$, $1 : 1\ 000$; по вертикалі $1 : 50$, $1 : 100$.

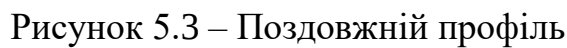
Допускається для зручності користування показувати на профілі вертикальну вісь зі шкалою познач від рівня океану. Під профілем

розташовують табличку, зміст рядків якої обирають залежно від способу прокладки тепломережі: надземного чи підземного, як показано на рисунку 5.1. Форма 2 відповідає підземному прокладанню, а форма 3 – надземному. Якщо на відрізку теплотраси, для якого будується профіль, застосовано обидва способи прокладки, то його розбивають на фрагменти.

Форма 2		Форма 3	
15	Проектна позначка землі		Проектна позначка землі
15	Натурна позначка землі		Натурна позначка землі
15	Позначка стелі каналу чи верху ізоляції трубопроводу безканального прокладання		Позначка верху несучої конструкції
15	Позначка підлоги каналу або дна траншеї для безканального прокладання		Позначка низу труби
15	Нахил, ‰		Нахил, ‰
15	Довжина, м		Довжина, м
15	Номер поперечного перерізу Внутрішній розмір, мм		Номер поперечного перерізу
20	Розгорнутий план		Розгорнутий план
60			

Рисунок 5.1 – Таблиця для поздовжнього профілю

На рисунку 5.2 наведено будівельний план теплової мережі, а на рисунку 5.3 приклад побудови поздовжнього профілю ділянки тепломережі.



6 ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ГАЗУ. ОБЛАДНАННЯ ГРП

6.1 Визначення витрати газу побутовими споживачами

Системи газопостачання міст, селищ і сіл розраховують на максимальну розрахункову годинну витрату газу. Максимальну розрахункову годинну витрату газу за 0 °С і тискові газу 0,1 МПа на господарсько-побутові та виробничі потреби визначають як частку річної витрати газу за формулою:

$$Q_d^h = K_{\max}^h \cdot Q_y \text{ м}^3/\text{год}, \quad (6.1)$$

де $K_{\max}^h$ – коефіцієнт годинного максимуму (коефіцієнт переходу від річної витрати до максимальної розрахункової годинної витрати газу), згідно з [7], таблиця 4;

Q_y – річна витрата газу, визначають за формулою:

$$Q_y = \frac{q_n \cdot n}{Q_n \cdot \eta}, \text{ м}^3/\text{рік} \quad (6.2)$$

де q – норма витрати теплоти, МДж/чол. · рік, згідно з [7], таблиця 2;

n – кількість жителів в районі, чол.;

Q_n – теплота згоряння газу, МДж/м³;

η – ККД побутових газових плит, згідно з таблицею 6.1.

Для окремих житлових та громадських будинків розрахункові годинні витрати газу визначають за сумою номінальних витрат газу газовими приладами з урахуванням коефіцієнтів одночасності їхньої дії за формулою:

$$Q_d^h = K_{\text{sim}} \cdot q_{\text{nom}} \cdot n \text{ м}^3/\text{год}, \quad (6.3)$$

де K_{sim} – коефіцієнт одночасності, значення якого варто приймати для житлових будинків згідно з [7], додаток В;

q_{nom} – номінальна витрата газу приладом або групою приладів, м³/год, прийнята за паспортними даними або технічними характеристиками приладів;

n – кількість квартир, шт.

Приклад 1. Визначити річну і максимальну годинну витрату природного газу на господарсько-побутові потреби населеного району міста за таких умов: кількість жителів в районі – 15 000 чол., теплота згоряння газу – $Q_n = 36$ МДж/м³, ККД побутових газових плит – 0,56, житлові будинки обладнані газовими плитами, гаряче водопостачання – централізоване.

Вирішення.

Річна витрата газу за формулою (6.2) становить:

$$Q_y = \frac{2\,800 \times 15\,000}{36 \times 0,56} = 2\,083\,333 \text{ м}^3/\text{рік},$$

де $q_n = 2\,800$ МДж/чол. · рік, згідно з [7], таблиця 2.

Максимальна годинна витрата газу за формулою (6.1) становить:

$$Q_d^h = \frac{1}{2250} \cdot 2\,083\,333 = 926 \text{ м}^3/\text{год},$$

де $k_{\max}^h = \frac{1}{2\,250}$, згідно з [7], таблиця 4.

6.2 Визначення витрати газу промисловими споживачами

6.2.1 Системи газопостачання промислового підприємства

Визначення витрати газу промисловими споживачами

Годинна витрата газу промисловими підприємствами $V_{\text{год}}^{\text{пп}}$, $\text{м}^3/\text{год}$, визначається за формулою:

$$V_{\text{год}}^{\text{пп}} = \frac{Q_{\Sigma} \cdot 3\,600}{Q_p^h \cdot \bar{\eta}},$$

де Q_{Σ} – сумарна теплова потужність газовикористовуючого обладнання, МВт;

Q_p^h – нижча теплота згоряння газу, МДж/м³;

$\bar{\eta}$ – середній для підприємства коефіцієнт корисної дії.

Максимальна годинна витрата газу, $\text{м}^3/\text{год}$:

$$V_r = V_{\text{річн}} \cdot k_{\max}^h \cdot 10^6,$$

де $V_{\text{річн}}$ – річна витрата газу споживачем, млн $\text{м}^3/\text{рік}$;

$k_{\max}^h$ – коефіцієнт годинного максимуму, 1/год.

Приклад 2. Визначити максимальну годинну витрату газу пральні, якщо річна витрата газу становить 4,2 млн $\text{м}^3/\text{рік}$.

Вирішення.

Максимальну годинну витрату газу, $\text{м}^3/\text{год}$, визначають, як частку річної витрати:

$$V_r = V_{\text{річн}} \cdot k_{\max}^h \cdot 10^6,$$

де $V_{\text{річн}}$ – річна витрата газу споживачем, млн $\text{м}^3/\text{рік}$;

$k_{\max}^h$ – коефіцієнт годинного максимуму, 1/год, (приймається залежно від виду підприємства), відповідно до [7], п 6.8 таблиця 5.

Значення $k_{\max}^h$ приймається відповідно до [7], п 6.8 таблиця 5, $k_{\max}^h = 1/2\,700$.

Після визначення коефіцієнта годинного максимуму $k_{\max}^h$ розраховуємо максимальну годинну витрату газу V_r , $\text{м}^3/\text{год}$:

$$V_r = 0,042 \times \frac{1}{2\,700} \times 10^6 = 15,6 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Відповідь: максимальна годинна витрата газу пральною $V_r = 15,6 \text{ м}^3/\text{год}$.

6.3 Визначення витрати газу джерелом теплопостачання

6.3.1 Розрахування годинних обсягів споживання газу

Системи газопостачання населеного пункту не мають акумулювальних місткостей, місткість самих газових мереж дуже мала. Для кожного ступеня тиску вона складає 3–4 % максимальної годинної її пропускної спроможності, результатом цього є жорсткий зв'язок, що існує між подачею газу в місто і витратою його споживачами.

Для нормального функціонування системи газопостачання міста годинна подача газу в мережу населеного пункту повинна відповідати його споживанню. Наявність жорсткого зв'язку в міських системах газопостачання між рівнем подачі газу в систему і рівнем його споживання вимагає розраховувати пропускну спроможність мереж і елементів системи на пікові максимальні годинні витрати газу.

Приклад 3. Розрахувати витрати природного газу котельнею, що забезпечує тепловою енергією системи опалення та вентиляції мікрорайону із житловими та громадськими будинками, якщо необхідна теплопродуктивність котельні становить 12,1 МВт, система теплопостачання мікрорайону – централізована.

Вирішення.

Витрата газу на опалення та вентиляцію житлових і громадських будинків, м³/год:

$$V_{\text{год}} = 3\,600 \frac{(Q_{h \max} + Q_{v \max} + Q_{o \max})}{Q_p^H \eta},$$

де $Q_{h \max}$ – максимальний тепловий потік на гаряче водопостачання, МВт;

$Q_{v \max}$ – максимальний тепловий потік на вентиляцію, МВт;

$Q_{o \max}$ – максимальний тепловий потік на опалення, МВт;

Q_p^H – нижча теплота згоряння газу, $Q_p^H = 33,682$ МДж/м³;

η – коефіцієнт корисної дії системи теплопостачання: централізованої: $\eta = 0,8-0,85$; місцевої: $\eta = 0,75-0,8$.

У цій роботі приймаємо коефіцієнт корисної дії системи теплопостачання $\eta = 0,85$ для централізованої системи теплопостачання.

Проведемо розрахунок:

$$V_{\text{год}} = 3\,600 \frac{12,1}{33,682 \times 0,85} = 1\,521,49 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Відповідь: витрати природного газу котельнею $V_{\text{год}} = 1\,521,49$ м³/год.

6.4 Підбір обладнання ГРП

Обладнання, призначення і експлуатація газорегуляторних пунктів

Керування режимом роботи систем газопостачання здійснюється газорегуляторними пунктами (ГРП) і установками (ГРУ), які автоматично підтримують постійний тиск у мережах незалежно від інтенсивності споживання газу. Газорегуляторні пункти і установки (рис. 6.1) – автоматичні пристрої, що виконують такі функції: знижують тиск газу до заданого значення; підтримують заданий тиск поза залежністю від змін витрати газу і його тиску перед ГРП; припиняють подачу газу при підвищенні або зниженні його тиску після регуляторів понад задані межі; очищають газ від механічних домішок. Газорегуляторні пункти споруджують на розподільних мережах міст і населених пунктів, а також на території комунальних, промислових і інших підприємств.

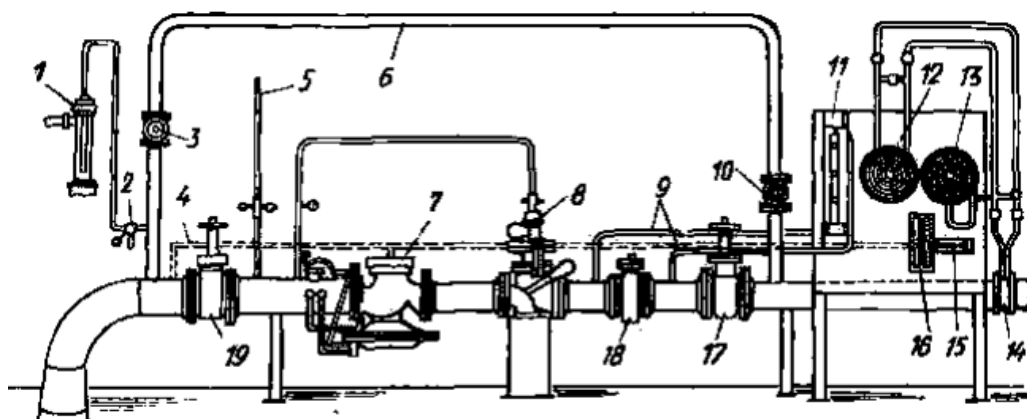


Рисунок 6.1 – Газорегуляторний пункт:

- 1 – гідрозатвор; 2 – кран до гідрозатвора; 3 – засувка на байпасі;
4 – імпульсна трубка кінцевого тиску; 5 – продувна свіча; 6 – обвідна лінія (байпас); 7 – регулятор тиску РДУК; 8 – запобіжно-запірний клапан;
9 – імпульсні трубки до і після фільтра; 10 – кран на байпасі;
11 – диференційний манометр для виміру перепаду тиску на фільтрі;
12 – витратомір; 13 – реєструвальний манометр вхідного тиску; 14 – діафрагма;
15 – манометр вихідного тиску, що показує; 16 – що реєструвальний манометр вихідного тиску; 17 – вхідна засувка; 18 – фільтр; 19 – вихідна засувка

Приклад 4. Дані для розрахунку:

1. Пропускна здатність зведена до нормальних умов:

– максимальна $Q_{\max} = 1\,000 \text{ м}^3/\text{год.}$

2. Вхідний тиск (максимальний) $P_{\text{вх}} = 0,6$ МПа (6 Бар).

3. Вхідний тиск (мінімальний) $P_{\text{вх}} = 0,2$ МПа (2 Бар).

4. Швидкість потоку газу у вихідному колекторі в місцях врізання імпульсів $V = 25$ м/с – для середнього, за мінімального вихідного тиску.

5. Швидкість потоку газу у фільтрі $V = 20$ м/с за $P_{\text{над}} \leq 0,3$ МПа; пропускна здатність фільтра за мінімального вхідного тиску має бути на 10–20 % більше.

Завдання: зробити розрахунок діаметра вхідного патрубку, підібрати фільтр та запірну арматуру.

Вирішення.

1. Визначаємо об'єм за робочих умов за мінімального тиску:

$$Q_p = \frac{Q_{\text{max}} \cdot P_{\text{атм}}}{P_{\text{атм}} + P_{\text{над}}} = \frac{1\,000 \times 0,1}{0,1 + 0,2} = 333,3 \text{ м}^3/\text{год},$$

де Q_{max} – витрата газу приведена до нормальних умов, $\text{м}^3/\text{год}$;

$P_{\text{атм}}$ – атмосферний тиск, МПа (для розрахунку приймаємо $P_{\text{атм}} = 0,1$ МПа);

$P_{\text{над}}$ – надлишковий тиск (тиск у трубі), МПа.

2. Визначаємо діаметр вхідного трубопроводу:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{3\,600 \cdot \pi \cdot V}} = \sqrt{\frac{4 \times 333,3}{3\,600 \times 3,14 \times 25}} = 0,068 \text{ м (68 мм)},$$

де Q_p – об'ємна витрата газу за робочих умов, $\text{м}^3/\text{год}$;

V – швидкість потоку газу у вхідному колекторі, м/с.

Вхідний трубопровід має бути не менше ніж 68 мм. Підходить труба $76 \times 3,5$ і шарові крани Ду65 (або більші).

3. Визначаємо діаметр фільтра:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{3\,600 \cdot \pi \cdot V}} = \sqrt{\frac{4 \times 333,3}{3\,600 \times 3,14 \times 20}} = 0,076 \text{ м (76 мм)},$$

де Q_p – об'ємна витрата газу за робочих умов, $\text{м}^3/\text{год}$;

V – швидкість потоку газу в газовому фільтрі, м/с.

Підходить фільтр діаметром 80 (або більший), з робочим тиском не менше ніж 0,6 МПа. Наприклад: ФГП-80.

7 СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

7.1 Принципова схема електропостачання населених міст

Електроенергетична система складається з електричних станцій для вироблення електричної енергії; мереж магістральних та районних ліній

електропередавання для передавання електричної енергії на віддалену відстань; вузлових підстанцій для поєднання ліній електропередавання у складі електричної мережі та перетворення електричної енергії між різними ступенями номінальної напруги; розподільних електричних мереж для розподілу електричної енергії між споживачами та споживачів електричної енергії.

Структура енергетичної системи міста показана на рисунку 7.1.

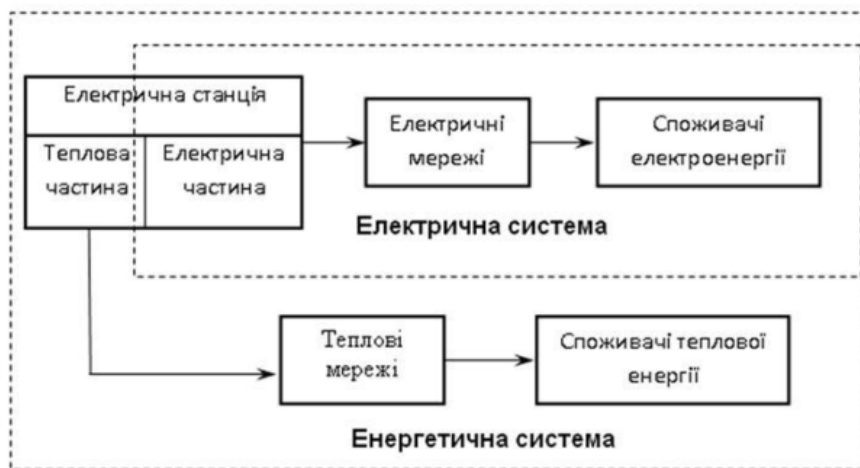


Рисунок 7.1 – Енергетична система міста

Електричною мережею (ЕМ) називають сукупність електроустановок для передавання і розподілу електричної енергії, що складається з підстанцій, розподільних пристроїв, струмопроводів, повітряних і кабельних ліній електропередавання, які працюють на певній території.

Електричною підстанцією (ПС) називають електроустановку, призначену для приймання, перетворення та розподілу електричної енергії, яка складається із трансформаторів, розподільних пристроїв, пристроїв управління та інших допоміжних пристроїв.

Розподільним пристроєм (РП) називають електроустановку, призначену для приймання та розподілу електричної енергії на одному ступені номінальної напруги, яка містить комутаційні апарати, збірні шини, пристрої управління та захисту.

Лінією електропередавання (ЛЕП) називають електроустановку, призначену для передавання електричної енергії на віддалену відстань між двома пунктами електричної системи. Лінії електропередавання складаються із проводів та кабелів, ізолюючих елементів та несучих конструкцій.

7.1.1 Розрахунок захисного заземлення

Мета розрахунку захисного заземлення – визначення кількості електродів заземлювача і заземлювальних провідників, їхніх розмірів і схеми розміщення в землі, при яких опір заземлювального пристрою розтіканню струму або напруга дотику при замиканні фази на заземлені частини електроустановок не перевищують допустимих значень.

Розрахунок заземлення робиться з урахуванням заданих допустимих значень опору R_d заземлювального пристрою, допустимої напруги дотику та кроку. Загальні вимоги щодо значень R_d захисного заземлення електроустановок викладені у міждержавному стандарті [9] та [8].

Послідовність розрахунку:

1. Визначається розрахунковий струм замикання на землю I_z , А і допустимий опір розтікання струму в заземлювальному пристрої R_d , Ом згідно з ПУЕ залежно від напруги, режиму нейтралі, потужності електроустановок.

2. Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту залежно від коефіцієнта сезонності для відповідної кліматичної зони:

$$\rho_{розр} = \rho_{табл} \cdot K_c, \quad (7.1)$$

де $\rho_{табл}$ – приблизне табличне значення питомого опору ґрунту, яке рекомендується для розрахунку, таблиця 7.1;

K_c – коефіцієнт сезонності, таблиця 7.2.

3. Визначається H – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача (рис. 7.2):

$$H = H_0 + l/2, \quad (7.2)$$

де l – довжина заземлювача, м;

H_0 – глибина закладення заземлювача, м.

4. Визначається опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі, Ом:

$$R_B = \frac{\rho_{роз}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{4H+l}{4H-l} \right). \quad (7.3)$$

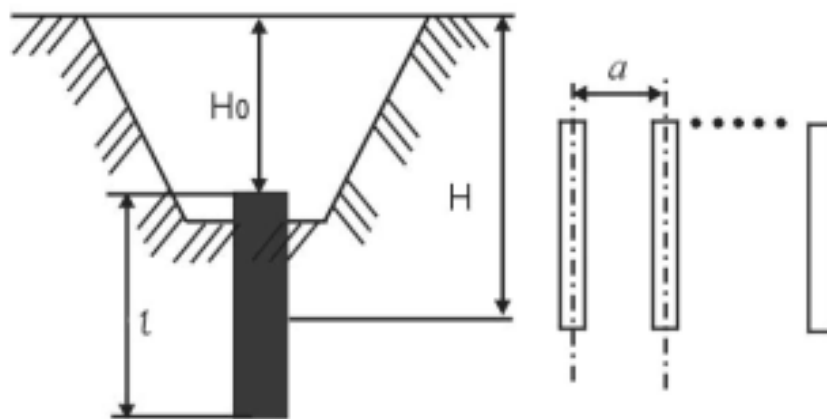


Рисунок 7.2 – Схема розміщення заземлювача в ґрунті

5. Визначається орієнтована кількість $n_{ор}$ вертикальних заземлювачів за формулою:

$$n_{ор} = \frac{R_B}{R_D \cdot \eta_B}, \quad (7.4)$$

де η_B – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів, за $\eta_B = 1$,

$$n_{ор} = \frac{R_B}{R_D}.$$

Таблиця 7.1 – Приблизні значення питомих електричних опорів різних ґрунтів та води, Ом · м

Ґрунт, вода	Можливі межі коливань, ρ	При вологості 10–20 % до маси ґрунту	Рекомендоване значення для приблизних розрахунків
Глина	8–70	40	40
Суглинок	40–150	100	100
Чернозем	9–530	200	200
Торф	10–30	20	20
Садова земля	30–60	40	40
Супісок	150–400	300	300
Пісок	400–700	700	700
Кам'янистий	500–800	–	–
Скелястий	10^4 – 10^7	–	–
Вода:			
морська	0,2–1,0	–	1,0
річкова	10–100	–	80
водоймищ	40–50	–	50
струмкова	10–60	–	60
ґрунтова	20–70	–	50

6. Знаючи орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів $n_{ор}$, їхнє розташування (у ряд чи по контуру) і відношення відстані між заземлювачами

до їх довжини a/l , визначають за таблицею 7.3 або 7.4 коефіцієнт використання η_B вертикальних заземлювачів.

Таблиця 7.2 – Коефіцієнт сезонності $K_{с.в.}$ для однорідної землі при вимірюванні її опору

Кліматична зона	Вологість землі при вимірюванні		
	підвищена	нормальна	мала
1	2	3	4
$K_{с.в.}$ для електрода довжиною $L_B = 3$ м			
I	1,9	1,7	1,5
II	1,7	1,5	1,3

Продовження таблиці 7.2

1	2	3	4
III	1,5	1,3	1,2
IV	1,3	1,1	1,0
$K_{с.в.}$ для електрода довжиною $L_B = 5$ м			
I	1,5	1,4	1,3
II	1,4	1,3	1,2
III	1,3	1,2	1,1
IV	1,2	1,1	1,0

7. Визначається необхідна кількість n_B вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання з формули (7.4):

$$n_B = \frac{R_B}{R_D \cdot \eta_B} = \frac{n_{ор}}{\eta_B}. \quad (7.5)$$

Таблиця 7.3 – Значення коефіцієнта використання вертикальних заземлювачів η_B , розташованих у ряду

Відношення відстані між електродами до їх довжини a/l	Кількість заземлювачів n									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,86	0,81	0,77	0,74	0,72	0,70	0,67	0,65	0,62	0,60
2	0,95	0,92	0,89	0,86	0,84	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73
3	0,97	0,94	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81

Таблиця 7.4 – Значення коефіцієнта використання вертикальних заземлювачів η_B , розташованих по контуру

Відношення відстані між електродами до їх довжини a/l	Кількість заземлювачів n							
	4	8	12	16	20	40	60	100
1	0,66	0,56	0,50	0,47	0,44	0,41	0,39	0,36
2	0,76	0,68	0,65	0,63	0,61	0,58	0,55	0,52
3	0,84	0,77	0,73	0,70	0,68	0,66	0,64	0,62

8. Визначається $R_{\text{розр.в.}}$ – розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при n_B без врахування з'єднувальної смужки.

Приймаємо, що всі вертикальні заземлювачі з'єднані паралельно.

$$R_{\text{розр.в.}} = \frac{R_B}{n_B \cdot \eta_B}. \quad (7.6)$$

9. Визначається довжина з'єднувальної смужки L_c за формулою:

$$L_c = 1,05 \cdot a(n_B - 1). \quad (7.7)$$

10. Визначається опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній смужці), R_r :

$$R_r = 0,366 \frac{\rho_{\text{роз}}}{L_c} \ln \frac{2L_c^2}{H_0 \cdot B_c}, \quad (7.8)$$

де B_c – ширина смужки.

11. Визначаємо η_r – коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при розташуванні вертикальних заземлювачів відповідно до вихідних даних (у ряд, або по контуру) з таблиці 7.5 або 7.6.

Таблиця 7.5 – Значення коефіцієнта використання горизонтального стрічкового електрода η_r , що з'єднує вертикальні заземлювачі, розташовані у ряд

a/l	Кількість заземлювачів n									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,84	0,76	0,71	0,67	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,55
2	0,90	0,85	0,81	0,79	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71
3	0,93	0,90	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78

Таблиця 7.6 – Значення коефіцієнта використання горизонтального стрічкового електрода η_r , що з'єднує вертикальні заземлювачі, розташовані по контуру

a/l	Кількість заземлювачів n									
	4	6	8	10	12	16	20	40	60	100
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,32	0,30	0,27	0,22	0,20	0,19
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,38	0,35	0,32	0,29	0,27	0,23
3	0,70	0,64	0,60	0,56	0,54	0,50	0,45	0,39	0,36	0,33

12. Визначаємо $R_{\text{розр.г.}}$ – розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі (з'єднувальній смужці) з урахуванням η_r :

$$R_{\text{розр.г.}} = R_r / \eta_r. \quad (7.9)$$

13. Визначається $R_{\text{розр}}$ – розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних та горизонтальних заземлювачах, якій має бути не більше R_d :

$$R_{\text{розр}} = \frac{R_{\text{розр.в.}} \cdot R_{\text{розр.г.}}}{R_{\text{розр.в.}} + R_{\text{розр.г.}}} \leq R_{\text{д}}. \quad (7.10)$$

14. Обирається матеріал та переріз з'єднувальних проводів і магістральної шини.

Приклад 1. Розрахунок штучного заземлювального пристрою за відсутності природних заземлювачів.

Початкові дані:

1. Захисту підлягає електрообладнання цеху.

2. Виконання мережі – з ізолюваною нейтраллю. Напруга мережі – 380/220 В.

3. Тип заземлювального пристрою – вертикальні сталеві труби з розмірами:

$l_{\text{в}} = 3$ м; $d_{\text{в}} = 0,035$ м; товщина стінки $\delta = 3,5$ мм; відстань між вертикальними заземлювачами $a = 3$ м, тобто $a/l_{\text{в}} = 1$. Глибина закладання заземлювачів $H_0 = 0,7$ м, $B_{\text{с}} = 35$ мм.

4. Ґрунт – глина; склад – однорідний; вологість – мала. Кліматична зона – III.

Вирішення:

1. Визначаємо $R_{\text{д}}$ – допустиме (нормативне) значення опору розтікання струму в заземлювальному пристрої.

Згідно з ПУЕ для напруги до 1 кВ, $R_{\text{д}} \leq 4$ Ом.

2. Визначаємо розрахунковий питомий опір глини для III кліматичної зони:

$$\rho_{\text{роз}} = \rho_{\text{табл}} \cdot K_{\text{с}},$$

де $\rho_{\text{табл}} = 60$ Ом · м (табл. 7.1);

$K_{\text{с}} = 1,5$ (табл. 7.2).

$$\rho_{\text{роз}} = 60 \times 1,5 = 90 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

3. Визначаємо H – відстань від поверхні землі до середини вертикального заземлювача (див. рис. 7.2):

$$H = H_0 + \frac{l_{\text{в}}}{2} = 0,7 + \frac{3}{2} = 2,2 \text{ м}.$$

4. Визначаємо опір розтікання струму в одному вертикальному заземлювачі:

$$R_{\text{в}} = 0,366 \frac{\rho_{\text{роз}}}{l_{\text{в}}} \left(\ln \frac{2l_{\text{в}}}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+l_{\text{в}}}{4H-l_{\text{в}}} \right),$$

$$R_{\text{в}} = 0,366 \frac{90}{0,035} \left(\ln \frac{2 \times 3}{0,035} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \times 2,2 + 3}{4 \times 2,2 - 3} \right) = 29,2 \text{ Ом}.$$

5. Визначаємо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів при $n_{\text{в}} = 1$:

$$n_{op} = \frac{R_B}{n_B \cdot \eta_B} = \frac{29,2}{4 \times 1} = 7,3.$$

Приймаємо $n_{op} = 7$ шт.

6. Визначаємо коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів η_B з таблиці 7.4, заземлювачі розташовані в ряд, $a/l_B = 1$, $n = 7$. Приймаємо $\eta_B = 0,7$.

7. Визначаємо необхідну кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання:

$$n_B = \frac{n_{op}}{\eta_B} = \frac{7}{0,7} = 9,9.$$

Приймаємо $n_B = 10$ шт.

8. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму у вертикальних заземлювачах при $n_B = 10$ без урахування з'єднувальної смуги:

$$R_{розр.В.} = \frac{R_B}{n_B \cdot \eta_B} = \frac{26,4}{10 \cdot 0,7} = 3,8 \text{ Ом.}$$

9. Визначаємо довжину з'єднувальної смуги:

$$L_c = 1,05 \cdot a(n_B - 1) = 1,05 \times 3 \times 10 = 31,5 \text{ м.}$$

10. За формулою (7.8) для горизонтальних електродів, розташованих у ґрунті, визначаємо опір розтікання струму:

$$R_r = 0,366 \frac{90}{31,5} \ln \frac{2 \times 31,5^2}{0,7 \times 0,04} = 5,48 \text{ Ом.}$$

11. Визначаємо за таблицею 7.5 коефіцієнт використання горизонтального заземлювача при $a/l = 1$, $n = 10$. Приймаємо $\eta_r = 0,56$.

12. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму в горизонтальному заземлювачі з урахуванням η_r :

$$R_{розр.Г.} = R_r / \eta_r = 5,48 / 0,56 = 9,8 \text{ Ом.}$$

13. Визначаємо розрахунковий опір розтікання струму заземлювального пристрою:

$$R_{розр} = \frac{R_{розр.В.} \cdot R_{розр.Г.}}{R_{розр.В.} + R_{розр.Г.}} = \frac{3,8 \times 9,8}{3,8 + 9,8} = 2,7 \text{ Ом.}$$

Отриманий розрахунковий опір розтікання струму відповідає вимогам ПУЕ, ПТЕ та ПТБ.

14. Вибираємо матеріал та поперечний переріз з'єднувальних проводів і магістральної шини за таблицями 1.7.5, 1.7.6 ПУЕ.

Приймаємо сталеву шину товщиною $\delta = 4$ мм і перерізом 100 мм^2 .

Схема з'єднання обладнання з магістральною шиною та з'єднання магістральної шини з заземлювальним пристроєм наведена на рисунку 7.3.

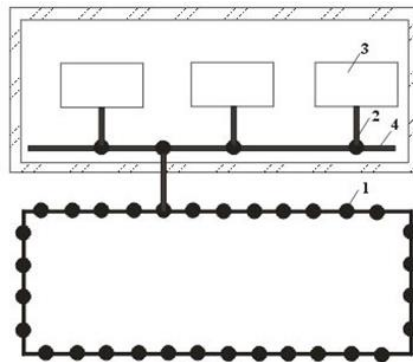


Рисунок 7.3 – Схема захисного заземлення:

- 1 – заземлювальний пристрій; 2 – заземлювальні провідники;
3 – заземлювальне обладнання; 4 – внутрішня магістраль заземлення

7.2 Методи прокладання розподільних і розвідних електричних мереж. Розташування трансформаторних підстанцій

Розподільні мережі залежно від рівня надійності споживачів підрозділяються на такі види:

- найпростіші радіальні мережі з мінімальною надійністю (рис. 7.4, А);
- петлеві схеми (які мають двостороннє живлення) як найпоширеніші для розподільних мереж міста (рис. 7.4, Б);
- петлеві автоматизовані мережі, в яких автоматичне уведення резерву, застосовується для найбільш відповідальних споживачів (рис. 7.5).

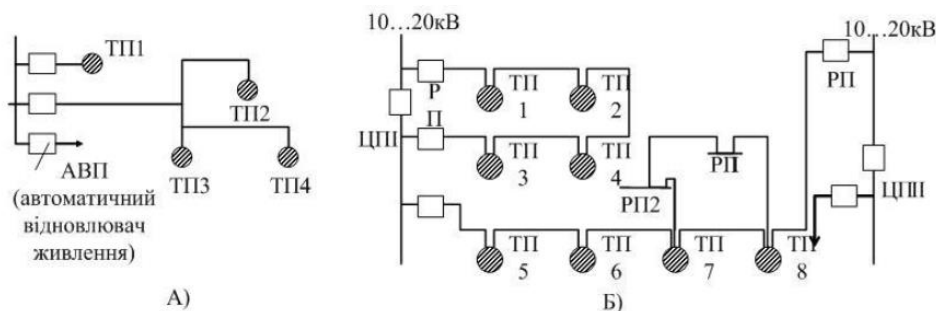


Рисунок 7.4 – Схеми електричних мереж: А) радіальна мережа; Б) петлева схема

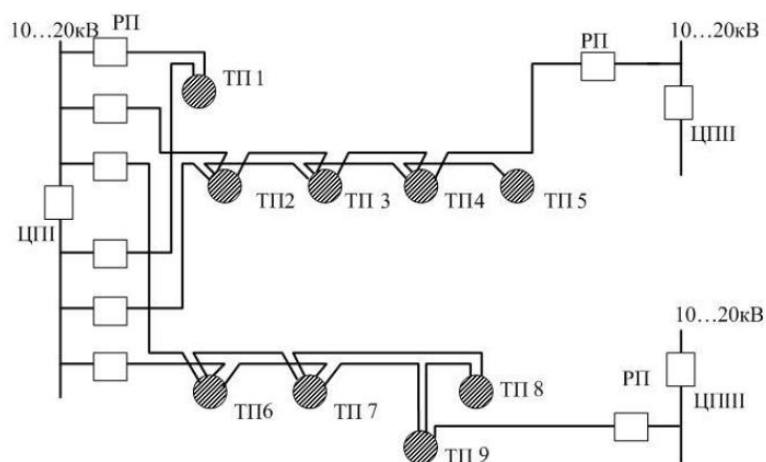


Рисунок 7.5 – Петлева автоматизована мережа

7.2.1 Кабельні електричні мережі. Трансформаторні підстанції

У системах електропостачання міст найбільше поширено прокладення кабелів у траншеях. Можливе прокладання кабелів у азбестоцементних і бетонних трубах. Конструкція кабелів залежить від призначення та напруги електролінії. Струмопровідні жили кабелю виконують із алюмінію та міді.

У прохідних каналах кабелі прокладають без броні, що знижує вартість електроліній, поліпшує їхню профілактику та ремонт. Кабельні лінії розміщують на відстані не менше 2 м від стовбурів дерев та 0,6 м від фундаментів будинків.

Трансформаторні підстанції (далі – ТП) призначені для приймання, зміни рівня напруги та розподілу електричної енергії. Зниження напруги виконують трансформатори. У мікрорайонах рекомендуються закриті ТП, які можуть бути включені у громадські будинки або прибудовані до них, а також виконуватися у вигляді окремих будинків за типовими кресленнями.

Розвідні телефонні мережі ВО від ТРШ прокладають транзитом через технічні підпілля будівель і прохідні «зчіпки» сумісно з розвідними водопроводами, тепловими й електричними мережами. При роздільному методі прокладання телефонні лінії розташовуються на відстані не менше 0,6 м від будівлі.

Вводи виконують у сходові клітки будинку.

ТРШ розташовують на зовнішніх стінах будівель або у сходових клітках. Приклади трасування електричних мереж наведені на рисунках 7.6–7.11.

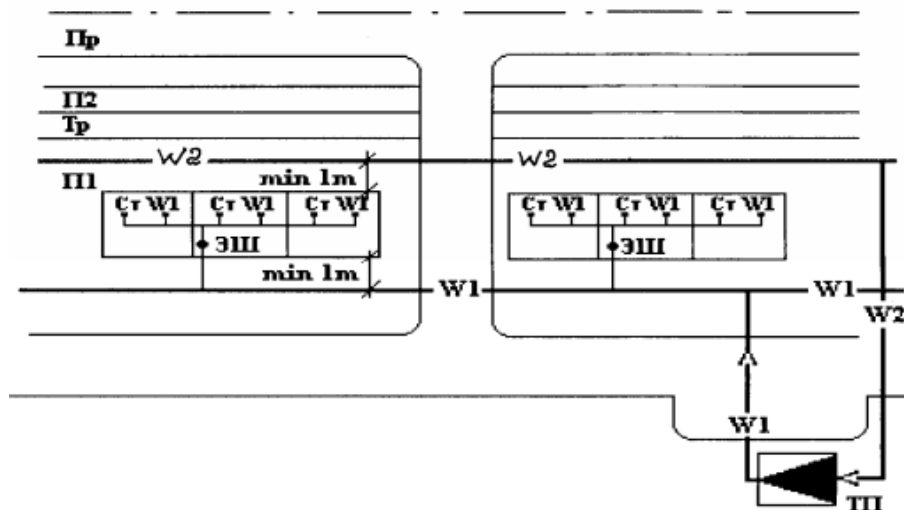


Рисунок 7.6 – Роздільний метод прокладання силових розподільних і розвідних електричних мереж

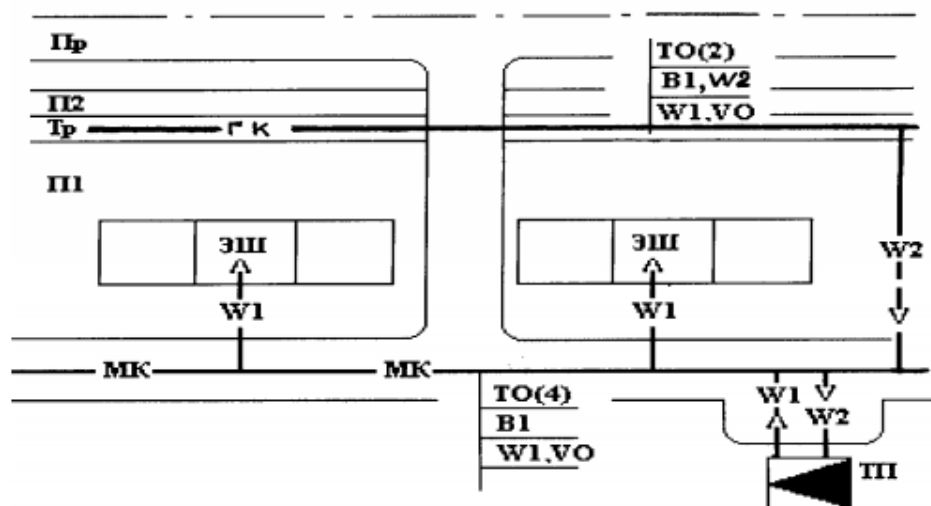


Рисунок 7.7 – Суміщений метод прокладання силових електричних мереж: розподільні – у міському колекторі; розвідні – у мікрорайонному колекторі

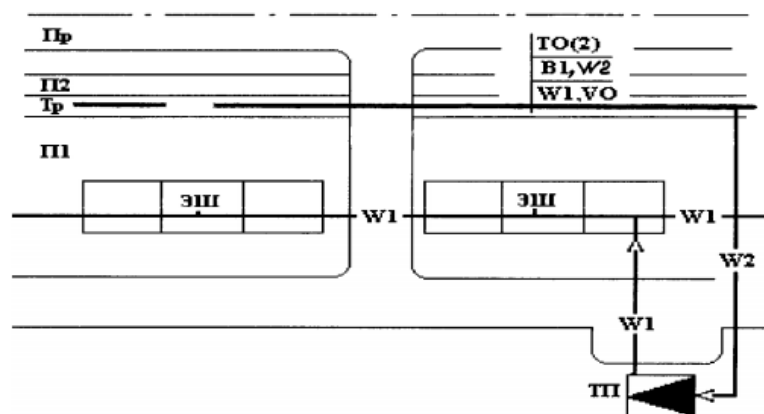


Рисунок 7.8 – Суміщений метод прокладання силових електричних мереж: розподільні – у міському колекторі; розвідні – у технічних підпіллях і «зчіпках»

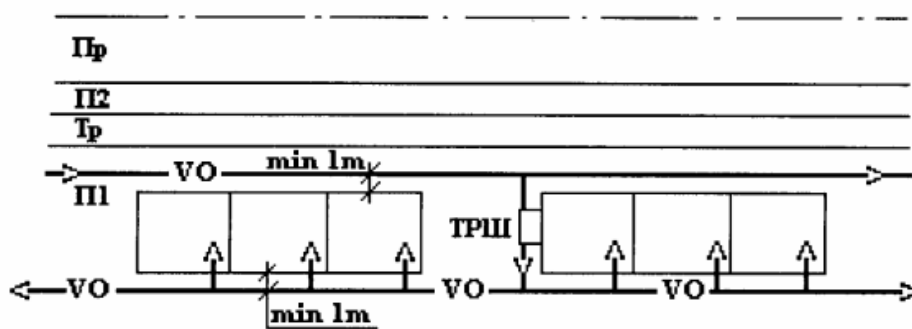


Рисунок 7.9 – Роздільний метод прокладання слабкострумівих електричних мереж

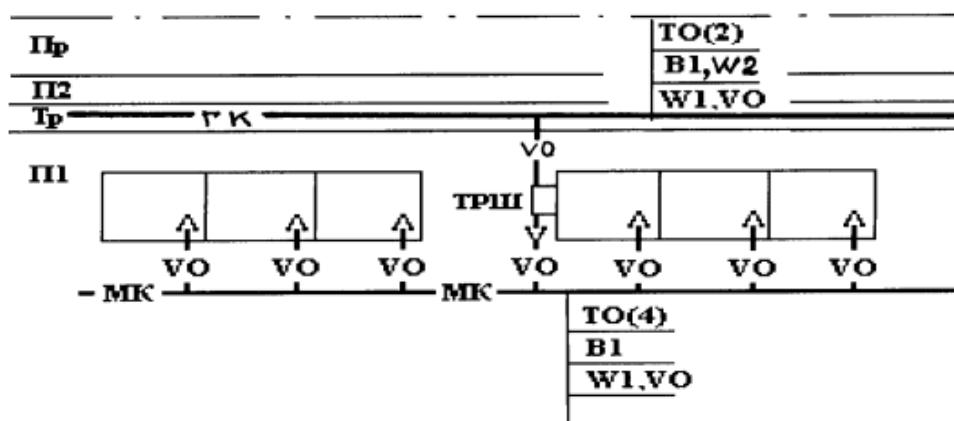


Рисунок 7.10 – Суміщений метод прокладання слабкострумівих електричних мереж: розподільні – у міському колекторі; розвідні – у мікрорайонному колекторі

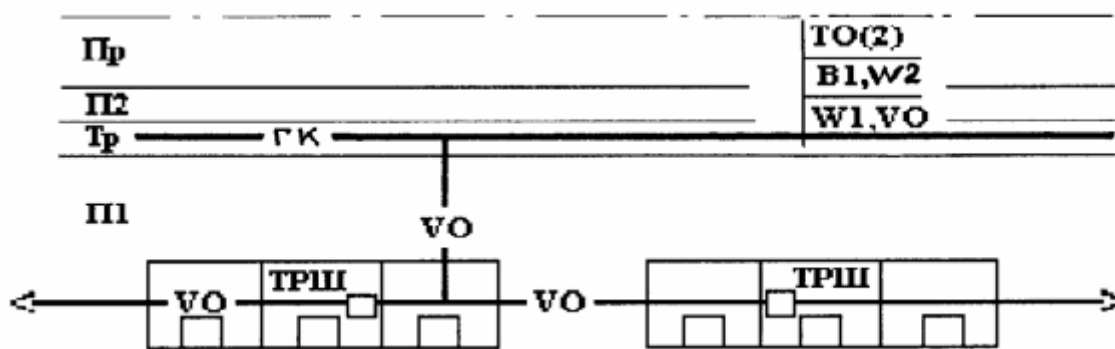


Рисунок 7.11 – Суміщений метод прокладання слабкострумівих електричних мереж: розподільні – у міському колекторі; розвідні – у технічних підпіллях і «зчіпках»

7.3 Визначення електричних навантажень

Методи розрахунку електричних навантажень

Розрахункове електричне навантаження житлових будинків складається з навантажень квартир і загальнобудинкових силових електроприймачів (електродвигунів ліфтів, вентиляторів тощо).

Для житлових будинків відомчі будівельні норми регламентують два характерних режими електроспоживання з застосуванням найбільш типових електроприладів: 1) для газифікованих квартир; 2) квартир із електроплитами.

Розрахункове навантаження квартир $P_{\text{кв}}$ визначають за формулою, кВт:

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.пит}} \cdot n, \quad (7.11)$$

де $P_{\text{кв.пит}}$ — питоме розрахункове навантаження електроприймачів квартир, обладнаних електроплитами, згідно з [13] таблиця 3.1;

n — кількість квартир у будинку.

Розрахункове навантаження ліфтових установок, кВт:

$$P_{\text{л}} = k_{\text{п}} \sum_{i=1}^n P_i, \quad (7.12)$$

де $k_{\text{п}}$ — коефіцієнт попиту, що залежить від кількості ліфтових установок і поверхів будинку, згідно з [13] таблиця 3.5;

n — кількість ліфтів у секції будинку;

P_i — установлена потужність двигунів, $P_i = 4,5$ кВт.

У житлових будинках понад 9 поверхів передбачається система димовідведення. Задля цього на кожній сходовій клітці встановлюють один вентилятор на припливній установці потужністю $P_{\text{п}} = 10$ кВт і один на витяжній установці потужністю $P_{\text{в}} = 10$ кВт.

Приклад 2. Визначити розрахункові навантаження для житлових газифікованих будівель. Один із будинків 40-квартирний, інший 200-квартирний. Житлова площа квартир — 35 м², другий будинок має чотири ліфтових установки ($P_{\text{двиг}} = 5$ кВт).

Вирішення.

Питомі навантаження на квартиру визначають згідно з [13] таблиця 3.1. За формулою (7.11) для розрахункового навантаження лінії, яка живить 40-квартирний будинок (за відсутності нежитлових приміщень і силового навантаження):

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.пит}} \cdot n \cdot 1,05 = 0,8 \times 40 \times 1,05 = 33,6 \text{ кВт},$$

(коефіцієнт 1,05 відображає збільшення на 1 % для 1 м² додаткової (> 30 м²) площі помешкань).

Для лінії, що живить будинки з ліфтовими установками, розрахункове навантаження визначається в той самий спосіб:

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.пит}} \cdot n \cdot 1,05 = 0,5 \times 200 \times 1,05 = 105 \text{ кВт}.$$

Розрахункове навантаження ліфтових двигунів визначається за формулою (7.12). Коефіцієнт попиту ліфтових установок $k_{\text{п}} = 0,8$ (табл. 7.8):

$$P_{\text{л}} = k_{\text{п}} \sum_{i=1}^n P_i = 0,8 \times 20 = 16 \text{ кВт}.$$

Сумарне розрахункове навантаження лінії, що живить другий будинок:

$$P_{\text{р}} = P_{\text{кв}} + \sum k_{\text{н.мах}} \cdot P_{\text{л}},$$

де $K_{н.мах}$ – коефіцієнт незбігу максимумів навантаження від квартир і силових електроприймачів, $K_{н.мах} = 0,9$.

$$P_p = 105 + 0,9 \times 16 = 119,4 \text{ кВт.}$$

8 ТРАСУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ НА ГЕНПЛАНІ МІКРОРАЙОНУ ЧИ МІСТА

8.1 Трасування водопровідних мереж на генплані

Водогінні мережі завжди проєктують як кільцеві мережі. Метод прокладання водогінних мереж роздільний (рис. 8.1) або суміщений. Здебільшого використовується роздільний метод прокладання водогінної мережі.

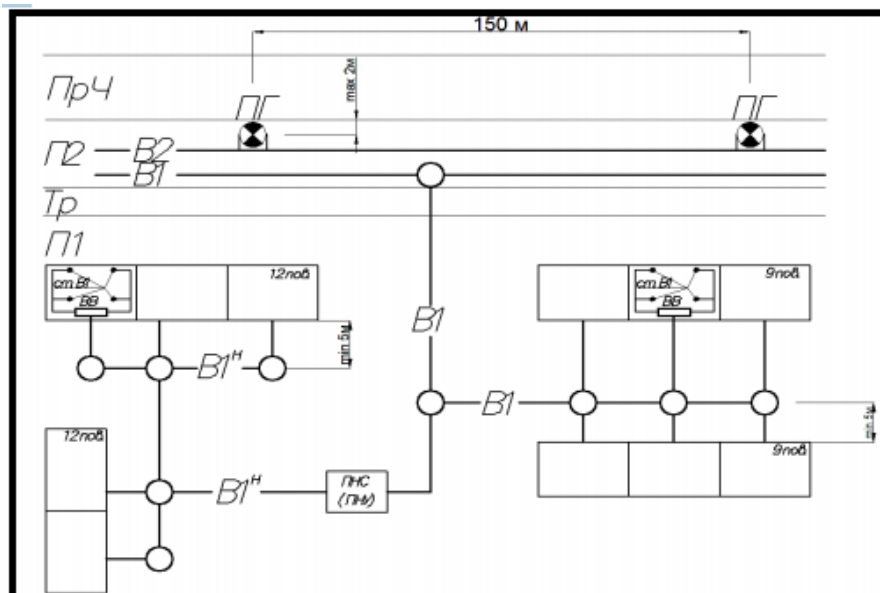


Рисунок 8.1 – Роздільний метод прокладання водогінних мереж

Розподільні водогінні мережі прокладають по вулицях міста: за роздільного методу прокладки – у технічній смузі уздовж проїзної частини, за суміщеного методу – у міському колекторі під тротуаром.

Розвідні водогінні мережі в мікрорайоні беруть свій початок від ПНУ, розташованої в будинку ЦТП. За роздільного методу прокладки водогінні мережі укладають в землі на відстані не менше 5 м до будинку з боку дворових фасадів. У цьому разі водогінні мережі влаштовують з чавунних труб. На відгалуженнях розміщують водопровідні колодязі з запірною арматурою.

Для обліку витрати споживаної води в технічних підпіллях будинків передбачають водоміри. Вони можуть установлюватися на вводах у будинки (у водомірні вузли), стояках і на відгалуженнях у кожному квартиру.

ПНС – підвищувальна насосна станція для підвищення напору в міській водопровідній мережі за наявності в мікрорайоні висотних будівель або складному рельєфі.

8.2 Трасування каналізаційних мереж на генплані

Під час проєктування господарсько-побутової і зливової каналізаційної мережі застосовують роздільний метод прокладки. Збиральні мережі трасують по вулицях у технічній смузі П2 (ПЗ) або по території мікрорайону відповідно до ухилу місцевості.

Приймальні каналізаційні мережі К1 улаштовують з керамічних труб $d = 150\text{--}200$ мм. Кожна секція житлового будинку має один бічний випуск з чавунних труб $d = 100$ мм, що закінчується каналізаційним колодязем на відстані мінімум 3 м від будинку, зазвичай з боку дворового фасаду. Колодязь зі збірних залізобетонних кілець діаметром 1 м не повинен розташовуватися на вході в під'їзд секції.

Залежно від рельєфу місцевості всі колодязі з'єднуються між собою з відводом стічних вод у збиральні мережі.

З'єднання приймальних мереж по ходу води повинне відбуватися під прямим або тупим кутом.

Оглядові колодязі на каналізаційних мережах всіх систем варто передбачати:

- у місцях приєднань;
- у місцях зміни діаметрів трубопроводів та встановлення запірно-регулювальної арматури (вантузів, випусків, засувок, компенсаторів тощо);
- у місцях з'єднання на фланцях пластмасових труб із трубами з інших матеріалів. Для самопливних систем:
 - у місцях зміни напрямку та ухилів;
 - на прямих ділянках, де відстань приймається залежно від діаметра труб: 150 мм – 35 м, 200–450 мм – 50 м, 500–600 мм – 75 м, 700–900 мм – 100 м, 1 000–1 400 мм – 150 м, 1 500–2 000 мм – 200 м, понад 2 000 мм – 250–300 м.

Розміри в плані прямокутних оглядових колодязів або камер господарсько-побутової та виробничої каналізації рекомендується приймати залежно від труби найбільшого діаметра D :

- на трубопроводах діаметром до 600 мм включно – довжину і ширину 1 000 мм;
- на трубопроводах діаметром 700 мм і більше – довжину $D + 400$ мм, ширину $D + 500$ мм.

Діаметри круглих оглядових колодязів рекомендується приймати на трубопроводах діаметрами: до 600 мм – 1 000 мм; 700 мм – 1 250 мм; 800–1 000 мм – 1 500 мм; 1 200 мм – 2 000 мм.

Перепадні колодязі потрібно передбачати:

- для зменшення глибини закладання трубопроводів;
- щоб уникнути перевищення максимально допустимої швидкості руху стічної води або різкої зміни цієї швидкості;
- за необхідності, у місцях перетину з підземними спорудами;
- при затоплених випусках в останньому перед водоймою колодязі.

Дощоприймальні колодязі. Відведення поверхневих стічних вод рекомендується забезпечувати шляхом комплексного вирішення питань організації рельєфу і влаштування відкритої або закритої системи водовідведення: водостічних труб (водостоків), лотків у зборі з водоприймальними ґратками, дощоприймачів, кюветів, зливоприймальних колодязів, локальних очисних споруд.

Приклад трасування приймальної господарсько-побутової та дощової каналізаційної мережі наведено на рисунку 8.2.

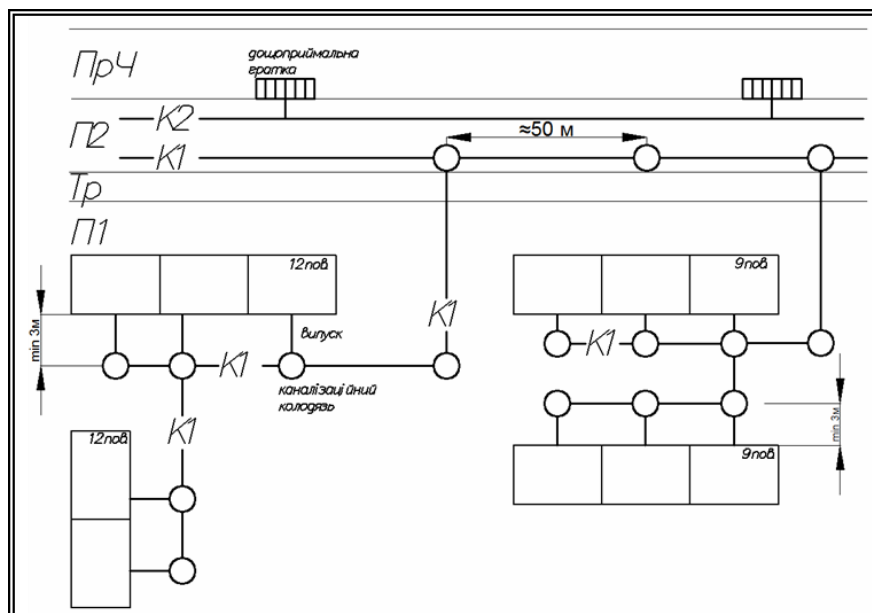


Рисунок 8.2 – Схема приймальної господарсько-побутової та дощової каналізаційної мережі

8.3 Трасування теплових мереж на генплані

Теплові мережі можуть бути як кільцевими, так і тупиковими. Прокладатись як роздільно, так і сумісно з іншими інженерними мережами. Розподільні теплові мережі Т0(2) прокладають по вулицях міста від джерела до інженерних споруд: за роздільного методу прокладки – під тротуаром; за суміщеного методу прокладки в міському колекторі разом з В1, W1, V0 також під тротуаром.

Розвідні теплові мережі Т0(4) виходять із ЦТП до будинків мікрорайону за роздільного методу прокладки в непрохідних каналах, розташованих у землі зазвичай з боку дворових фасадів, на відстані не менше 2 м від фундаментів будинку, а за безканальної прокладки на відстані не менше 5 м. За суміщеного методу прокладки теплові мережі розміщують у прохідному каналі (мікрорайонному колекторі) під мікрорайонними проїздами або в технічних підпіллях будинків і «зчіпках» між ними.

Ввід Т0(4) і відгалуження за транзитного методу прокладки по технічних підпіллях закінчуються індивідуальним тепловим пунктом (ІТП), у якому відбувається зниження температури теплоносія від 150–130 °С до 95–105 °С для подальшої подачі теплоносія в систему опалення будинку. ІТП розміщується в технічних підпіллях будинку. Можлива установка одного ІТП на кілька секцій будинку або одного на весь будинок. За роздільного методу прокладки в місцях відгалужень мережі до будинків установлюють теплові камери із запірною арматурою і контрольно-вимірювальними приладами.

ЦТП – центральний тепловий пункт слугує для транзиту теплоносія на потреби опалення і вентиляції житлових і громадських будівель, а також для приготування гарячої води на потреби гарячого водопостачання; розміщується в центрі теплового навантаження біля проїздів з твердим покриттям, окремою цегляною або залізобетонної будівлі розміром 12 на 12 м.

ІТП – індивідуальний тепловий пункт слугує для регулювання температури і тиску теплоносія в системах опалювання і гарячого водопостачання і подання його у внутрішні системи будівлі; розміщується в підвалі будівлі або на технічному поверсі, один на будівлю або один на декілька секцій. Параметри системи опалювання 95–70 °С. Температура гарячої води не менше 55 °С.

Приклад роздільного методу прокладання теплових мереж наведено на рисунку 8.3.

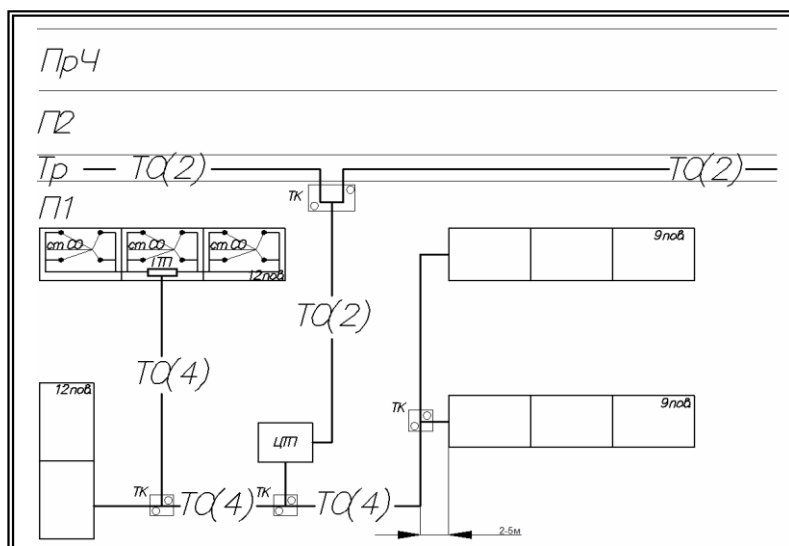


Рисунок 8.3 – Роздільний метод прокладки теплових мереж

8.4 Трасування газопроводів на генплані

Основним завданням газової мережі є безперебійне, надійне і економічне газопостачання споживачів.

Газопроводи низького тиску (Г1) подають газ у внутрішні системи газопостачання будівель від ГРП. До ГРП підводиться газопровід середнього тиску Г2. Газопроводи середнього тиску забороняється прокладати спільно з іншими інженерними мережами, для його прокладення рекомендується використати вільну смугу. Газопровід низького тиску прокладається в землі на глибині 0,8 м і по фасадах будівлі. На введеннях у будівлю встановлюються засувки, крани і ізолювальні фланці.

Газопроводи виконують із сталевих труб електрозварних ДСТУ 8943:2019 з посиленою товщиною стінки. Від дерев газопровід прокладений на відстані 1,5 м.

Розвідні газові мережі низького тиску від ГРП можуть прокладатися у двох варіантах: 1-й варіант – газопроводи зі сталевих труб з посиленою ізоляцією прокладають в землі на відстані 2 м від фундаменту будинку. Ввід у будинок роблять у сходові клітки; 2-й варіант – газопроводи, пофарбовані олійною фарбою, прокладають переважно по дворових фасадах житлових будинків вище вікон 1-го поверху і між будинками під землею. Вводи в будинок улаштовують безпосередньо в кухні. Якщо кухні знаходяться з боку вуличного фасаду, то ввід роблять у сходові клітки (рис. 8.4).

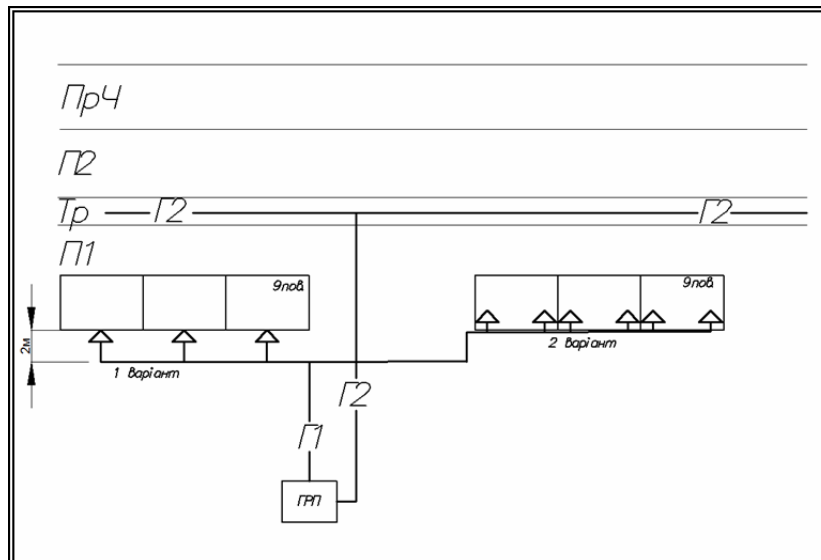


Рисунок 8.4 – Методи прокладання газових мереж:

1-й варіант – Г1 у землі (ввід до сходової клітки); 2-й варіант – Г1 по фасадах будинків (ввід безпосередньо до кухонь)

8.5 Трасування електричних мереж на генплані

Методи прокладки силових електричних мереж роздільний або суміщений.

Розподільні W0 мережі прокладають по вулицях міста в технічній смузі П1 (П4) паралельно лінії забудови на відстані не менше 1 м від фундаментів будинків – за роздільного методу прокладки; у міському колекторі разом з Т0, В0, V0 під тротуаром – за суміщеного методу прокладки.

Розвідні електричні мережі W1 від ТП до будинків мікрорайону за роздільного методу прокладають в землі на відстані не менше 0,6 м від будинку або паралельно мікрорайонним проїздам на відстані 1 м. За суміщеного методу W1 прокладають від ТП перпендикулярно через проїзд у технічне підпілля будинку або в мікрорайонний колектор.

Від розвідних електричних мереж, що проходять через технічні підпілля будинків і прохідні «зчіпки», роблять відгалуження до електричних щитів, встановлюваних у сходових клітках.

ТП – трансформаторна підстанція слугує для зниження напруги електричного струму до 220–380 В і розподілу його всередині мікрорайону серед споживачів. Розміщуються біля проїздів з асфальтобетонним покриттям, виконуються у вигляді цегляної, залізобетонної або металевої будівлі (кількість ТП визначається розрахунком). Розмір залежить від розташованого усередині устаткування, стандартний розмір 3 м × 6 м, 6 м × 6 м. Кількість визначається з розрахунку 1 ТП на 3 000 жителів.

Приклад роздільного методу прокладання силових розподільних і розвідних електричних мереж наведено на рисунку 8.5.

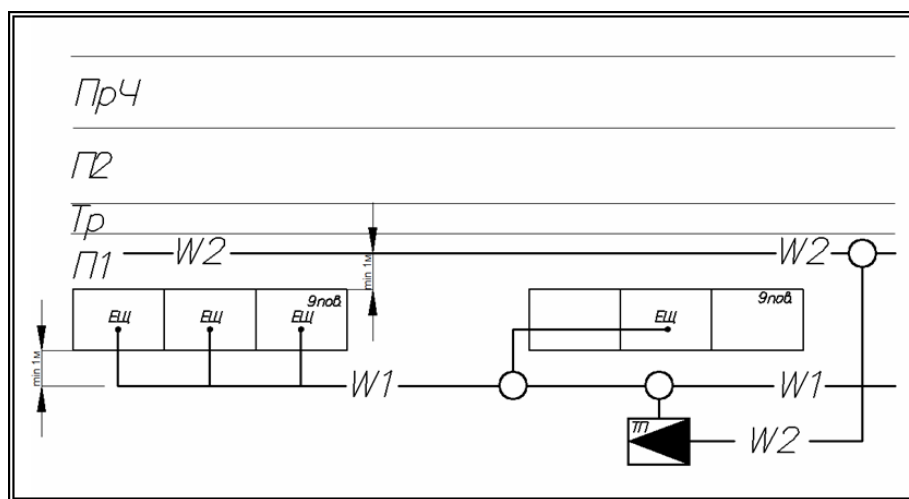


Рисунок 8.5 – Роздільний метод прокладання силових розподільних і розвідних електричних мереж

Слабкострумові мережі

Телефонні кабельні мережі є необхідною приналежністю міського господарства. Основи прокладки і влаштування цих мереж збігаються з принципами побудови силових електричних мереж.

Джерелом телефонізації слугує автоматична (автоматизована) телефонна станція (АТС). Введення кабелів у будинок від міської АТС здійснюється з телефонних розподільних шаф (ТРШ), установлюваних на зовнішніх стінах і в сходових клітках будинків або безпосередньо від комутаційного щита міської телефонної мережі.

При шафовій системі побудови міської телефонної мережі залежно від телефонної щільності застосовуються розподільні шафи ємністю 1 200 × 2, 600 × 2 і 300 × 2. Розподільні шафи залежно від місця установки підрозділяються: на вуличні типу ТРШ і для установки всередині будівель типу ТРШ-П. Найбільше поширені шафи типу ТРШ-П. Вуличні шафи використовуються у виняткових випадках.

Розвідні телефонні мережі V0 від ТРШ прокладають транзитом через технічні підпілля будинків і прохідні «зчіпки» разом з розвідними водопровідними В1, тепловими Т0(4) і електричними W1 мережами. За роздільного методу прокладки мережі V0 розміщують на відстані не менше 0,6 м від будинку. Ввід роблять в одну зі сходових кліток будинку.

Приклад роздільного методу прокладання слабкострумових електричних мереж наведено на рисунку 8.6.

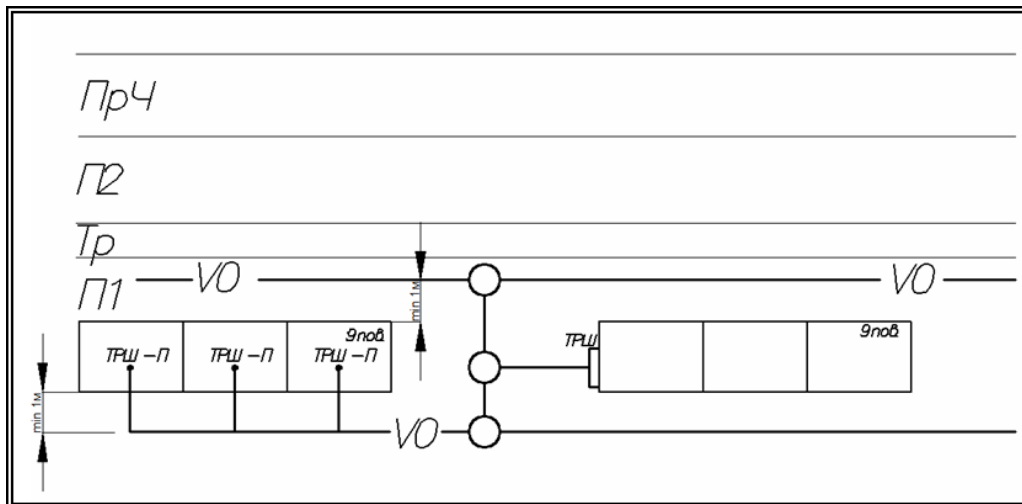


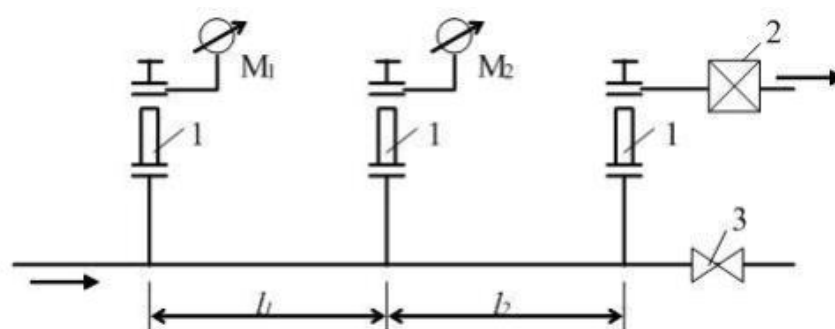
Рисунок 8.6 – Роздільний метод прокладання слабкострумівих електричних мереж

9 ЕКСПЛУАТАЦІЯ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ

9.1 Випробування інженерних мереж

Способи «скиданням води»

Першим способом проводяться випробування на лініях мережі діаметром $d \leq 300$ мм. Для випробувань вибирають ділянку, на якій розташовані три пожежні гідранти. На перших двох встановлюються стендери зі зразковими манометрами для фіксації напору в цих точках і визначення по них втрат напору. На третьому гідранті встановлюється стендер, через який відбувається скидання води (рис. 9.1).



M_1, M_2 – манометри, 1 – стендери, 2 – водомір, 3 – засувка.

Рисунок 9.1 – Схема виміру гідравлічного опору труб діаметром $d \leq 300$ мм

До початку випробувань перевіряється надійність закриття засувки 3. При закритих засувках і відсутності скидання через гідрант показання манометрів М1 і М2 будуть відрізнятися на величину різниці їх геодезичних позначок.

Фактичний питомий опір трубопроводів визначається за формулою:

$$A_{\text{факт}} = \frac{\Delta h}{l \cdot Q^2},$$

де $\Delta h = (M_1 + Z_1) - (M_2 + Z_2)$ – різниця в показаннях манометрів при скиданні води, м;

l – відстань між манометрами, м;

Z_1 і Z_2 – геодезичні позначки манометрів, м;

Q – витрата води, яка скидається під час випробувань, м³/с.

Ступінь заростання трубопроводу буде характеризуватися відношенням:

$$k_c = \frac{A_{\text{факт}}}{A_{\text{табл}}},$$

де k_c – коефіцієнт збільшення опору;

$A_{\text{табл}}$ – питомий опір трубопроводу.

Другий і третій способи є модифікаціями першого. Вони дозволяють шляхом збільшення контрольної витрати з похибкою 5...10 % визначити опори ділянок мережі, діаметри трубопроводів яких не більше 500 мм.

Спосіб трьох манометрів

За «способом трьох манометрів» (рис. 9.2) вибирається ділянка, на якій встановлюються три манометри, частина транзитної витрати води скидається між першим і третім приладами. При цьому контролюють напір у всіх трьох точках.

Питомий опір визначається за формулою:

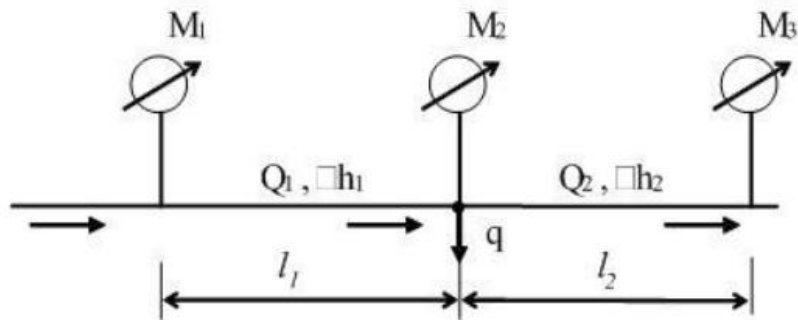
$$A_{\text{факт}} = \frac{1}{Q^2} \cdot \left(\sqrt{\frac{\Delta h_1}{l_1}} - \sqrt{\frac{\Delta h_2}{l_2}} \right)^2,$$

де Δh_1 і Δh_2 – втрати напору на ділянках довжиною l_1 і l_2 відповідно.

Для отримання результатів з похибкою до 5 % достатньо скидати витрату, яка становить не менше 10...15 % від транзитної витрати Q_1 .

Контрольні випробування на витоки виконуються одним з таких способів:

- за допомогою водомірів;
- шляхом визначення зниження рівня води в баку водонапірної споруди або стояку;
- за допомогою манометрів;
- за допомогою контактних індикаторів тиску;
- аналітично.



M_1, M_2, M_3 – манометри, Q_1, Q_2 – витрати води на ділянках.

Рисунок 9.2 – Схема виміру опору трубопроводу «способом трьох манометрів»

Випробування водомірами

Випробування за допомогою водомірів можуть виконуватись за кількома варіантами:

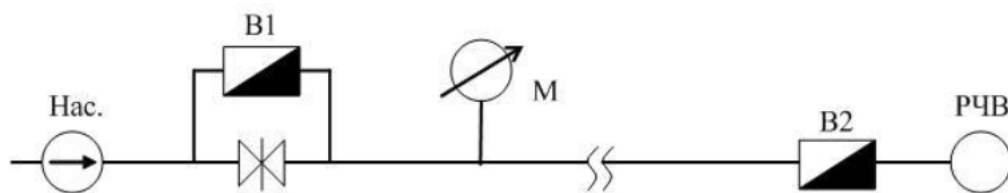
- за допомогою двох водомірів (рис. 9.3), які встановлюються на початку і в кінці ділянки (різниця показань дасть величину витоку);
- якщо немає можливості встановити лічильник на мережі, яка перевіряється, то його встановлюють на обвідній лінії (рис. 9.4). Величина витоку також визначається за різницею показань водомірів;
- за допомогою водоміра і манометра (рис. 9.5). Засувки на початковій і кінцевій ділянках перекриваються. Величина витоку визначається водоміром, за допомогою манометра контролюють робочий тиск, який підтримується постійним.

Інші методи визначення витоків базуються на фіксації зміни рівнів води у водонапірних баках, трубопроводах. При визначенні величини витоку за зміною показників манометра враховують, що 0,1 МПа відповідає 10,33 м вод. ст. Місця витоків можуть визначатися за характерним шумом.



M – манометр, $B1, B2$ – водоміри (лічильники), $РЧВ$ – резервуар чистої води

Рисунок 9.3 – Схема випробування за допомогою водомірів (1 варіант)



М–манометр, B1,B2–водоміри (лічильники), РЧВ–резервуар чистої води, Нас. – насос

Рисунок 9.4 – Схема випробування за допомогою водомірів (2 варіант)

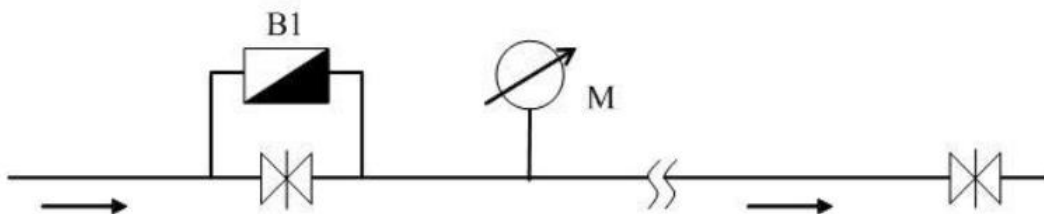


Рисунок 9.5 – Схема випробування за допомогою водомірів (3 варіант)

Розрахунок трубопроводів на міцність за підземного прокладання

Розрахунок на міцність трубопроводів із полімерних матеріалів, прокладених безканально, рекомендується зводити до дотримання нерівності:

– для напірних трубопроводів:

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{pp}} + \frac{\varepsilon - \varepsilon_c}{\varepsilon_{pp}} \leq 1,0, \quad (9.1)$$

– для самопливних трубопроводів:

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{pp}} + \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{pp}} \leq 1,0, \quad (9.2)$$

де ε_p – максимальне значення деформації розтягу матеріалу в стінці труби через овальність поперечного перерізу труби під дією ґрунтів $q_{гр}$, МПа, і транспортних навантажень, q_T , МПа;

ε – ступінь розтягу матеріалу стінки труби від внутрішнього тиску води в трубопроводі;

ε_c – ступінь стиску матеріалу стінки труби від впливу зовнішніх навантажень на трубопровід;

ε_{pp} – гранично-допустиме значення деформації розтягу матеріалу в стінці труби, що відбувається в умовах релаксації напружень;

ε_{pp} – гранично допустима деформація розтягу матеріалу в стінці труби в умовах повзучості.

Значення ε_p може бути визначене за формулою 9.3:

$$\varepsilon_p = 4,27 \cdot K_\sigma \frac{s}{D} \psi \cdot K_{3\psi}, \quad (9.3)$$

де K_{σ} – коефіцієнт, що враховує якість ущільнення, його можна приймати: за ретельного контролю – 0,75, за періодичного контролю – 1,0, за відсутності контролю – 1,5;

K_{ψ} – коефіцієнт запасу на овальність поперечного перерізу труби, приймається рівним: 1,0 – для напірних і самопливних трубопроводів і 2 – для дренажних трубопроводів;

ψ – відносне скорочення вертикального діаметра труби в ґрунті, встановлюється як гранично допустиме значення:

$$\psi = \psi_{ГР} + \psi_{Т} + \psi_{М}, \quad (9.4)$$

де $\psi_{ГР}$ – відносне скорочення вертикального діаметра труби під дією ґрунтового навантаження;

$\psi_{Т}$ – те саме, під дією транспортних навантажень;

$\psi_{М}$ – відносне скорочення вертикального діаметра труби, що утворилося в процесі складування транспортування й монтажу. Його можна приблизно приймати за таблицею 9.1.

Таблиця 9.1 – Значення відносного скорочення вертикального діаметра труби, що утворилося в процесі складування транспортування й монтажу

Кільцева твердість G_0 оболонки труби, Па	$\psi_{М}$ за ступеня ущільнення ґрунту		
	до 0,85	0,85–0,95	більше 0,95
До 276 000	0,06	0,04	0,03
276 000–290 000	0,04	0,03	0,02
Більше 290 000	0,02	0,02	0,01

$$\psi_{ГР} = K_{OK} \frac{K_{\tau} \cdot K_W \cdot q_{ГР}}{K_{Ж} \cdot G_0 + K_{ГР} \cdot E_{ГР}}, \quad (9.5)$$

де K_{τ} – коефіцієнт, що враховує запізнення овальності поперечного перерізу труби в часі й залежний від типу ґрунту, ступеня його ущільнення, гідрогеологічних умов, геометрії траншеї, може приймати значення від 1 до 1,5;

K_W – коефіцієнт прогину, що враховує якість підготовки ложа й ущільнення, можна приймати: за ретельного контролю – 0,09, за періодичного – 0,11, за безконтрольного ведення робіт – 0,13;

$K_{ГР}$ – коефіцієнт, що враховує вплив ґрунту засипання на овальність поперечного перерізу трубопроводу, можна прийняти рівним 0,06;

$E_{ГР}$ – модуль деформації ґрунту в траншеї, МПа;

$K_{Ж}$ – коефіцієнт, що враховує вплив кільцевої жорсткості оболонки труби на овальність поперечного перерізу трубопроводу, можна приймати рівним 0,15.

$$q_{ГР} = \gamma_{п} \cdot h, \quad (9.6)$$

де $\gamma_{п}$ – питома вага ґрунту, Н/м³;

h – глибина засипання трубопроводу від поверхні землі до рівня горизонтального діаметра, м;

G_0 – короткочасна кільцева жорсткість оболонки труби, МПа:

$$G_0 = 53,7 \frac{E_0 l}{(1-\nu^2)(D-e)^3}, \quad (9.7)$$

де E_0 – короткочасний модуль пружності при розтягу матеріалу труби, МПа;

l – момент інерції перерізу труби на одиницю довжини:

$$l = \frac{e^3}{12}, \quad (9.8)$$

ν – коефіцієнт Пуассона матеріалу труби, наводиться в нормативній документації.

$$\psi_T = K_{OK} \frac{K_y \cdot q_T}{K_{Ж} \cdot G_0 + K_{ГР} \cdot n \cdot E_{ГР}}, \quad (9.9)$$

де K_y – коефіцієнт ущільнення ґрунту, $K_y = 1$;

q_T – транспортне навантаження, прийняте за довідковими даними для гусеничного, колісного й іншого транспорту, МПа;

n – коефіцієнт, що враховує глибину закладення трубопроводу при (Н) $h < 1$ $n = 0,5$;

K_{OK} – коефіцієнт, що враховує процес округлення овалізованої труби під дією внутрішнього тиску води у водопроводі P , МПа (для розрахунку приймається $K_{OK} = 1$ МПа):

$$K_{OK} = \frac{1}{1+2 \cdot P/q_c \cdot \psi}, \quad (9.10)$$

де q_c – сумарне зовнішнє навантаження на трубопровід, МПа:

$$q_c = q_{ГР} + q_T, \quad (9.11)$$

$$\varepsilon = \frac{P}{2 \cdot E} \cdot \frac{D}{e}, \quad (9.12)$$

$$\varepsilon_c = \frac{q_c}{2 \cdot E} \cdot \frac{D}{e}, \quad (9.13)$$

$$\varepsilon_{pp} = \frac{\sigma_0}{E_t \cdot K_3}, \quad (9.14)$$

де σ_0 – короткочасна розрахункова міцність при розтягу матеріалу труби $\sigma_0 = 22,5$, МПа;

e – товщина стінки трубопроводу, мм/см (залежно від розрахункової формули);

E_t – коротко- і довгострокове значення модуля пружності при розтягу матеріалу труби на кінець терміну експлуатації трубопроводу $E_t = 300$, МПа.

$$\varepsilon_{pp} = \frac{\sigma_0}{E \cdot K_3}, \quad (9.15)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу, повинен наводитися в нормативних документах $K_3 = 1,25$.

Якщо в результаті розрахунків значення лівої частини виразу $\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_{pp}} + \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{pp}} \leq 1,0$ буде більше 1, то варто повторити розрахунки за інших характеристик матеріалу труб або укладання трубопроводу.

Приклад 1. Розрахувати на міцність трубопровід з поліетиленової труби марки Мультипайп ІІІ ПЕ100-RC SDR17-315 × 18,7 мм. Питома вага ґрунту $\gamma_{\text{п}} = 18\,400$ Н/м³, глибина залягання трубопроводу – 2,3 м, модуль деформації ґрунту в траншеї $E_{\text{гр}} = 10$ МПа, транспортне навантаження $q_{\text{т}} = 0,008\,9$ МПа, короткочасний модуль пружності при розтягу матеріалу труби $E_0 = 900$ МПа, коефіцієнт Пуассона матеріалу труби $\nu = 0,32$, тиск води у водопроводі $P = 1$ МПа, на об’єкті безконтрольний метод проведення робіт, ступінь щільності ґрунту більше 0,95.

Вирішення:

1. Навантаження на трубопровід від ґрунту, МПа:

$$q_{\text{гр}} = 18\,400 \times 2,3 = 42\,320 \text{ Па} = 0,042\,3 \text{ МПа}.$$

2. Момент інерції перерізу труби на одиницю довжини:

$$I = \frac{1,87^3}{12} = 0,545.$$

3. Короткочасна кільцева жорсткість оболонки труби, МПа:

$$G_0 = 53,7 \frac{900 \cdot 0,545}{(1 - 0,32^2)(31,5 - 1,87)^3} = 1,128 \text{ МПа}.$$

4. Сумарне зовнішнє навантаження на трубопровід, МПа:

$$q_c = 0,042\,3 + 0,008\,9 = 0,051\,2 \text{ МПа}.$$

5. Відносне скорочення вертикального діаметра труби під дією ґрунтового навантаження:

$$\psi_{\text{ГР}} = 1 \frac{1,5 \times 0,13 \times 0,042 \text{ 3}}{0,15 \times 1,128 + 0,06 \times 10} = 0,010 \text{ 7.}$$

6. Відносне скорочення вертикального діаметра труби під дією транспортних навантажень:

$$\psi_{\text{Т}} = 1 \frac{1 \times 0,008 \text{ 9}}{0,15 \times 1,128 + 0,06 \times 0,5 \times 10} = 0,019.$$

7. Відносне скорочення вертикального діаметра труби в ґрунті:

$$\psi = 0,010 \text{ 7} + 0,019 + 0,019 = 0,048 \text{ 7.}$$

8. Максимальне значення деформації розтягу матеріалу в стінці труби через овальність поперечного перерізу труби:

$$\varepsilon_{\text{р}} = 4,27 \times 1,5 \frac{18,7}{315} 0,048 \text{ 7} \times 1 = 0,018 \text{ 5.}$$

9. Ступінь розтягу матеріалу стінки труби від внутрішнього тиску води в трубопроводі:

$$\varepsilon = \frac{1}{2 \times 900} \times \frac{315}{18,7} = 0,009 \text{ 4.}$$

10. Ступінь стиску матеріалу стінки труби від впливу зовнішніх навантажень на трубопровід:

$$\varepsilon_{\text{с}} = \frac{0,051 \text{ 2}}{2 \times 900} \times \frac{315}{18,7} = 0,000 \text{ 47.}$$

11. Гранично-допустиме значення деформації розтягу матеріалу в стінці труби, що відбувається в умовах релаксації напружень:

$$\varepsilon_{\text{рр}} = \frac{22,5}{300 \times 1,25} = 0,06.$$

12. Гранично допустима деформація розтягу матеріалу в стінці труби в умовах повзучості:

$$\varepsilon_{\text{рп}} = \frac{22,5}{900 \times 1,25} = 0,02.$$

13. Перевірка:

$$\frac{0,018 \text{ 5}}{0,06} + \frac{0,009 \text{ 4} - 0,000 \text{ 47}}{0,02} = 0,755 \leq 1,0.$$

Обраний трубопровід Мультипайп ІІІ ПЕ100-RC SDR17-315x18,7 для напірного трубопроводу відповідає вимогам щодо міцності та може бути застосований для такого типу прокладання.

9.2 Підвищення надійності систем водопостачання, водовідведення

Підвищення надійності систем водопостачання, теплопостачання

Для забезпечення нормальної роботи каналізаційної мережі систематично роблять зовнішній і технічний огляди.

Зовнішній огляд полягає у перевірці стану колодязів, рівня стічних вод у лотках, виявлення просідань ґрунту уздовж траси.

Технічний огляд здійснюють для визначення технічного стану мережі та гідравлічних умов її роботи (виконується 1–2 рази на рік). Зміни гідравлічного режиму в каналізаційних мережах, несприятливий рельєф і випадкове попадання в труби предметів, які не транспортуються стічною водою, приводить до необхідності профілактичного очищення мережі. Періодичність очищення залежить від місцевих умов, проводиться 2...3 рази у рік.

Гідравлічне очищення ґрунтується на здатності потоку стічної води до розмиву і транспортування. Створений штучно потік із підвищеними швидкостями розмиває і транспортує осад униз за течією.

Для гідравлічного очищення плаваючими снарядами застосовуються надувні гумові кулі, укладені в брезентову оболонку, дерев'яні суцільні або металеві порожні циліндри.

У разі застосування механічного очищення видалення осаду здійснюється шляхом транспортування і підйому на поверхню землі.

Для підвищення надійності мережі проводиться поточний і капітальний ремонт.

Підвищення надійності систем електро- та теплопостачання

Централізоване теплопостачання є важливим елементом енергетичної системи міст, населених пунктів і промислових підприємств. Для управління централізованим теплопостачанням створюються спеціалізовані підприємства – теплові мережі (тепломережі).

Важливими задачами експлуатації теплових мереж є вдосконалення теплового обладнання та режимів його експлуатації, розробка протиаварійних та профілактичних заходів, складання інструкцій з обслуговування теплових мереж, насосних і теплових підстанцій, аналіз аварійних ситуацій на теплових мережах, складання технічної звітності і документації.

Одним із сучасних методів підвищення надійності роботи системи теплопостачання в опалювальний період є своєчасна заміна ділянок теплових мереж, зруйнованих у результаті корозійних процесів. Визначення таких ділянок проводиться шляхом гідравлічного випробування мережі при підвищеному тиску в літній період.

У завдання служби експлуатації електричних мереж входять профілактичні заходи, перевірка стану ізоляції кабельної мережі, облік і зниження втрат енергії в електричних мережах, ремонт кабельних ліній. Для виявлення дефектів кабельних ліній проводяться періодичні обходи мереж з робочою напругою до 10 кВ 1 раз на місяць. Траси кабелів по міській території і території підприємств перевіряються один раз у 3 місяці.

Профілактичні випробування кабельних ліній дозволяють виявити дефекти та забезпечити своєчасне їхнє усунення. Періодичність контролю для кабельних мереж, які знаходяться в нормальних експлуатаційних умовах, установлена не рідше одного разу в 3 роки.

9.3 Захист газопроводів від корозії

Протекторний захист

Протекторний захист (рис. 9.7) газопроводів заснований на принципі гальванічних пар. Як гальванічний анод (протектор) використовують метали з більшим від'ємним порівняно з металом трубопроводу або іншого об'єкта, що захищається, стаціонарним потенціалом. При підключенні протектора, який знаходиться в корозійно небезпечному середовищі, з об'єктом, що захищається, утворюється гальванічний елемент (його анодом є протектор, а катодом – об'єкт, що захищається) і виникає електрорушійна сила (е. р. с.).

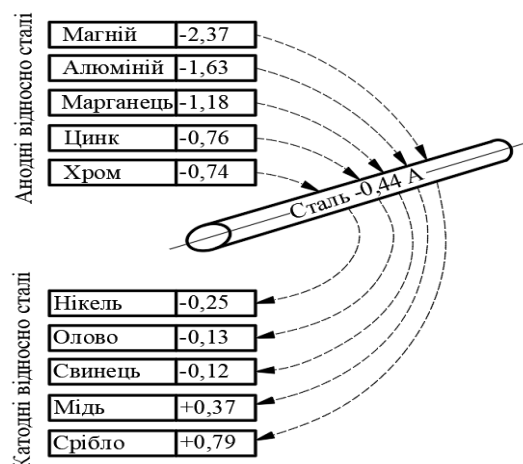


Рисунок 9.6 – Електричні потенціали

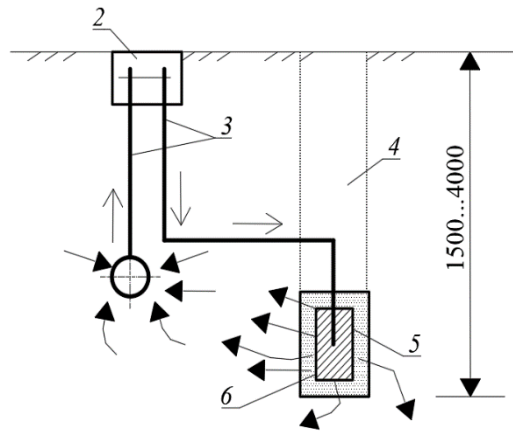


Рисунок 9.7 – Принципова схема протекторного захисту:

1 – газопровід; 2 – контрольно-вимірювальний пункт; 3 – кабель; 4 – шурф;
5 – сталевий сердечник; 6 – активатор

Катодний захист

Катодна поляризація металевих споруд і газопроводів за допомогою зовнішніх джерел постійного струму отримала назву катодного захисту.

Установка катодного захисту (УКЗ) складається з джерела постійного струму, анодного заземлювача, контактної пристрою на об'єкті, що захищається, електрода порівняння тривалої дії з датчиком електрохімічного потенціалу, з'єднувальних ліній постійного струму, захисного заземлення.

Як джерела постійного струму серійно випускаються вітчизняною промисловістю автоматичні перетворювачі – випрямлячі катодного захисту.

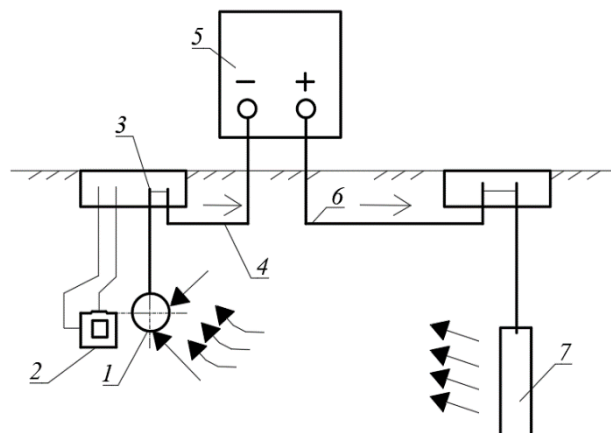


Рисунок 9.8 – Принципова схема катодного захисту:

1 – газопровід; 2 – електрод порівняння тривалої дії з датчиком електрохімічного потенціалу; 3 – контактний пристрій; 4 – кабель дренажний;
5 – перетворювач катодного захисту (джерело постійного струму); 6 – кабель з'єднувальний; 7 – анодний заземлювач

Електричний дренаж

Електричний дренаж – це організоване відведення блукаючих струмів від газопроводу, що захищається, до їхніх (струмів) джерела. Розрізняють три види електричного дренажу: прямий, поляризований і посилений. Кожний з них виконується шляхом підключення газопроводу через дренажний пристрій до від'ємної шини тягової підстанції або рейки електрифікованого транспорту.

Для підземних газопроводів найбільш ефективний комплексний захист від корозії – це поєднання пасивного і активного методів захисту.

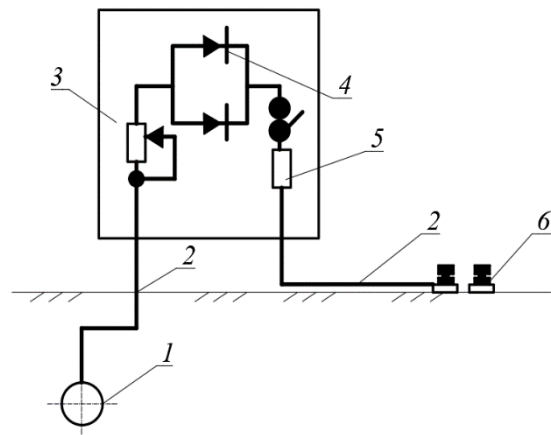


Рисунок 9.9 – Принципова схема поляризованого електродренажу:
1 – газопровід; 2 – кабель; 3 – реостат; 4 – діод; 5 – запобіжник; 6 – трамвайна колія

II САМОСТІЙНА РОБОТА

ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 1

Теоретичні питання:

1. Як класифікують інженерні мережі, поясніть їхнє призначення.
2. Як класифікують системи водопостачання?
3. Як класифікують інженерні мережі, поясніть їхнє призначення.
4. Яку роль відіграють інженерні мережі у структурі міста?

Практичні питання:

Задача 1

Визначити максимальні секундні, максимально годинні та середньо-годинні витрати води відповідно до даних таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані до задачі 1

Ч. ч.	Призначення (житлові будинки або будівлі)	Кількість приладів, шт.	Місце розташування	Кількість мешканців (працівників)	Гаряче водопостачання	Ступінь благо- устрою*
1	2	3	4	5	6	7
1	Житлові будинки	800	Харків	800	Централізоване	1
2	Житлові будинки	900	Київ	700	Децентралізоване	2
3	Житлові будинки	1 000	Миколаїв	880	Централізоване	3
4	Житлові будинки	1 500	Одеса	1200	Децентралізоване	1
5	Житлові будинки	1 500	Суми	1350	Централізоване	2
6	Житлові будинки	2 000	Львів	1700	Децентралізоване	3
7	Житлові будинки	2 500	Ужгород	2200	Централізоване	1
8	Житлові будинки	3 000	Вінниця	2250	Децентралізоване	2
9	Житлові будинки	3 500	Луцьк	3300	Централізоване	3
10	Житлові будинки	3 000	Житомир	2800	Децентралізоване	1
11	Громадська будівля	20	Тернопіль	100	Децентралізоване	0

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
12	Громадська будівля	30	Херсон	150	Централізоване	0
13	Громадська будівля	40	Чернігів	200	Централізоване	0
14	Громадська будівля	50	Черкаси	250	Децентралізоване	0
15	Громадська будівля	60	Полтава	300	Централізоване	0
16	Громадська будівля	70	Харків	350	Децентралізоване	0
17	Громадська будівля	80	Рівне	400	Централізоване	0
18	Громадська будівля	90	Чернівці	450	Децентралізоване	0
19	Громадська будівля	100	Хмельницький	500	Централізоване	0
20	Громадська будівля	150	Одеса	600	Децентралізоване	0
21	Гуртожиток ¹	200	Тернопіль	800	Децентралізоване	0
22	Гуртожиток ²	300	Чернігів	700	Централізоване	0
23	Гуртожиток ¹	100	Херсон	500	Децентралізоване	0
24	Гуртожиток ²	200	Одеса	700	Централізоване	0
25	Гуртожиток ¹	150	Ужгород	750	Централізоване	0
26	Гуртожиток ²	90	Суми	300	Децентралізоване	0
27	Дитячий садок ³	150	Рівне	1 000	Централізоване	0
28	Дитячий садок ⁴	200	Чернівці	700	Децентралізоване	0
29	Дитячий садок ⁵	150	Миколаїв	1 000	Централізоване	0
30	Дитячий садок ⁶	200	Дніпро	600	Децентралізоване	0

¹ З загальними душовими.

² З душовими при всіх житлових кімнатах.

³ Із цілодобовим перебуванням дітей, з їдальнями на півфабрикатах.

⁴ Із денним перебуванням дітей, з їдальнями на півфабрикатах.

⁵ Із денним перебуванням дітей, з їдальнями, які працюють на сировині і пральнями.

⁶ Із цілодобовим перебуванням дітей, з їдальнями, які працюють на сировині і пральнями.

ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 2

Теоретичні питання:

1. Яким є призначення магістральних водоводів?
2. Для чого призначені розподільні мережі?
3. Чим обумовлюється розміщення ліній водоводів та водопровідних мереж?
4. Які труби використовуються для водопровідних мереж?
5. Як можна захисти трубопроводи від гідравлічного удару?

Практичні питання:

Задача 1

Визначити H_v та п'єзометричні відмітки у вузлових точках тупикової мережі. Вихідні дані для вирішення завдання наведені у таблиці 1. Рисунок див. Приклад 2 до теми 2.

Таблиця 1 – Вихідні дані до задачі 1

Вихідні дані		Номери варіантів									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поверховість будинків		14	9	16	12	12	16	9	14	14	12
Втрати напору на ділянках, м:	h_{1-2}	0,7	1	1,3	0,5	1,1	1	1,1	0,8	1,4	1,7
	h_{2-3}	1	1,4	1,7	0,7	1,5	1,4	1,5	1,4	0,7	1,5
	h_{3-4}	1,3	1,3	1,5	0,9	1,4	1,3	1,4	1,3	0,9	1,4
	h_{4-5}	0,6	1,1	1,4	1,2	1,2	0,9	0,8	1,1	1,2	1,2
	h_{5-6}	1,1	0,9	1,2	0,6	0,9	0,8	1,2	0,6	0,9	0,8
Відмітки поверхні землі у вузлових точках, м:	Z_1	75	52	100	224	137	75	52	100	224	137
	Z_2	77,5	54,5	102,6	226,4	139,4	77,5	54,5	102,6	226,4	139,4
	Z_3	76,7	53,9	101,8	225,6	138,9	76,7	53,9	101,8	225,6	138,9
	Z_4	79,8	56,8	104,9	228,8	141,8	79,8	56,8	104,9	228,8	141,8
	Z_5	80,2	57,1	105,3	229,1	142	80,2	57,1	105,3	229,1	142
	Z_6	88,2	62,8	115,8	252,0	156,2	88,2	62,8	115,8	252,0	156,2
Вихідні дані		Номери варіантів									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Поверховість будинків		14	9	12	9	12	16	16	12	12	14

Продовження таблиці 1

Втрати напору на ділянках, м:	h ₁₋₂	0,8	1,1	1,4	1	0,7	1,4	0,7	0,5	0,7	0,7
	h ₂₋₃	1,4	1,5	0,7	1,4	0,9	0,7	0,9	0,7	0,9	0,9
	h ₃₋₄	1,3	1,4	0,9	1,3	1,2	0,9	1,2	0,9	1,2	1,2
	h ₄₋₅	1,1	1,4	1,2	1,1	0,6	1,2	0,8	1,2	1,3	1,3
	h ₅₋₆	1	1,2	0,9	0,8	1,2	0,6	1,2	0,6	1	1
Відмітки поверхні землі у вузлових точках, м:	Z ₁	75	52	100	224	137	75	52	100	224	137
	Z ₂	77,5	54,5	102,6	226,4	139,4	77,5	54,5	102,6	226,4	139,4
	Z ₃	76,7	53,9	101,8	225,6	138,9	76,7	53,9	101,8	225,6	138,9
	Z ₄	79,8	56,8	104,9	228,8	141,8	79,8	56,8	104,9	228,8	141,8
	Z ₅	80,2	57,1	105,3	229,1	142	80,2	57,1	105,3	229,1	142
	Z ₆	88,2	62,8	115,8	252,0	156,2	88,2	62,8	115,8	252,0	156,2
Вихідні дані		Номери варіантів									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Поверховість будинків		9	14	9	16	9	12	9	12	9	12
Втрати напору на ділянках, м:	h ₁₋₂	1,4	1,2	1,2	0,9	0,8	1,1	1,2	1,2	0,8	0,8
	h ₂₋₃	1,3	1,3	1,5	0,9	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4
	h ₃₋₄	0,7	1,5	1,2	1,2	0,7	0,7	1,3	1,3	1,3	1,3
	h ₄₋₅	1,5	0,9	1,4	1,3	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1
	h ₅₋₆	0,9	0,8	0,8	1,4	1,2	0,6	0,9	0,8	1,2	1
Відмітки поверхні землі у вузлових точках, м:	Z ₁	75	52	100	224	137	75	52	100	224	137
	Z ₂	77,5	54,5	102,6	226,4	139,4	77,5	54,5	102,6	226,4	139,4
	Z ₃	76,7	53,9	101,8	225,6	138,9	76,7	53,9	101,8	225,6	138,9
	Z ₄	79,8	56,8	104,9	228,8	141,8	79,8	56,8	104,9	228,8	141,8
	Z ₅	80,2	57,1	105,3	229,1	142	80,2	57,1	105,3	229,1	142
	Z ₆	88,2	62,8	115,8	252,0	156,2	88,2	62,8	115,8	252,0	156,2

ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 3

Теоретичні питання:

1. Як вибираються схеми каналізації?
2. Які труби використовуються для каналізації?
3. Які колодязі встановлюються на каналізаційних мережах та яке їхнє призначення?
4. Які схеми водовідведення застосовуються в населених пунктах?

Практичні питання:

Задача 1

Визначити загальну кількість стічних вод від промислового підприємства з кількістю працівників U людей, у змiну (U_r робітників – гарячий цех, U_c робітників – холодний цех), використовують душ n % від загальної кількості працівників. Об'єм продукції, що випускається, N од/доба, а питома витрата на одиницю продукції $q_{\text{пит}}$, м^3 . Режим роботи – X змін, N годин. Група виробничих процесів Y . Коефіцієнт нерівномірності K , відповідно до даних таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані до задачі 1

Номер варіанта	Кількість працівників		Кількість осіб, що використовують душ, n , %	Обсяг продукції, N од/доба	Питома витрата на одиницю продукції $q_{\text{пит}}$, м^3	Режим роботи		Група виробничих процесів, Y	Коефіцієнт нерівномірності K
	Гарячий цех, U_r робітників	Холодний цех, U_c робітників				змін	годин у змiну		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1 000	500	35	900	0,1	1	8	Ia	1,5
2	1 100	550	40	950	0,15	2	6	Iб	1,6
3	1 200	600	45	1 000	0,2	3	7	IIв	1,7
4	1 300	650	50	1 050	0,25	1	5	IIг	1,8
5	1 400	700	55	1 100	0,3	2	8	Ia	1,9
6	1 500	750	60	1 150	0,35	3	6	Iб	2,0
7	1 600	800	65	1 200	0,4	1	7	IIв	2,1
8	1 700	850	70	1 250	0,45	2	5	IIг	2,2
9	1 800	900	75	1 300	0,5	3	8	Ia	2,3

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	1 900	950	80	1 350	0,55	1	6	Iб	2,4
11	2 000	1 000	85	1 400	0,6	2	7	IIв	2,5
12	500	1 000	90	1 450	0,65	3	5	IIг	1,5
13	550	1 100	95	1 500	0,7	1	8	Iа	1,6
14	600	1 200	100	1550	0,75	2	6	Iб	1,7
15	650	1 300	35	1 600	0,8	3	7	IIв	1,8
16	700	1 400	40	1 650	0,85	1	5	IIг	1,9
17	750	1 500	45	1 700	0,9	2	8	Iа	2,0
18	800	1 600	50	1 750	0,95	3	6	Iб	2,1
19	850	1 700	55	1 800	1,0	1	7	IIв	2,2
20	900	1 800	60	1 850	0,1	2	5	IIг	2,3
21	950	1 900	65	1 900	0,15	3	8	Iа	2,4
22	1 000	2 000	70	1 950	0,2	1	6	Iб	2,5
23	550	1 000	75	2 000	0,25	2	7	IIв	1,5
24	650	1 100	80	900	0,3	3	5	IIг	1,6
25	750	1 200	85	950	0,35	1	8	Iа	1,7
26	850	1 300	90	1 000	0,4	2	6	Iб	1,8
27	950	1 400	95	1 050	0,45	3	7	IIв	1,9
28	1 050	1 500	100	1 100	0,5	1	5	IIг	2,0
29	1 150	1 600	35	1 150	0,55	2	8	Iа	2,1
30	1 250	1 700	40	1 200	0,6	3	6	Iб	2,2

ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 4

Теоретичні питання:

1. Яку мають класифікацію споживачі тепла?
2. Надайте визначення теплового навантаження.
3. Які бувають види арматури у теплових мережах?
4. У якому із видів підземного прокладання (канальному або безканальному) допускається менша відстань по горизонталі від конструкції теплової мережі до фундаменту будівлі або споруди?
5. Яка мінімальна глибина прокладання трубопроводів теплової мережі має бути при каналному та безканальному прокладанні?

Практичні питання:

Задача 1

Визначити максимальні теплові навантаження систем опалення, вентиляції та гарячого водопостачання житлового мікрорайону, відповідно до даних таблиці 1. Житлові будинки обладнано ваннами довжиною 1 700 мм.

Таблиця 1 – Вихідні дані до задачі 1

Ч. ч.	Місто	Кількість поверхів забудови	Площа забудови, м ²	Рік забудови
1	Івано-Франківськ	5	40 000	До 1985
2	Харків	6	50 000	Після 1985
3	Київ	7	60 000	До 1985
4	Львів	8	70 000	Після 1985
5	Суми	9	80 000	До 1985
6	Харків	10	90 000	Після 1985
7	Київ	11	100 000	До 1985
8	Миколаїв	12	110 000	Після 1985
9	Одеса	13	120 000	До 1985
10	Суми	14	130 000	Після 1985
11	Львів	15	140 000	До 1985
12	Ужгород	16	150 000	Після 1985
13	Вінниця	5	150 000	До 1985
14	Луцьк	6	140 000	Після 1985
15	Житомир	7	130 000	До 1985
16	Волинь	8	120 000	Після 1985
17	Херсон	9	110 000	До 1985
18	Чернігів	10	100 000	Після 1985
19	Черкаси	11	90 000	До 1985
20	Полтава	12	80 000	Після 1985
21	Тернопіль	13	70 000	До 1985
22	Рівне	14	60 000	Після 1985
23	Чернівці	15	50 000	До 1985
24	Хмельницький	16	120 000	Після 1985
25	Дніпро	5	110 000	До 1985
26	Волинь	6	100 000	Після 1985
27	Херсон	7	90 000	До 1985
28	Чернігів	8	80 000	Після 1985
29	Черкаси	9	70 000	До 1985
30	Полтава	10	60 000	Після 1985

ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 5

Теоретичні питання:

1. Які бувають види опор у теплових мережах?
2. Види компенсаторів та їхнє призначення.
3. Яка методика побудови поздовжнього профілю?

4. Що таке вузол теплофікаційний? Що повинно бути передбачено у теплофікаційному вузлі?

Практичні питання:

Задача 1

Для всіх варіантів виконати підбір непрохідного каналу (тип КЛ) теплових мереж. Вихідні дані відповідно до таблиці 1. Відповідь надати у вигляді розрізу, з розмірами каналу та розмірами конструкції теплових мереж.

Таблиця 1 – Вихідні дані до задачі 1

Ч. ч.	Діаметр, мм			
	T1	T2	T3	T4
1	2	3	4	5
1	200 (219/315)	200 (219/315)	150 (159/250)	100 (108/200)
2	150 (159/250)	150 (159/250)	100 (108/200)	80 (89/160)
3	100 (108/200)	100 (108/200)	80 (89/160)	65 (76/140)
4	80 (89/160)	80 (89/160)	65 (76/140)	50 (57/125)
5	65 (76/140)	65 (76/140)	50 (57/125)	50 (57/125)
6	50 (57/125)	50 (57/125)	150 (159/250)	40 (45/110)
7	250 (273/400)	250 (273/400)	200 (219/315)	150 (159/250)
8	300 (325/450)	300 (325/450)	250 (273/400)	200 (219/315)
9	200 (219/315)	200 (219/315)	200 (219/315)	150 (159/250)
10	150 (159/250)	150 (159/250)	100 (108/200)	80 (89/160)
11	125 (133/225)	125 (133/225)	100 (108/200)	65 (76/140)
12	80 (89/160)	80 (89/160)	65 (76/140)	50 (57/125)
13	65 (76/140)	65 (76/140)	50 (57/125)	40 (45/110)
14	50 (57/125)	50 (57/125)	50 (57/125)	32 (38/110)
15	250 (273/400)	250 (273/400)	250 (273/400)	200 (219/315)
16	300 (325/450)	300 (325/450)	300 (325/450)	250 (273/400)
17	200 (219/315)	200 (219/315)	100 (108/200)	80 (89/160)
18	150 (159/250)	150 (159/250)	65 (76/140)	50 (57/125)
19	100 (108/200)	100 (108/200)	50 (57/125)	40 (45/110)
20	80 (89/160)	80 (89/160)	50 (57/125)	32 (38/110)
21	65 (76/140)	65 (76/140)	250 (273/400)	200 (219/315)
22	50 (57/125)	50 (57/125)	300 (325/450)	250 (273/400)
23	250 (273/400)	250 (273/400)	100 (108/200)	80 (89/160)
24	300 (325/450)	300 (325/450)	65 (76/140)	50 (57/125)
25	150 (159/250)	150 (159/250)	50 (57/125)	40 (45/110)
26	100 (108/200)	100 (108/200)	50 (57/125)	32 (38/110)

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
27	80 (89/160)	80 (89/160)	250 (273/400)	200 (219/315)
28	65 (76/140)	65 (76/140)	300 (325/450)	250 (273/400)
29	50 (57/125)	50 (57/125)	100 (108/200)	80 (89/160)
30	250 (273/400)	250 (273/400)	65 (76/140)	50 (57/125)
Пояснення до діаметрів. Приклад за варіантом 1: 200 – діаметр умовного проходу, мм; 219 – зовнішній діаметр сталевий труби, мм; 315 – загальний зовнішній діаметр сталевий труби з урахуванням товщини теплової ізоляції.				

Примітка: при визначенні мінімальної відстані теплових мереж між будівельними конструкціями та трубопроводами (табл. 3 практика 9 тема 5), у першому стовпчику таблиці 3 вказано діаметр умовного проходу.

Приклад за варіантом 1: діаметр умовного проходу трубопроводу Т1 – 200 мм, тобто обираємо відстань від конструкції теплової ізоляції до стінки каналу – 80 мм, до поверхні теплоізоляційної конструкції суміжного трубопроводу – 140 мм, від конструкції теплової ізоляції до перекриття каналу – 50 мм, від конструкції теплової ізоляції до дна каналу – 150 мм. У такий же спосіб виконуємо для решти трубопроводів.

ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 6

Теоретичні питання:

1. Яку мають класифікацію газопроводи за тиском?
2. Як здійснюють трасування газових мереж?
3. Які різновиди арматури встановлюють на газопроводах?
4. Споруди у системах газопостачання.
5. Схеми систем газопостачання.

Практичні питання:

Задача 1

Визначити розрахункову годинну витрату природного газу житлового будинку. Кількість квартир – (згідно із завданням), і кожній квартирі є плита (згідно із завданням) та проточний водонагрівач (згідно із завданням). Підібрати газовий лічильник для квартири. Вихідні дані наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані до задачі 1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7
п, квартир	10	20	30	40	50	60	70
Плита	ПГ-2	ПГ-4	ПГ-2	ПГ-4	ПГ-2	ПГ-4	ПГ-2
ВН	ВПП-18	ВПП-23	Баярд 10	Баярд 13	Баярд 16	ВПП-18	ВПП-23
Варіант	8	9	10	11	12	13	14
п, квартир	80	100	120	140	150	16	24
Плита	ПГ-4	ПГ-2	ПГ-4	ПГ-2	ПГ-4	ПГ-4	ПГ-2
ВН	Баярд 10	Баярд 13	Баярд 16	ВПП-18	ВПП-23	Баярд 10	Баярд 13
Варіант	15	16	17	18	19	20	21
п, кварт.	36	44	54	52	64	62	90
Плита	ПГ-4	ПГ-2	ПГ-4	ПГ-2	ПГ-4	ПГ-2	ПГ-4
ВН	Баярд 16	ВПП-18	ВПП-23	Баярд 10	Баярд 13	Баярд 16	ВПП-18
Варіант	22	23	24	25	26	27	28
п, кварт.	110	88	144	12	46	56	68
Плита	ПГ-2	ПГ-4	ПГ-2	ПГ-4	ПГ-2	ПГ-4	ПГ-2
ВН	ВПП-23	Баярд 10	Баярд 13	Баярд 16	ВПП-18	ВПП-23	Баярд 10
Варіант	29	30					
п, кварт.	78	58					
Плита	ПГ-4	ПГ-2					
ВН	Баярд 13	Баярд 16					

ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 7

Теоретичні питання:

1. З яких елементів складається енергетична система?
2. Які схеми електричних мереж застосовуються в містах?
3. Які види ліній електропередач застосовуються?
4. Які ланки входять у схему електропостачання ?
5. Яка конструкції електрокабелів?

Практичні питання:

Задача 1

Розрахувати захисне заземлення електрообладнання в електричній мережі напругою 220/380 В з ізолюованою нейтраллю. Електрообладнання розміщено в електромеханічному цеху, кліматична зона ІІІ. Склад ґрунту – однорідний. Тип заземлювального пристрою – сталеві вертикальні труби діаметром d_v , або кутова сталь з шириною сторін B_k . Довжина вертикальних заземлювачів l_v . Відстань між вертикальними заземлювачами a . Глибина закладання вертикальних заземлювачів H_0 . З'єднувальна стрічка – смуга шириною B_c . Опір

розтіканню струму в природному заземлювачі $R_{п.з.}$. Опір розтіканню струму заземлювального пристрою має бути не більше $R_{доп.}$. Вихідні дані наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані до задачі 1

Номер варіанта	Параметри вертикальних заземлювачів				H_0 , м	B_c , мм	Опір розтіканню струму		Ґрунт
	d_B , мм	B_K , мм	L_B , м	a , м			$R_{п.з.}$, Ом	$R_{доп.}$, Ом	
1, 13, 25	—	40×40	2,5	2,5	0,7	40×4	—	2	Глина
2, 14, 26	40	—	3,0	3,0	0,8	40×4	14	3	Чорнозем
3, 15	35	—	2,5	2,5	0,6	35×4	—	4	Суглинок
4, 16	45	—	3,0	3,0	0,7	45×4	15	8	Пісок
5, 17	50	—	2,5	5,0	0,8	50×4	17	10	Супісок
6, 18, 27	—	50×50	2,5	5,0	0,7	20×4	12	2	Глина
7, 19	—	60×60	3,0	3,0	0,7	30×4	10	3	Суглинок
8, 20, 28	—	45×45	2,5	5,0	0,8	40×4	—	4	Чорнозем
9, 21	35	—	3,0	3,0	0,6	12×4	—	4	Чорнозем
10, 22, 29	40	—	2,5	5,0	0,6	15×4	10	4	Пісок
11, 23	45	—	2,5	5,0	0,7	20×4	14	2	Глина
12, 24, 30	50	—	3,0	3,0	0,8	25×4	15	4	Чорнозем

ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 8

Теоретичні питання:

1. Як розміщують підземні мережі на плані території міста?
2. Якими є особливості прокладання магістральних підземних мереж?
3. Назвіть переваги й недоліки прокладання інженерних мереж у тунелях.
4. Які основні завдання служби експлуатації теплових мереж?
5. Які основні завдання служби експлуатації газових мереж?
6. Які основні завдання служби експлуатації електричних мереж?

Практичні питання:

Умова для самостійного виконання графічної роботи:

У процесі виконання графічної роботи необхідно на аркуші формату А3 нанести в довільному порядку будівлі та споруди. Конфігурацію будівель та споруд наведено на рисунку 1. Вибір конфігурації та розміру будівель – (за завданням). Призначення будівель – (за завданням). У верхній частині аркуша

розмістити основний автомобільний шлях. Відстань між дощоприймальними колодзями прийняти 50 м. Кількість жителів у районі – 20 000 ос. Діаметр мереж прийняти в довільному порядку. Нанести такі інженерні мережі:

- господарчо-побутова каналізаційна мережа (K1);
- дощова (зливна) каналізаційна мережа (K2);
- господарсько-питна водопровідна мережа (B1);
- господарсько-питна напірна водопровідна мережа (B1H);
- протипожежна водопровідна мережа (B2);
- теплова мережа (дво - і чотиритрубна (T0(2) і (T0(4)));
- газова мережа середнього (Г2) і низького (Г1) тиску;
- силова електрична мережа (W1 і W2);
- слабкострумова електрична мережа (V0).

А також розмістити інженерні споруди:

Розміри інженерних споруд у плані:

- центральний тепловий пункт (ЦТП) – 12 м × 12 м;
- газорозподільний пункт (ГРП) – 6 м × 3 м;
- трансформаторна підстанція (ТП) – 6 м × 6 м.

Приклад плану мікрорайону наведено на рисунку 2. Відстані від будівель, споруд та інженерних мереж прийняти згідно з ДБН Б.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій» додаток И.1 та И.2. Вихідні дані до графічної роботи наведено в таблиці 1.

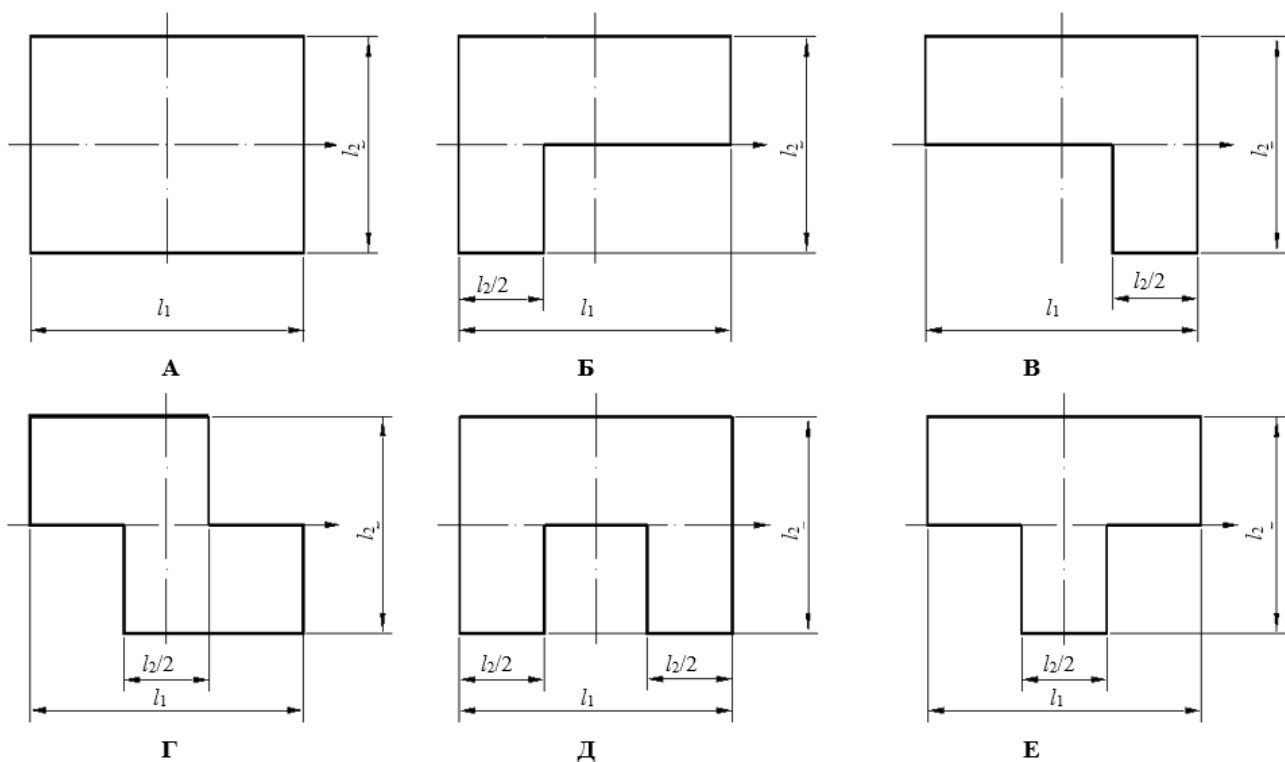


Рисунок 1 – Плани типів будівель

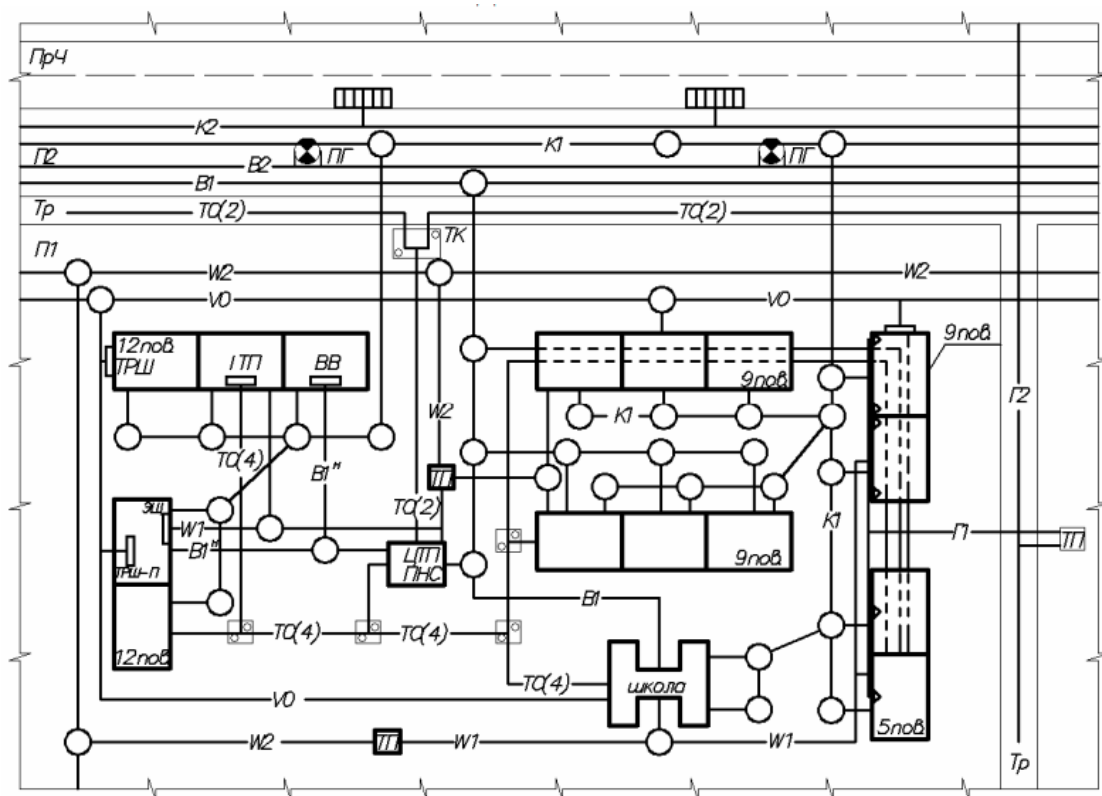


Рисунок 2 – Приклад оформлення фрагмента плану мікрорайону з інженерними мережами

Таблиця 1 – Вихідні дані до графічного завдання

Варіант	Типи планів для будівель номер					Розмір l_1 (м) планів корпусів номер					Розмір l_2 (м) планів корпусів номер				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	A	Г	Б	A	В	12	78	36	24	84	6	45	18	24	30
2	E	A	Б	A	E	120	90	30	36	42	66	48	18	24	36
3	E	Б	A	В	Д	18	108	90	72	30	18	60	72	48	18
4	Б	Г	A	E	A	66	48	36	24	30	48	24	18	18	18
5	Д	A	Б	Г	A	30	24	36	33	84	18	12	24	21	48
6	A	E	В	A	Б	24	24	36	84	48	21	18	18	60	24
7	E	A	A	В	Д	36	30	60	24	78	24	18	42	15	48
8	Г	Б	A	Д	A	24	90	24	30	54	18	66	18	18	33
9	Б	A	В	A	Б	18	24	48	24	84	12	18	12	18	54
10	Б	A	E	В	A	96	18	30	36	48	60	12	24	18	30
11	A	В	Д	A	Б	12	66	33	18	36	9	54	21	12	18
12	A	E	A	Б	A	24	84	30	90	24	21	54	18	60	15
13	E	A	A	Б	A	36	24	66	48	18	18	21	54	42	15
14	A	A	В	Д	Г	24	30	36	30	84	15	18	21	18	30
15	Б	E	Д	A	A	72	42	30	66	30	36	30	18	42	18
16	A	В	Д	Б	A	30	18	36	42	30	18	12	24	18	18
17	A	E	A	В	E	36	48	36	18	30	24	24	18	9	15

Продовження таблиці 1

18	В	Д	А	Б	Г	90	24	24	42	24	48	15	12	24	18
19	Б	А	В	Д	А	108	24	27	48	24	66	18	21	30	18
20	Д	Е	Б	А	Е	36	78	42	24	30	24	54	30	15	24
21	А	Е	А	Е	Д	24	90	48	30	33	18	66	36	18	21
22	А	В	Д	Г	Б	36	30	24	24	84	15	24	12	18	60
23	Б	А	Г	Б	А	36	42	30	66	30	30	15	24	36	24
24	Д	Е	А	Б	А	30	66	33	78	36	12	54	21	66	18
25	Г	А	Б	А	В	54	36	48	42	24	30	21	36	12	15
26	В	Б	Г	А	Е	36	24	66	24	30	18	21	54	18	15
27	А	В	А	Б	Г	24	72	66	30	33	24	45	48	18	21
28	Б	А	В	А	Е	33	42	30	36	42	21	18	18	24	24
29	Е	Г	Д	Б	В	78	33	90	30	84	42	21	48	18	54
30	Д	Е	А	Г	Б	48	48	60	54	66	30	24	42	36	30
Варіант	Призначення будівель номер														
	1		2		3		4		5						
1	лікарня		житловий будинок		промислове підприємство		готель		торгівельний центр						
2	школа		готель		ресторан		торгівельний центр		промислове підприємство						
3	житловий будинок		дитячий садок		промислове підприємство		готель		школа						
4	промислове підприємство		школа		житловий будинок		торгівельний центр		готель						
5	торгівельний центр		житловий будинок		готель		промислове підприємство		лікарня						
6	торгівельний центр		промислове підприємство		ресторан		житловий будинок		школа						
7	житловий будинок		готель		лікарня		торгівельний центр		промислове підприємство						
8	торгівельний центр		школа		промислове підприємство		ресторан		житловий будинок						
9	промислове підприємство		житловий будинок		готель		торгівельний центр		дитячий садок						
10	торгівельний центр		дитячий садок		житловий будинок		готель		промислове підприємство						
11	житловий будинок		готель		промислове підприємство		торгівельний центр		лікарня						
12	промислове підприємство		ресторан		школа		житловий будинок		торгівельний центр						
13	лікарня		житловий будинок		торгівельний центр		промислове підприємство		готель						

Закінчення таблиці 1

14	торгівельний центр	готель	промислове підприємство	дитячий садок	житловий будинок
15	житловий будинок	готель	школа	торгівельний центр	промислове підприємство
16	промислове підприємство	дитячий садок	житловий будинок	готель	торгівельний центр
17	торгівельний центр	готель	промислове підприємство	житловий будинок	ресторан
18	житловий будинок	промислове підприємство	готель	лікарня	торгівельний центр
19	ресторан	торгівельний центр	житловий будинок	дитячий садок	готель
20	готель	дитячий садок	промислове підприємство	торгівельний центр	житловий будинок
21	лікарня	житловий будинок	торгівельний центр	ресторан	промислове підприємство
22	торгівельний центр	промислове підприємство	готель	житловий будинок	школа
23	житловий будинок	готель	торгівельний центр	промислове підприємство	лікарня
24	промислове підприємство	дитячий садок	житловий будинок	готель	торгівельний центр
25	школа	промислове підприємство	торгівельний центр	готель	житловий будинок
26	ресторан	житловий будинок	готель	промислове підприємство	торгівельний центр
27	готель	промислове підприємство	торгівельний центр	житловий будинок	ресторан
28	житловий будинок	лікарня	торгівельний центр	промислове підприємство	школа
29	промислове підприємство	готель	житловий будинок	торгівельний центр	лікарня
30	торгівельний центр	житловий будинок	школа	промислове підприємство	готель

ЗАВДАННЯ ДО ТЕМИ 9

Теоретичні питання:

1. Якими способами здійснюється випробування трубопроводів?
2. Навести основні причини виникнення корозії.
3. Які бувають методи захисту трубопроводів від корозії?
4. У чому полягає пасивний захист від корозії?
5. У чому полягає активний захист від корозії?
6. У чому полягає катодний захист від корозії?

Практичні питання:

Задача 1

Розрахувати на міцність трубопровід з поліетиленової труби – (за завданням). Питома вага ґрунту – (за завданням), глибина залягання трубопроводу – (за завданням), модуль деформації ґрунту в траншеї – (за завданням), транспортне навантаження $q_T = 0,0089$ МПа, короткочасний модуль пружності при розтягу матеріалу труби $E_0 = 900$ МПа, коефіцієнт Пуассона матеріалу труби $\nu = 0,32$, тиск води у водопроводі $P = 1$ МПа, на об'єкті безконтрольний метод проведення робіт, ступінь щільності ґрунту більше 0,95. Значення коефіцієнтів, які необхідні для розрахунку прийняти згідно методики наведеної в практичній роботі. Вихідні дані наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані до задачі 1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Діаметр трубопроводу, мм	$\varnothing 315 \times 28,6$	$\varnothing 280 \times 10,7$	$\varnothing 110 \times 6,6$	$\varnothing 63 \times 3,8$	$\varnothing 400 \times 23,7$	$\varnothing 280 \times 25,4$	$\varnothing 110 \times 10$	$\varnothing 125 \times 11,4$	$\varnothing 140 \times 12,7$	$\varnothing 160 \times 14,6$
Питома вага ґрунту $\gamma_{\text{п}}$ Н/м ³	1 8400	1 8400	1 8600	1 8600	27 100	18 340	18 350	19 200	18 550	19 100
Модуль деформації ґрунту в траншеї $E_{\text{гр}}$ МПа	10	10	21	21	17	6	6	10	21	17
Глибина залягання трубопроводу, м	2,58	1,5	1,51	1,51	1,5	1,81	2,35	1,6	2,2	2,1

Продовження таблиці 1

Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Діаметр трубо- проводу, мм	Ø180 × 16,4	Ø200 × 18,2	Ø225 × 20,5	Ø250 × 22,7	Ø355 × 32,2	Ø450 × 40,9	Ø110 × 8,1	Ø125 × 9,2	Ø140 × 10,3	Ø160 × 11,8
Питома вага грунту γ_n Н/м ³	19 050	19 320	21 300	18 400	18 600	18 340	27 100	18 350	19 200	18 600
Модуль деформа- ції грунту в траншеї $E_{гр}$ МПа	21	6	17	10	10	21	6	17	10	6
Глибина залягання трубопро- воду, м	1,38	2,25	3,5	1,58	2,35	1,81	1,51	1,5	2,5	1,4
Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Діаметр трубопро- воду, мм	Ø180 × 13,3	Ø200 × 14,7	Ø225 × 16,6	Ø250 × 18,4	Ø280 × 20,6	Ø315 × 23,2	Ø355 × 26,1	Ø400 × 29,4	Ø450 × 33,1	Ø500 × 36,8
Питома вага грунту γ_n Н/м ³	19 100	18 400	18 340	27 100	19 050	21 300	18 550	18 220	19 320	19 000
Модуль деформа- ції грунту в траншеї $E_{гр}$ МПа	17	6	21	10	21	10	10	17	6	17
Глибина залягання трубопро- воду, м	1,6	1,8	2,3	1,5	1,81	2,35	3,2	2,1	1,58	1,7

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. – Чинний від 2019-01-03. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. – 122 с.
2. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 2019-01-02. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. – 295 с.
3. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 2019-01-02. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. – 172 с.
4. СНіП 2.04.14-88. Теплова ізоляція обладнання і трубопроводів. – Чинний від 1990-01-01. – 28 с.
5. ДБН В.2.5-39:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі. – Чинний від 2018-01-07. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 56 с.
6. ДСТУ Б А.2.4-28:2008. Мережі теплові (тепломеханічна частина). Робочі креслення. – Чинний від 2010-01-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 13 с.
7. ДБН В.2.5-20:2018. Газопостачання. – Чинний від 2020-01-06. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2019. – 109 с.
8. Правила улаштування електроустановок [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст дані. – Режим доступу: <https://mev.gov.ua/storinka/pravyula-shtuvannya-elektroustanovok>, вільний (дата звернення: 24.04.2025). – Назва з екрана.
9. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. – Чинний від 2017-01-04. – Київ : ДП УкрНДНЦ, 2016. – 105 с.
10. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. – Чинний від 2011-01-11. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с.
11. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. – Чинний від 2019-01-10. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2019. – 177 с.
12. ДСТУ EN ISO 52000-1:2023. Енергоефективність будівель. Комплексне оцінювання енергоефективності будівель. Частина 1. Загальна структура та методики. – Чинний від 2023-01-10. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2023. – 115 с.

13. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. – Чинний від 2010-01-10. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 169 с.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до проведення практичних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«МІСЬКІ ІНЖЕНЕРНІ МЕРЕЖІ»

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Міське будівництво та господарство», «Промислове та цивільне будівництво», «Цивільна інженерія»)

Укладачі: **ПАВЛОВСЬКИЙ** Сергій Валерійович,
ГВОЗДЕЦЬКИЙ Олександр Вадимович

Відповідальний за випуск *С. В. Павловський*
Редактор *О. В. Михаленко*
Комп'ютерне верстання *С. В. Павловський*

План 2025, поз. 73М

Підп. до друку 05.06.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 5,6.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Чорноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.