МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему: **«ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ ВОДОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ МІСЬКОГО РАЙОНУ В УМОВАХ ВІДНОВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА»**

Виконала: студентка 4 курсу, група 6.1922-мім-з
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі»

Данчук Ольга Іванівна

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і архітектури, канд. техн. наук О. Г. Добровольська

Рецензент: завідувач кафедри міського будівництва і архітектури,
кандидат технічних наук А. В. Банах

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма міські інженерні мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____

«01» 02 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Данчук Ользі Іванівні
(прізвище, ім'я, по-батькові)

Тема роботи Проєктування мережі водопостачання для міського району в умовах відновлення об'єктів комунального господарства

затверджено наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року № 1832-с

2. Строк подання роботи: *15.05.2026*

3. Вихідні дані до роботи: *генплан міста (додаток 1), характеристики забудови та підприємств (додаток 2)*

4. *Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Огляд теоретичних підходів та світового досвіду проєктування систем водопостачання в умовах відновлення міських територій. 1.1 Основні концепції проєктування міських систем водопостачання. 1.2 Класичні та сучасні інженерні підходи до реконструкції та модернізації водопровідних мереж. 1.3. Міжнародний досвід післявоєнного та посткризового відновлення систем водопостачання. 1.4. Адаптація світових практик до умов українських міських районів. 2. Загальна характеристика умов водопостачання. 2.1 Характеристика умов проєктування мережі. 2.2 Розрахункове добове водоспоживання міста. 2.3 Розробка режиму водоспоживання міста. 3. Проєктування водопровідної мережі. 3.1 Трасування водопровідної мережі. 3.2 Визначення характерних режимів роботи мережі та визначення годинних і секундних витрат мережі. 3.3 Визначення питомих. шляхових і вузлових витрат. 3.4 Початковий потокорозподіл, визначення діаметрів ділянок і вихідні розрахункові схеми мережі. 3.5 Гідравлічний розрахунок мережі. 3.6 Визначення п'єзометричних позначок і вільних напорів в мережі. 3.7 Розрахунок водонапірної башти. 4. Проєктування насосної станції другого підйому. 4.1 Визначення необхідної подачі насосної станції. 4.2 Розрахунок діаметрів всмоктувальних і напірних трубопроводів. 4.3 Визначення необхідного напору насосного обладнання. 4.4 Аналіз роботи насосної станції в умовах пожежогасіння. 4.5 Вибір насосного обладнання та відповідних електродвигунів. 4.6 Визначення відміток осі насосів і підлоги насосної станції. 4.7 Розрахунок висоти машинного залу та вибір підіймального обладнання. 4.8 Аналіз режиму роботи насосного*

обладнання. 5. Економічне обґрунтування роботи мережі водопостачання. 5.1 Розрахунок витрат електричної енергії на роботу системи 5.2 Визначення фонду оплати праці обслуговуючого персоналу. 5.3 Оцінка витрат на експлуатацію мережі транспортування води.. ВИСНОВКИ

5. *Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень:1.Генплан міста. 2,3,4. П'єзометричні карти та п'єзометричні лінії для розрахункових режимів роботи мережі. 5.Водонапірна башта. 6.Насосна станція другого підцому: план машинного залу, поздовжній та пеперечний розрізи будівлі.*

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Добровольська О.Г., к.т.н., доцент		
2	Добровольська О.Г., к.т.н., доцент		
3	Добровольська О.Г., к.т.н., доцент		
4	Добровольська О.Г., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 01.02.2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Приміт ка
1	Розділ 1. Огляд теоретичних підходів та світового досвіду проєктування систем водопостачання в умовах відновлення міських територій	08.03.25	
2	Розділ 2. Загальна характеристика умов водопостачання..	30.03.25	
3	Листи 1-2.	10.04.25	
4	Розділ 3. Проєктування водопровідної мережі.	15.04.25	
5	Листи 3,4.	25.04.25	
	Розділ 4. Проєктування насосної станції другого підйому Лист №4.	04.05.25	
6	Розділ 5. Економічне обґрунтування роботи мережі водопостачання. Листи 5-6.	15.05.25	
7	Презентація підготовка доповіді.	20.05.25	
8	Попередній захист.	22.05.25	

Студент _____ О.І. Данчук
(підпис) (ініціали та прізвище)

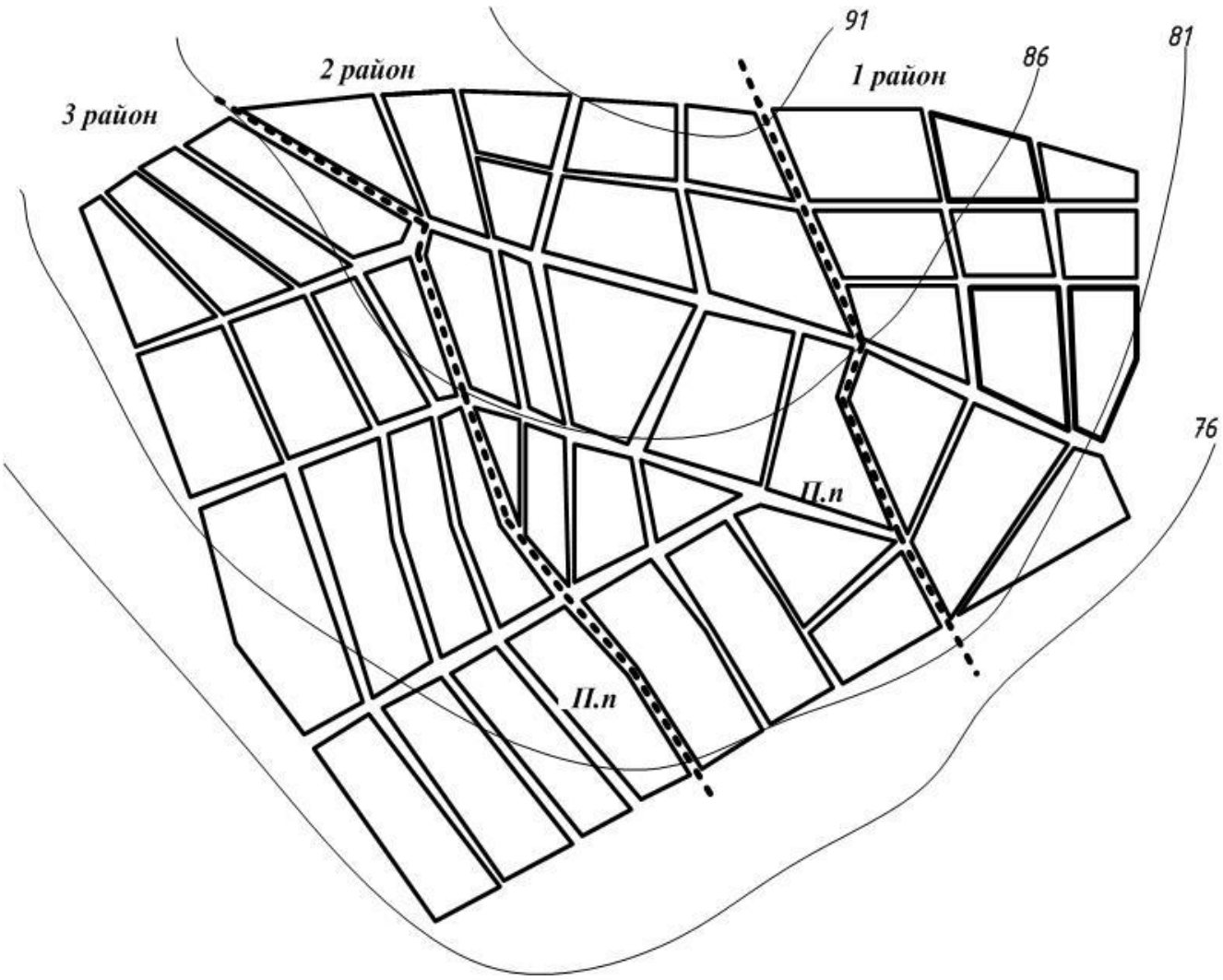
Керівник роботи _____ О.Г. Добровольська
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ І.В. Гребенюк
(підпис) (ініціали та прізвище)

Додаток 1

ГЕНПЛАН М 1:10000



Додаток 2

Таблиця 1 – Особливості забудови

Район міста	Кількість поверхів	Щільність населення, чол/га	Ступінь благоустрою
Перший район	5	220	внутрішній водопровід, каналізація і ванни з місцевими водонагрівачами
Другий район	12	510	внутрішній водопровід, каналізація і централізоване гаряче водопостачання
Третій район	9	430	внутрішній водопровід, каналізація і централізоване гаряче водопостачання

Таблиця 2 – Особливості виробництва на підприємствах

№ підприємства	Зміна	Кількість працівників по змінах	Кількість працівників в гарячих цехах, %	Характеристика технологічного процесу	Витрата води на виробництво, од./доб	Ступінь вогнестійкості конструкції
П.п №1	08.00-16.00	1200	30	1а, IIв	4500	I,II Б,В Максимальний об'єм будівлі 18 тис. $м^3$
	16.00-24.00	900				
	24.00-08.00	-				
П.п №2	08.00-16.00	1000	30	1а, IIв	450	II В Максимальний об'єм будівлі 5 тис. $м^3$
	16.00-24.00	900				
	24.00-08.00	700				

Умови водопостачання

Якість води в джерелі водопостачання: каламутність М=130 мг/л, кольоровість Ц =75 град.

ЗМІСТ

ВСТУП……8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕОРЕТИЧНИХ ПІДХОДІВ ТА СВІТОВОГО ДОСВІДУ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ ВІДНОВЛЕННЯ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ……10
1.1. Основні концепції проєктування міських систем водопостачання……10
1.2. Класичні та сучасні інженерні підходи до реконструкції та модернізації водопровідних мереж……15
1.3. Міжнародний досвід післявоєнного та посткризового відновлення систем водопостачання……..….18
1.4. Адаптація світових практик до умов українських міських районів…….…..26
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА УМОВ ВОДОПОСТАЧАННЯ……30
2.1 Характеристика умов проєктування мережі……..30
2.2 Розрахункове добове водоспоживання міста……31
2.3 Розробка режиму водоспоживання міста……37
РОЗДІЛ 3.ПРОЄКТУВАННЯ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ……41
3.1 Трасування водопровідної мережі……..41
3.2 Визначення характерних режимів роботи мережі та визначення годинних і секундних витрат мережі……...42
3.3 Визначення питомих, шляхових і вузлових витрат……..……43
3.4 Початковий потокорозподіл, визначення діаметрів ділянок та вихідні розрахункові схеми мережі……..…46
3.5 Гідравлічний розрахунок мережі……52
3.6 Визначення п’єзометричних позначок і вільних напорів в мережі…….……53
3.7 Розрахунок водонапірної башти……..……54
РОЗДІЛ 4. ПРОЄКТУВАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ДРУГОГО ПІДЙОМУ……58
4.1 Визначення необхідної подачі насосної станції……58

4.2 Розрахунок діаметрів всмоктувальних і напірних трубопроводів……..…58
4.3 Визначення необхідного напору насосного обладнання…….……60
4.4 Аналіз роботи насосної станції в умовах пожежогасіння……61
4.5 Вибір насосного обладнання та відповідних електродвигунів……62
4.6 Визначення відміток осі насосів і підлоги насосної станції……64
4.7 Розрахунок висоти машинного залу та вибір підіймального обладнання……..64
4.8 Аналіз режиму роботи насосного обладнання…….…….65
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ МЕРЕЖІ ВОДОПОСТАЧАННЯ……..68
5.1 Розрахунок витрат електричної енергії на роботу мережі……..……68
5.2 Визначення фонду оплати праці обслуговуючого персоналу……..…69
5.3 Оцінка витрат на експлуатацію мережі транспортування води…….…….70
ВИСНОВКИ……...73
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….……74
ДОДАТОК ..……...78

ВСТУП

В умовах воєнних дій та активної фази відновлення об’єктів комунального господарства пошкодження інженерних мереж, нерівномірність водоспоживання, зміна структури забудови та зростання вимог до енергоефективності обумовлюють необхідність удосконалення підходів до проєктування водопровідних систем. Проєктування мережі водопостачання для міського району в умовах відновлення передбачає комплексне врахування сучасних нормативних вимог, перспектив розвитку території, можливих аварійних ситуацій та необхідності забезпечення протипожежних витрат. Особлива увага приділяється раціональному трасуванню мережі, визначенню розрахункових витрат води, гідравлічному обґрунтуванню діаметрів трубопроводів, забезпеченню нормативних вільних тисків у споживачів та підвищенню енергоефективності роботи насосного обладнання.

Актуальність теми полягає у необхідності розроблення обґрунтованих інженерних рішень щодо проєктування водопровідної мережі міського району з урахуванням завдань післявоєнної відбудови, модернізації інфраструктури та підвищення надійності системи водопостачання.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення проєкту мережі водопостачання для міського району з виконанням повного комплексу гідравлічних розрахунків та обґрунтуванням основних технічних рішень відповідно до сучасних вимог надійності та ефективності.

Для досягнення поставленої мети розв’язані завдання:

– виконано літературний аналіз теоретичних підходів і світового досвіду проєктування систем водопостачання в умовах відновлення міських територій;

–визначено розрахункові параметри проєктування мережі та розроблена схема її трасування;

–виконано гідравлічний розрахунок мережі з визначенням діаметрів трубопроводів, п’єзометричних позначок і вільних тисків;

– розроблено проєкт насосної станції другого підйому з обґрунтуванням вибору обладнання;

– розрахована собівартість транспортування води.

Об’єктом дослідження є мережа водопостачання міського району в умовах відновлення об’єктів комунального господарства.

Предметом дослідження є гідравлічні параметри водопровідної мережі, режими її роботи, конструктивні рішення елементів системи та методичні підходи до їх інженерного розрахунку.

Методи дослідження базуються на положеннях гідравліки та теорії водопровідних мереж, використанні інженерних методик визначення витрат і тисків, нормативних документів у галузі водопостачання, а також графоаналітичних методів побудови п’єзометричних ліній і розрахункових схем мережі.

Інформаційною базою роботи є чинні державні будівельні норми, галузеві стандарти, наукові публікації з проєктування та реконструкції систем водопостачання, довідкові матеріали щодо трубопровідної продукції та насосного обладнання.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розробленої розрахункової схеми мережі, визначених параметрів трубопроводів і насосної станції другого підйому при проєктуванні або модернізації систем водопостачання міських районів у період їх відновлення та розвитку.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕОРЕТИЧНИХ ПІДХОДІВ ТА СВІТОВОГО ДОСВІДУ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ ВІДНОВЛЕННЯ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ

1.1 Основні концепції проєктування міських систем водопостачання

Проєктування міських систем водопостачання є базовим елементом формування безпечного та стійкого міського середовища, що визначає санітарно-гігієнічні умови проживання населення, функціонування об’єктів житлово-комунального господарства та екологічну безпеку територій. В умовах відновлення міських територій після воєнних дій значення науково обґрунтованих концепцій проєктування істотно зростає, оскільки значна частина систем зазнала пошкоджень, а їхні проєктні параметри не відповідають сучасним умовам розвитку міст.

Відповідно до чинних нормативних документів України, система централізованого водопостачання повинна забезпечувати подачу питної води нормативної якості у необхідних обсягах для господарсько-питних, виробничих та пожежних потреб споживачів [1, розд. 5]. При цьому в умовах реконструкції та відбудови міських територій виникає потреба у перегляді традиційних підходів до вибору джерел водопостачання, трасування мереж та визначення розрахункових витрат води.

Однією з ключових теоретичних концепцій є системний підхід до проєктування**,** який передбачає розгляд системи водопостачання як єдиного інженерного комплексу, що включає вододжерело, водозабірні споруди, очисні споруди, насосні станції, резервуари та розподільчі мережі. Як зазначається у наукових дослідженнях українських фахівців, ефективність функціонування системи визначається не окремими елементами, а їхньою узгодженою роботою в межах єдиного гідравлічного та технологічного циклу [2, с. 14–18]. У післявоєнний

період це дозволяє обґрунтовано інтегрувати збережені ділянки мереж із новозбудованими об’єктами.

Важливою частиною сучасних концепцій є забезпечення надійності та безперервності водопостачання**.** Згідно з вимогами ДБН, проєктування мереж повинно передбачати можливість локалізації аварій без припинення подачі води значній кількості споживачів, що досягається шляхом застосування кільцевих схем та зонування системи за тиском [1, розд. 7]. Міжнародний досвід підтверджує, що наявність резервних водопровідних вводів і дублювальних магістралей істотно підвищує стійкість систем водопостачання в умовах надзвичайних ситуацій [3, с. 9–15].

У контексті післявоєнного відновлення населених пунктів України особливого значення набуває адаптивність проєктних рішень у сфері інженерної інфраструктури, зокрема систем централізованого водопостачання. Масштабні руйнування, спричинені бойовими діями, призвели не лише до фізичного зносу та втрати окремих елементів водопровідних мереж, але й до суттєвих змін у просторовій структурі міст, щільності забудови та чисельності населення. У таких умовах традиційні підходи до проєктування, орієнтовані на стабільні демографічні показники та прогнозоване зростання водоспоживання, виявляються недостатньо ефективними.

Демографічні процеси післявоєнного періоду характеризуються високим рівнем невизначеності: повернення внутрішньо переміщених осіб, міграційні потоки, зміна соціально-економічного профілю окремих територій. Крім того, у процесі відбудови можливе перепрофілювання промислових зон, ущільнення житлової забудови або, навпаки, консервація окремих кварталів. Усе це безпосередньо впливає на режими водоспоживання, пікові витрати та вимоги до надійності систем водопостачання. За таких умов виникає об’єктивна потреба у

впровадженні гнучких схем розвитку водопровідних мереж, здатних адаптуватися до поетапного відновлення міського середовища.

Впровадження проєктних рішень передбачає можливість поетапного введення в експлуатацію окремих елементів системи, резервування потужностей, а також використання модульних та комбінованих технологічних рішень. Зокрема, доцільним є проєктування водозабірних споруд, насосних станцій і очисних комплексів з урахуванням перспективного нарощування продуктивності без необхідності повної реконструкції об’єкта [4, с. 55–62]. Аналогічний підхід має застосовуватися і до мереж водопостачання, де перевага надається кільцевим та зональним схемам, що підвищують експлуатаційну надійність і забезпечують можливість локального розвитку системи [5, с. 50, с. 90–94].

У публікаціях Європейської комісії неодноразово наголошується, що сучасні міські водні системи повинні проєктуватися з урахуванням принципів сталого розвитку, ресурсоефективності та адаптивності. Зокрема, підкреслюється доцільність поетапного нарощування потужностей без суттєвого втручання в наявну інфраструктуру, що дозволяє зменшити капітальні витрати на початкових етапах відбудови та мінімізувати ризики невикористання надлишкових потужностей. Такий підхід є особливо актуальним для українських міст у післявоєнний період, коли фінансові ресурси обмежені, а потреби в інженерному забезпеченні змінюються динамічно.

Суттєвим елементом теоретичних підходів є енергоефективність систем водопостачання**.** За результатами досліджень, опублікованих у фахових українських виданнях, витрати електроенергії на транспортування води можуть становити до 40 % експлуатаційних витрат підприємств водопровідно-каналізаційного господарства. У зв’язку з цим при проєктуванні та реконструкції систем доцільно враховувати заходи з енергоефективності вже на стадії пр єктування мереж розподілу води, а саме під час вибору умов їх живлення [6, с. 67],

вибрати оптимізовані гідравлічні схеми, враховувати пріоритетні напрямки реконструкції мережі [7, с. 137–138], сучасне насосне обладнання та автоматизовані системи керування.

Сучасним підґрунтям розвитку та модернізації систем міського водопостачання є концепція інтегрованого використання водних ресурсів, яка передбачає комплексний підхід до використання води. В межах цієї концепції рішення у сфері водопостачання мають узгоджуватися з питаннями охорони поверхневих і підземних джерел води, екологічної безпеки, просторового планування та соціально-економічного розвитку територій. Особливої актуальності такий підхід набуває в умовах післявоєнного відновлення, коли зростає антропогенне навантаження на водні об’єкти, а стан природних екосистем часто є порушеним унаслідок бойових дій.

Інтегроване управління водними ресурсами спрямоване на забезпечення балансу між потребами населення, промисловості та довкілля, а також на зниження ризиків виснаження або забруднення водних джерел. У цьому контексті важливу роль відіграє оцінка впливу проєктних рішень на якісний та кількісний стан водних ресурсів, упровадження зон санітарної охорони, а також застосування технологій очищення, що відповідають сучасним екологічним вимогам. Такий підхід дозволяє не лише забезпечити стабільне водопостачання споживачів, але й сприяти довгостроковому збереженню водного потенціалу територій.

Всесвітня організація охорони здоров’я у своїх рекомендаціях акцентує на необхідності застосування ризик0орієнтованого підходу при проєктуванні та експлуатації систем питного водопостачання. Згідно з цими рекомендаціями, проєктні рішення мають базуватися на ідентифікації потенційних небезпек і загроз на всіх етапах водного циклу – від забору води з природного джерела до її подачі кінцевому споживачеві [8, п.1.2]. До таких загроз належать як природні чинники (зміна гідрологічного режиму, підтоплення, посухи), так і техногенні ризики,

зокрема аварії на мережах, зношеність обладнання та можливе вторинне забруднення води в процесі транспортування.

Важливе місце у сучасних підходах до проєктування систем водопостачання займає впровадження цифрових технологій та інструментів інтелектуального управління. Застосування геоінформаційних систем (ГІС) дозволяє здійснювати просторовий аналіз водопровідних мереж, оперативно виявляти проблемні ділянки та оптимізувати планування ремонтних і відновлювальних робіт. Автоматизовані системи диспетчерського контролю та збору даних забезпечують моніторинг режимів роботи насосних станцій, рівнів тиску та витрат води в реальному часі, що сприяє зниженню аварійності та скороченню невиробничих втрат води. Ефективність таких рішень підтверджується результатами досліджень, опублікованих у міжнародних наукових журналах [9, p. 3–6].

Для українських міст у період відновлення цифровізація систем водопостачання є не лише інструментом підвищення ефективності управління, але й важливим елементом забезпечення стійкості та надійності інженерної інфраструктури. Використання цифрових моделей мереж дозволяє прогнозувати розвиток системи, оцінювати наслідки різних сценаріїв відбудови та приймати обґрунтовані проєктні рішення в умовах обмежених ресурсів.

Таким чином, сучасні концепції проєктування міських систем водопостачання в умовах відновлення міських територій ґрунтуються на поєднанні нормативних вимог, системного та ризик-орієнтованого підходів, принципів екологічної безпеки, надійності, адаптивності та енергоефективності. Реалізація цих підходів у практиці проєктування дозволяє створювати стійкі, функціонально надійні та перспективні системи водопостачання, здатні забезпечити потреби населення та сприяти сталому розвитку міст у довгостроковій перспективі.

1.2. Класичні та сучасні інженерні підходи до реконструкції та модернізації водопровідних мереж

Системи водопостачання міст є критичною інфраструктурою, що забезпечує безперервне постачання питної води населенню. Значна частина мереж у Європі та Україні має зношений застарілий фонд, що призводить до підвищених втрат води, частих аварій та зниження якості послуг. У відповідь на ці виклики в науково-технічній літературі розвинені як класичні підходи до реконструкції, так і сучасні комплексні методи, що базуються на аналітичних моделях, цифрових технологіях та мультикритеріальному оптимальному плануванні.

Класичні підходи традиційно базуються на поточному ремонті, реконструкції із застосуванням траншейних технологій та капітальній заміні трубопроводів, коли мережі досягли кінця проєктного ресурсу експлуатації. Вони передбачають фізичну заміну старих труб, підвищення гідравлічної пропускної здатності, а також модернізацію насосного обладнання.

У класичних стратегіях процес реконструкції керується детальним обстеженням технічного стану мережі, вимірюванням параметрів деградації труб, а також вибором пріоритетів на основі інженерного аналізу. Наприклад, у статті [10, с. 1–2] описано концепцію моделі GIS-орієнтованого підходу до пріоритизації ділянок реконструкції міських водопровідних мереж. Автори підкреслюють, що рішення про реконструкцію має враховувати не лише фізичний стан, а й гідравлічні показники, такі як рівні тиску та розподіл витрат у мережі, для оптимального вибору ділянок реконструкці.

Інша класична стратегія – мотивація щодо зменшення втрат води через ремонт та заміну застарілого обладнання, що відображено в оглядах попередніх досліджень. Сучасні реконструкційні плани повинні не лише відновлювати пропускну здатність мережі, але й вирішувати завдання оптимального

співвідношення між витратами на реконструкцію та експлуатаційними витратами у довгостроковій перспективі, тобто мінімізувати сумарні витрати життєвого циклу мережі [12].

З розвитком цифрових технологій у галузі інженерії водопостачання з'явилися нові методи, що дозволяють інтегрувати гідравлічне моделювання, ризик-аналіз, імітаційне моделювання та оптимізацію в процес реконструкції.

Одним з таких сучасних підходів є використання механічної надійності та планування заміни труб як частини рішення щодо реконструкції системи, що описано в дослідженні, опублікованому у відкритому доступі в MDPI Water. Автори пропонують підхід, що базується на механічній надійності труб, для максимізації здатності забезпечувати водопостачання та мінімізації ризику відсутності води й дефіциту тиску в системі. Це дозволяє створити план заміни, що оптимізує одночасно технічні та економічні критерії [12, с. 2].

Модернізація також може бути пов'язана зі впровадженням цифрових інструментів, таких як застосування геоінформаційних систем (GIS) для інтегрованого аналізу технічного стану мережі в поєднанні з гідравлічними моделями. Такі методи дозволяють проводити не лише реконструкцію окремих ділянок, але прогнозувати поведінку мережі після втручання та оцінювати ефект від різних стратегій [10, с. 3].

Мультикритеріальний аналіз стає важливим інструментом при прийнятті рішень щодо модернізації мереж. Такий підхід дозволяє врахувати одночасно економічні, технічні, соціальні та екологічні критерії.

Наприклад, у випадку досліджень румунського міста Клуж-Напока використано метод аналітичної мережевої обробки (ANP) для вибору оптимальної технології реконструкції трубопроводів. Цей метод враховує сім різних критеріїв, включаючи довговічність труб, витрати на реконструкцію, гідравлічні характеристики, а також тривалість монтажних робіт. Результати показали, що для

даної мережі найкраще застосовувати Subline як технічне рішення, виходячи із загальної пріоритетності критеріїв [12, с. 9–10]. Подібні мультикритеріальні рамкові підходи дозволяють не лише оцінити окремі технічні параметри, але й враховувати соціальні фактори, масштаби втрат води, а також вплив реконструкції на енергоспоживання. Однією з напрямків модернізації мереж останніх років стали безтраншейні технології (trenchless technology), які мінімізують порушення дорожнього покриття та скорочують екскаваційні роботи. Ці технології включають, зокрема, такі рішення, як Cured-in-place pipe (CIPP), Sliplining, Swagelining, Pilot Pipe та інші. Вони дозволяють оновлювати або замінювати труби без великих земляних робіт, що особливо важливо для щільно забудованих територій та історичних центрів міста. Недавній огляд технологій реконструкції труб описує різні методи безтраншейної санації, зокрема CIPP – технологію, яка передбачає встановлення внутрішньої оболонки всередині трубопроводу, що значно зменшує час та вартість робіт у порівнянні з відкритим траншейним підходом. Цей метод показує високий потенціал для використання у водопостачанні, хоча й потребує уваги щодо контролю якості й екологічних аспектів [13].

Таблиця 1.1 – Порівняння класичних і сучасних підходів

Параметр	Класичні підходи	Сучасні підходи
Технічний фокус	Фізична заміна труб, траншейні роботи	Аналіз даних, моделювання, автоматизація
Прийняття рішень	Експертний інженерний досвід	Мультикритеріальний та аналітичний підхід
Вплив на територію	Значні земляні роботи	Мінімальні порушення (безтраншейні технології)
Ефективність	Часткова оптимізація	Глобальна оптимізація життєвого циклу
Використання ICT	Обмежене	Системи GIS, моделювання)

Сучасні підходи дозволяють зменшувати капітальні витрати, підвищувати надійність систем, а також прогнозувати довгостроковий стан мереж завдяки інтегрованим моделям. Водночас класичні методи залишаються важливими там, де реконструкція потребує фізичної заміни елементів через їх невідповідність сучасним вимогам.

Аналіз сучасної наукової літератури показує, що реконструкція та модернізація водопровідних мереж сьогодні здійснюється за допомогою комбінації класичних та інноваційних методів. Класичні інженерні підходи залишаються основою відновлення технічно зношених систем, але сучасні рішення, що ґрунтуються на цифрових технологіях, мультикритеріальних моделях та безтраншейних техніках, дозволяють досягти більш ефективного, стійкого й економічно обґрунтованого результату**.**

Оптимальне поєднання цих підходів є необхідною умовою для побудови водопостачання майбутнього.

1.3. Міжнародний досвід післявоєнного та післякризового відновлення систем водопостачання

Відновлення систем водопостачання після воєнних дій або масштабних криз є складним багаторівневим процесом, що охоплює не лише фізичну реконструкцію пошкоджених об’єктів інженерної інфраструктури, але й глибоку адаптацію галузі до нових соціально-економічних, екологічних та управлінських умов. Руйнування водопровідних мереж, насосних станцій, очисних споруд і джерел водозабору призводить до критичного порушення життєзабезпечення населення, що робить сферу водопостачання однією з першочергових у процесі післявоєнного та посткризового відновлення територій.

У сучасних умовах відбудова систем водопостачання дедалі рідше розглядається виключно як відтворення довоєнного технічного стану. Наукові дослідження та міжнародна практика акцентують на необхідності переходу від підходу «відновити як було» до концепції інтегрованого розвитку, що передбачає модернізацію, підвищення надійності та стійкості інфраструктури. У цьому контексті особливого значення набуває системний підхід, за якого водопостачання розглядається як частина єдиного комплексу критичної інфраструктури, тісно пов’язаного з енергетикою, водовідведенням, містобудівними рішеннями та управлінням територіями.

Принципи стійкого розвитку та концепція «reconstruction with resilience» передбачають врахування не лише поточних потреб населення, але й потенційних майбутніх ризиків, зокрема повторних збройних загроз, техногенних аварій, кліматичних змін та дефіциту водних ресурсів. У зв’язку з цим відновлення систем водопостачання повинно базуватися на впровадженні енергоефективних технологій, диверсифікації джерел водопостачання, зменшенні втрат води в мережах та застосуванні сучасних методів моніторингу та управління.

Важливим аспектом післякризового відновлення є також інституційна та організаційна частина. Руйнування систем управління, дефіцит кваліфікованих кадрів і обмежені фінансові ресурси часто ускладнюють реалізацію навіть технічно обґрунтованих проєктних рішень. Тому міжнародний досвід свідчить про доцільність поєднання технічної реконструкції з реформуванням управлінських механізмів, підвищенням ролі місцевих громад та залученням міжнародної технічної й фінансової допомоги.

Якщо врахувати системний підхід до відновлення інфраструктури, слід зазначити, що традиційні парадигми «відбудувати як було» часто не відповідають реаліям постконфліктного середовища, про що зазначають автори [14] у своїй концептуальній роботі. Вони розглядають водопостачання як частину системи

критичних послуг, що має враховувати змінені демографічні й соціальні потреби після конфлікту. Підкреслюється важливість «системного мислення» та гнучких моделей відновлення, здатних адаптуватися до тривалих періодів невизначеності та нових викликів [14, с.3].

У процесі післявоєнного відновлення систем водопостачання важливим завданням є поступовий перехід від екстреної гуманітарної допомоги до стабільного та сталого управління водними ресурсами. На початкових етапах після конфлікту основна увага приділяється забезпеченню населення мінімально необхідними обсягами безпечної питної води. У цей період зазвичай переважають тимчасові технічні рішення, мобільні системи очищення води та аварійні ремонтні роботи. Однак у довгостроковій перспективі такі заходи не можуть забезпечити надійне функціонування водопровідних систем.

У статті [15, с. 1068–1087] проаналізовано питання взаємодії гуманітарних та розвиткових організацій у сфері відновлення водопостачання в умовах тривалих збройних конфліктів. Автор зазначає, що ефективна співпраця між цими секторами є необхідною умовою для переходу від короткострокової допомоги до сталого розвитку систем водопостачання. Водночас у практичній діяльності виникає низка проблем, які ускладнюють цей перехід.

Однією з основних перешкод є відмінності в організаційній культурі гуманітарних і розвиткових організацій. Гуманітарні структури, як правило, орієнтовані на швидке реагування та задоволення нагальних потреб населення, тоді як розвиткові організації зосереджуються на довгостроковому плануванні, реконструкції та модернізації критичної інфраструктури. Через це між ними можуть виникати труднощі в узгодженні цілей і підходів до реалізації проєктів відновлення.

Ще одним важливим бар’єром є питання фінансування. За спостереженнями Borgomeo, гуманітарна допомога зазвичай має обмежений строк і спрямована на покриття термінових витрат, тоді як для сталого управління системами

водопостачання необхідні стабільні фінансові ресурси на експлуатацію, технічне обслуговування та розвиток мереж. Відсутність чітких механізмів переходу між цими моделями фінансування негативно впливає на довготривалу ефективність відновлених об’єктів [15, с. 1070].

Крім того, автор звертає увагу на різний рівень професійної компетенції та спеціалізації учасників процесу відбудови. У гуманітарних проєктах часто залучаються фахівці з кризового реагування, тоді як для сталого функціонування водопровідних систем необхідні інженери, оператори мереж та управлінський персонал із відповідним досвідом. Нестача кваліфікованих кадрів на місцевому рівні ускладнює передачу об’єктів від гуманітарних організацій до постійних експлуатаційних структур.

Отже, успішне відновлення систем водопостачання можливе лише за умови поєднання термінових заходів із довгостроковою стратегією розвитку. Перехід від гуманітарної допомоги до сталого управління має здійснюватися поступово, з урахуванням організаційних, фінансових та кадрових аспектів, що дозволить забезпечити надійне та безперебійне водопостачання населення у післякризовий період [15, с. 1075].

Збройні конфлікти мають значний негативний вплив на системи водопостачання, оскільки водопровідні мережі та споруди належать до об’єктів критичної інфраструктури і часто зазнають пошкоджень або повного руйнування. Умови війни ускладнюють проведення ремонтних робіт, обмежують доступ до матеріалів і палива, а також призводять до перебоїв в електропостачанні, що безпосередньо впливає на роботу насосних станцій і очисних споруд. У таких умовах забезпечення населення питною водою стає одним із найважливіших завдань.

У дослідженні [16, роз.3, табл. 2] розглянуто стан систем водопостачання в Ємені, який тривалий час перебуває в умовах збройного конфлікту. Автори

показують, що бойові дії призвели до значних пошкоджень водопровідної інфраструктури, скорочення централізованого водопостачання та погіршення якості води. Через це багато населених пунктів опинилися в ситуації нестабільного або обмеженого доступу до безпечної питної води [16, p. 2.2].

Водночас дослідження підкреслює важливу роль місцевих громад і операторів водопостачання у підтриманні функціонування систем навіть у складних умовах. У багатьох випадках саме завдяки ініціативам на місцевому рівні вдавалося виконувати аварійні ремонти, організовувати альтернативні джерела водопостачання та забезпечувати мінімальні потреби населення у воді. Такі адаптивні стратегії включали використання локальних водозаборів, зменшення втрат в мережах, а також спрощені схеми подачі води.

Автори наголошують, що здатність громад до самоорганізації стала одним із ключових чинників збереження доступу до води під час конфлікту. Це свідчить про те, що у постконфліктний період відновлення систем водопостачання не може обмежуватися лише технічною реконструкцією об’єктів. Необхідно враховувати місцеві умови, рівень участі населення та наявний досвід управління водними ресурсами на локальному рівні.

Приклад Ємену, наведений у роботі [16], показує, що ефективні рішення для постконфліктного відновлення систем водопостачання повинні базуватися на врахуванні локального контексту. Поєднання технічних заходів, (наприклад, на рисунку 1.1 показано застосування фотоелектричних систем для перекачки води [16, роз.4, рис. 3] із підтримкою місцевих громад та розвитку їх управлінських спроможностей дозволяє підвищити стійкість систем водопостачання та забезпечити більш надійний доступ населення до води навіть у складних умовах.



(**a**)

Рисунок 1.1 – застосування фотоелектричних систем для перекачки води в Йемені [16, роз.4, рис.3]

Доступ до безпечної питної води є однією з базових потреб людини та має вирішальне значення для збереження здоров’я населення, особливо в умовах збройного конфлікту. Під час воєнних дій системи водопостачання часто зазнають значних пошкоджень, що призводить до перебоїв у подачі води, погіршення її якості та зростання ризиків виникнення інфекційних захворювань. У таких умовах забезпечення населення водою стає першочерговим завданням як для органів влади, так і для міжнародних організацій.

У працях, присвячених післяконфліктному відновленню, зокрема у дослідженні [17], питання доступу до води та санітарії розглядаються у ширшому контексті відбудови життєво важливих послуг. Автор зазначає, що відновлення водопостачання тісно пов’язане з функціонуванням інших сфер, таких як охорона здоров’я, житлово-комунальне господарство та соціальна стабільність. Без надійного доступу до питної води неможливе повноцінне повернення населення до

нормальних умов життя у післявоєнний період. Особливим є початковий етап відновлення, коли необхідно забезпечити базовий, але безпечний рівень водопостачання: тобто мінімальні обсяги води, достатні для пиття, приготування їжі та дотримання особистої гігієни. Навіть такі обмежені, але стабільні постачання води мають значний позитивний вплив на санітарний стан територій і зменшують ризик поширення захворювань, пов'язаних із забрудненою водою.

Крім медичних аспектів, доступ до питної води впливає і на соціально-економічні процеси. Відсутність водопостачання ускладнює відновлення житлового фонду, роботу закладів освіти, медичних установ та місцевого бізнесу. Натомість стабільне забезпечення водою сприяє поверненню населення, відновленню трудової діяльності та покращенню загального рівня життя. Саме тому автор підкреслює, що відновлення водопостачання повинно розглядатися як один із ключових елементів загальної стратегії післяконфліктної відбудови.

Отже, забезпечення доступу до безпечної питної води під час і після збройного конфлікту є основою для стабілізації ситуації та подальшого розвитку територій. Ранні заходи з відновлення водопостачання та санітарії мають довгостроковий позитивний ефект і створюють передумови для успішної соціально-економічної реінтеграції постраждалих регіонів.

У статті [18] розглядається актуальна проблема реконструкції нежитлових інженерних об'єктів у контексті сучасного етапу відбудови, спричиненого повномасштабною війною в Україні.

Один із головних акцентів у роботі зроблено на аналізі міжнародного досвіду відновлення міст після воєнних дій, що дозволяє зрозуміти світові підходи до реконструкції міської інфраструктури. Це важливо, оскільки Україна зараз стоїть перед необхідністю відбудови великої кількості об'єктів, зокрема тих, що були пошкоджені або зруйновані бойовими діями. Автори підкреслюють, що міжнародний досвід може бути адаптований до вітчизняних умов, якщо

враховувати соціально-економічні особливості регіонів, наявність ресурсів та технічну спроможність місцевих організацій [18, с. 59–60].

Також важливий аспект, розглянутий у роботі – це енергоефективні технології, які пропонуються для застосування під час реконструкції. Автори обґрунтовують, що сучасні підходи до відбудови не повинні обмежуватися простим відновленням колишніх технічних рішень. Натомість реконструкція має бути спрямована на підвищення енергетичної ефективності об’єктів, інтеграцію відновлюваних джерел енергії та застосування нових матеріалів та систем, що можуть забезпечити довгострокову стійкість та зниження експлуатаційних витрат у майбутньому [18, с. 62–63].

У контексті післявоєнної відбудови роботи особливо цінним є порада щодо комплексного підходу до реконструкції об’єктів нежитлового фонду. Пропонується не лише враховувати технічні вимоги, а й інтегрувати ландшафтно-містобудівні рішення, адаптовані до місцевого середовища та умов поствоєнного розвитку територій. Такий підхід допомагає забезпечити більш гармонійне включення реконструйованих об’єктів у сучасну міську або сільську структуру, що сприяє підвищенню якості життя населення [18, с. 63–64].

Ще одним важливим елементом є порівняльний аналіз технічних варіантів реконструкції, що демонструє критичний підхід авторів до вибору оптимальних рішень. Через порівняння різних технічних схем, у тому числі систем опалення з використанням альтернативних джерел енергії, робота показує, як обґрунтовано можна перейти від традиційних методів до сучасних інженерних рішень, які мають практичну цінність саме у післявоєнних умовах [18, с. 63, рис. 3].

1.4. Адаптація світових практик до умов українських міських районів

Результати аналізу основних концепцій проєктування міських систем водопостачання, класичних і сучасних підходів до реконструкції водопровідних мереж, а також міжнародного досвіду післявоєнного відновлення інженерної інфраструктури свідчать про наявність значного потенціалу для впровадження прогресивних технічних рішень у вітчизняну практику. Водночас ефективне використання світових практик в умовах відновлення українських міст потребує їх адаптації з урахуванням місцевих містобудівних умов, технічного стану мереж, економічних можливостей та специфіки експлуатації систем водопостачання.

Більшість систем водопостачання українських міст сформовані в середині та другій половині XX століття і на сьогодні характеризуються значним фізичним та моральним зношенням. Додатковим ускладнювальним фактором є щільна міська забудова, наявність розгалуженої транспортної інфраструктури та обмежені можливості для повної заміни мереж відкритим способом. У таких умовах особливої актуальності набуває адаптація світових підходів, орієнтованих не на повну реконструкцію, а на поетапну модернізацію систем із мінімальним втручанням у міський простір.

Адаптація світових практик також передбачає врахування принципів сталості та стійкості інженерних систем до надзвичайних ситуацій. У післявоєнних і посткризових умовах, характерних для сучасної України, ці принципи набувають особливого значення. У роботі [18, с.58–60] зазначається, що реконструкція інженерних об’єктів нежитлового фонду повинна здійснюватися з урахуванням перспективного розвитку територій, можливості подальшої модернізації та інтеграції новітніх інженерних рішень. Зазначені підходи є релевантними для систем водопостачання житлових районів, де важливо забезпечити безперервність водопостачання навіть у разі пошкодження окремих елементів мережі.

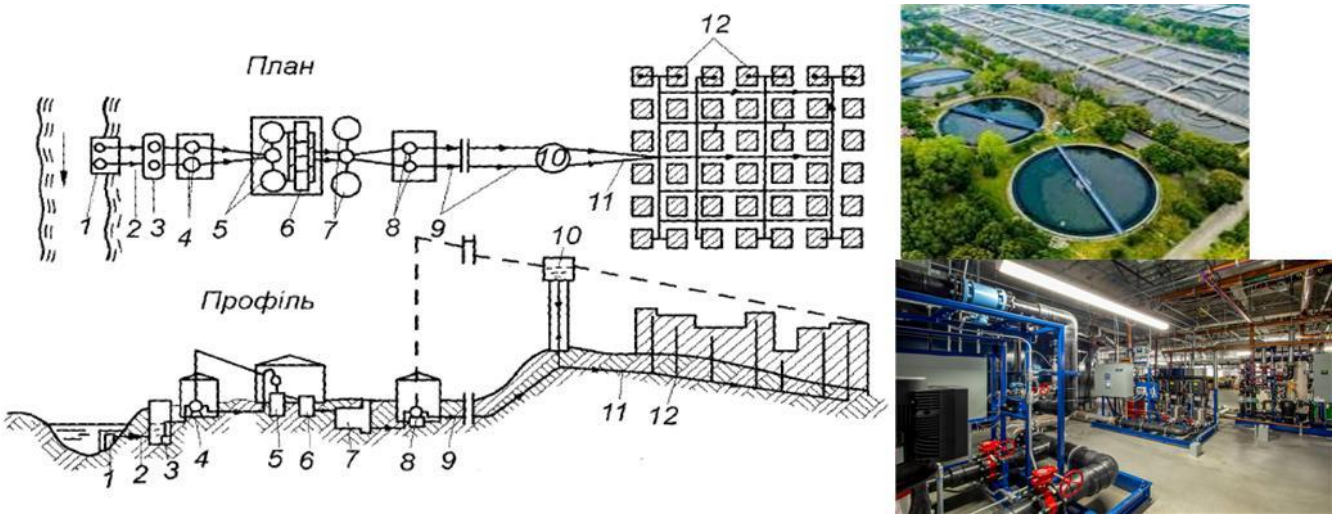
Одним із ключових елементів адаптації міжнародного досвіду є впровадження системного моніторингу стану водопровідних мереж і споруд. У дослідженні [20] обґрунтовано доцільність використання комплексного підходу до оцінки технічного стану обладнання для транспортування води в умовах міської забудови. Автори наголошують, що поєднання візуального обстеження, аналізу аварійності та використання сучасних методів розрахунків дозволяє об’єктивно визначати пріоритетні ділянки для реконструкції [19, с. 145–147]. Такий підхід є характерним для світової практики управління інфраструктурними активами та може бути ефективно адаптований до українських міст з урахуванням обмежених фінансових ресурсів.

Важливим напрямом адаптації світових практик є використання сучасних матеріалів для заміни застарілих трубопроводів. У країнах Європейського Союзу та Північної Америки широкого поширення набули полімерні трубопроводи, які відзначаються корозійною стійкістю, зменшеними гідравлічними втратами та тривалим терміном експлуатації. Доцільність впровадження таких рішень у вітчизняних умовах підтверджується результатами дослідження [20], присвяченого оцінці ефективності використання пластмасових трубопроводів для реконструкції міських водопровідних мереж. Доведено, що застосування полімерних труб дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити надійність роботи мереж і скоротити кількість аварій, що є особливо важливим для міських районів із високою щільністю населення [20, с.37].

Окрему увагу в процесі адаптації міжнародного досвіду слід приділяти впровадженню сучасних методів гідравлічного моделювання та автоматизованих систем управління. У світовій практиці такі інструменти використовуються для оптимізації режимів роботи мереж, зниження втрат води та підвищення енергоефективності насосного обладнання. В умовах українських міст їх доцільно впроваджувати поетапно, починаючи з найбільш навантажених ділянок та об’єктів

критичної інфраструктури. Дослідження вітчизняних науковців свідчать, що поєднання традиційних інженерних рішень із сучасними методами аналізу дозволяє досягти значного ефекту без суттєвого зростання капітальних витрат [20, с.36–37].

Таким чином, адаптація світових практик до умов українських міських районів має ґрунтуватися на комплексному підході, що передбачає поетапну модернізацію мереж, застосування сучасних матеріалів, використання систем моніторингу та врахування післявоєнних викликів.



1 – споруда забору води з джерела;2 – самоплинний трубопровід;3 – приймальний (береговий) колодязь;4 – насосні агрегати I підйому;5 – відстійні споруди;6 – фільтрувальні установки;7 – резервуари для зберігання очищеної води;8 – насосна станція II підйому;9 – напірні водоводи;10 – водонапірна вежа;11 – магістральна водопровідна мережа;12 – розподільча мережа водопостачання

Рисунок 1.2 – Принципова схема системи централізованого водопостачання населеного пункту **[**5**]**

Узагальнення міжнародного досвіду в поєднанні з результатами вітчизняних наукових досліджень створює науково обґрунтовану основу для прийняття проєктних рішень у сфері міського водопостачання.

Відновлення систем водопостачання у післявоєнний період є не лише інженерним завданням, а комплексним процесом, що потребує міждисциплінарного підходу. Його успішна реалізація можлива за умови поєднання сучасних технічних рішень, ефективного управління, стратегічного планування та орієнтації на довгострокову стійкість і безпеку водопостачання як ключового елемента життєдіяльності населення. Отримані в цьому розділі теоретичні положення та узагальнення світових і вітчизняних практик є підґрунтям для розроблення проєктних рішень щодо модернізації системи водопостачання з урахуванням реальних умов експлуатації та вимог чинних нормативних документів в процесі відновлення об’єктів комунального господарства.

РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА УМОВ ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1 Характеристика умов проєктування мережі

За ступенем благоустрою та характером забудови територія міста може бути розділена на три райони. В першому районі загальною площею 90,0 га розташовані переважно п'ятиповерхові будинки, обладнані внутрішнім водопроводом, каналізацією, ваннами з місцевими водонагрівачами, щільність населення 220 чол/га.

Другий район має переважно дванадцятиповерхову забудову загальною площею 228,4 га, будинки обладнані внутрішнім водопроводом, каналізацією і централізованим гарячим водопостачанням, щільність населення 510 чол/га.

Третій район має дев'ятиповерхову забудову загальною площею 240,7 га, будинки обладнані внутрішнім водопроводом, каналізацією і централізованим гарячим водопостачанням, щільність населення 430 чол/га.

У місті є два промислових підприємства: порцеляновий завод та завод хлібобулочних виробів, розташовані на території I та II районів відповідно, в гарячих цехах яких працює 30 % робітників. Джерело водопостачання підприємств – міська магістральна мережа.

Кількість населення в кожному районі міста визначена по формулі:

$$N_i = P_i \times F_i, \tag{2.1}$$

де P_i – щільність населення, чол/га;

F_i – площа і-го району.

$$N_1 = 220 \times 90 = 19800\,чол;\ N2 = 510 \times 228{,}4 = 116495\,чол;\ N_3 = 430 \times 240{,}7 = 103502 чол.$$

Кількість населення в місті в цілому становить 198940 чол., площа 472 га, середня щільність населення – 422 чол/га.

Джерелом водопостачання є природний водотік – річка. Місце розташування башти прийнято на височині північного краю міста, спостерігається помірне зниження рельєфа з півночі на південь. При такому розташуванні башти розрахунковою схемою буде однозонна схема з контррезервуаром.

2.2 Розрахункове добове водоспоживання міста

Розрахункові витрати води для міста включають потреби населення у господарсько-питному водоспоживанні, полив вулиць і зелених зон, а також потреби промислових підприємств. Для кожного з двох районів міста витрати води на господарсько-питні потреби та полив визначаються окремо. Середньодобове водоспоживання і-го району обчислюють за формулою, м³/добу:

$$Q_{добі} = N_i \times q_i / 1000, \quad (2.2)$$

де q_i – питоме господарсько-питне водоспоживання на одного мешканця, л/доб [1, табл.1].

Розрахункові витрати води для окремих районів у добу найбільшого та найменшого водоспоживання, м^3/доб, визначені за формулами:

$$Q_{доб.макс} = K_{доб.макс.} \times Q_{добі}, \quad (2.2)$$

$$Q_{доб.мін} = K_{доб.мін.} \times Q_{доб} \quad (2.3)$$

де $K_{доб.макс.}$ $K_{доб.мін.}$ – відповідно максимальний і мінімальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання і-го району [1, п. 6.1.2].

Розрахунки по визначенню добових витрат води представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Добові витрати води на господарсько-питні потреби населення

№	Кіль кість мешканців, чол.	q, л/доб люд	$К_{доб.макс.}$	$К_{доб.мін.}$	$Q_{доб.сер.}$	$Q_{доб.макс}$	$Q_{доб.мін}$
1	19800	230	1,2	0,8	4554,00	5464,80	3643,2
2	116495	285	1,2	0,8	33201,0	39841,2	26560,8
3	103502	285	1,2	0,8	29498,0	35397,6	23598,4
Загалом	239797				67253	80703,6	53802,4

Витрати води на полив вуличної території та зелених насаджень визначено за питомими нормативами водоспоживання у перерахунку на одного мешканця відповідно до [1, табл. А2]. Розрахунок виконано для населеного пункту з чисельністю населення від 50 до 250 тис. осіб, що розташований у II кліматичному районі. Для таких умов питома витрата води на полив приймається на рівні 65–80 л/добу на одного мешканця.

Загальний обсяг води, що використовується для поливальних робіт, розподіляється між різними способами виконання цих робіт: приблизно 40 % витрати припадає на ручний полив, який виконують двірники**, тоді як** близько 60 % води використовується поливальними машинами**.** Результати розрахунку витрат води, необхідних для поливу вулиць та зелених насаджень, наведено у таблиці 2.2**.**

На промислових підприємствах вода використовується для забезпечення господарсько-питних потреб працівників, приймання душу після роботи, а також для виконання виробничих процесів, обсяги яких визначаються з урахуванням технологічних особливостей виробництва.

Таблиця 2.2 – Добова витрата води на полив вулиць і зелених насаджень

Район міста	Кількість мешканців	Питома витрата на полив, л/меш	Добова витрата води на полив,м^3/доб		
			Всього по району	Двірниками	машинами
Перший район	19800	80	1584,00	633,60	950,40
Другий район	116495	65	7588,80	3035,52	4553,28
Третій район	103502	65	6742,40	2696,96	4045,44
Усього	239797		15915,20	6366,08	9549,12

Питоме водоспоживання для виробничих приміщень із значними тепловиділеннями понад 80 кДж (20 ккал) на 1 м³/год (гарячі цехи) приймається в кількості 45 л на одного працівника за зміну. Для інших виробничих цехів нормативна витрата води становить 25 л на одного працівника за зміну.

Результати розрахунку витрат води на потреби промислових підприємств наведено у таблиці 2.3**.**

Таблиця 2.3 – Визначення розрахункових витрат на господарсько-питні потреби робітників

Зміна	Кількість робітників	Гарячі цеха			Холодні цеха			Загальна витрата
		Кількість робітників, чол.	Питома витрата, л/зм чол	Витрата води, м^3	Кількість робітників.чол	Питома витрата, л/зм чол	Витрата води, м^3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Підприємство № 1								
1	*1200*	*360*	*45*	*16,20*	*840*	*25*	*21,00*	*37,2*
2	900	270		12,15	630		15,750	27,90
3	0	0		0				
	2100	630		*28,35*	1470		36,75	65,10
Підприємство № 2								
1	*1000*	*300*	*45*	*13,50*	*700*	*25*	*17,50*	*31,00*
2	900	270		12,15	630		15,75	27,90
3	700	210		9,45	490		12,25	21,70
	2600	*780*		*35,10*	*1820*		*45,50*	*80,60*

Витрата води на користування душем на промпідприємстві:

$$Q = 0{,}5\sum N_i \,/\, n_i \,, \tag{2.4}$$

де 0.5 – годинна витрата води на одну душову сітку, м^3;

N_i – кількість робітників у цехах з і-ою характеристикою виробничого процесу;

n_i – розрахункова кількість людей на одну душову сітку для і-ої санітарної характеристики виробничого процесу.

Витрата води на виробничі потреби на промислових підприємствах приймається за даними технологічного процесу з урахуванням розрахунків за формулою

$$Q=N\times M. \tag{2.5}$$

де M – кількість продукції, що випускається за добу, м^3/добу;

N – норма витрати на одиницю продукції, м^3/од.

Результати розрахунків зведені у таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Добові витрати на виробничі потреби підприємств

Підприємство	Одиниця продукції, що випускається	Кількість продукції, що випускається	Норма витрати на од.	Добова витрата Q, м^3
Порцеляновий завод	1 тис. м^2	30	150	4500
Завод хлібобулочних виробів	1 т виробів	10	4,5	450
				4950

Таблиця 2.4 – Витрати води на душ

Назва	Зміни			Група процесу	Кількість робітників	Кількість сіток			Витрата води, куб. м		
Підприємство 1											
	1	2	3			1	2	3	1	2	3
Гар.цех	360	270		IIв	5	72	54		27,00	20,25	
Хол. цех	840	630		Ia	15	56	42		21,00	15,75	
загалом	1200	900				128	96		48,00	36,00	
Підприємство 2											
Гар.цех	300	270	210	IIв	5	60	54	42	22,5	20,25	15,75
Хол. цех	700	630	490	Ia	15	47	42	33	17,62	15,75	12,38
загалом	1000	900	700			107	96	75	40,12	36,00	28,12

Населення міста більше 100 тис. чол. і площа підприємства менше як 150 га [1, п. 6.2.11], тому загальна витрата на гасіння однієї зовнішньої пожежі дорівнює сумі необхідної витрати в населеному пункті та 50% витрати на підприємстві. Витрата на зовнішнє пожежогасіння в населеному пункті з кількістю населення 239797 чол. і поверховістю будинків більше як 3 поверхи дорівнює 40 л/с на одну зовнішню пожежу та 5 л/с на одну внутрішню пожежу з кількістю одночасних пожеж 3 [1, п. 6.2.2, табл. 3]. Витрата на зовнішнє пожежогасіння на підприємстві 1 зі ступенем вогнестійкості будинків I,II і категорією виробництва за пожежною безпекою Б, В при об'ємах найбільшої будівлі 18 тис. м^3 (від 5 до 20 тис. м^3) складає 15 л/с; на підприємстві 2 зі ступенем вогнестійкості будинків II і категорією виробництва за пожежною безпекою В при об' ємі найбільшої будівлі 5 тис. м^3 – 10 л/с [1, п. 6.2.4, табл. 5].

Загальна витрата на пожежогасіння визначається за формулою:

$$Q_п = n \times (q_{зов} + q_{вн}) + 0.5 \times q_{під}, \quad (2.6)$$

де n – кількість одночасних пожеж;

$q_{зов}$ – розрахункова витрата води на гасіння зовнішньої пожежі, л/с;

$q_{вн}$ – розрахункова витрата води на внутрішнє пожежогасіння, л/с;

$q_{під}$ - витрата на пожежогасіння на підприємстві

$$Q_п = 3 \times (40+5) + 0{,}5 \times (15+10) = 147{,}5 \text{ л/с}.$$

При розрахунковій тривалості гасіння пожежі, що дорівнює 3 годинам, об'єм води на потреби пожежегасіння становить:

$$W_{пож} = 3 \times 3600 \times 147{,}5/1000 = 1593 \text{ м}^3.$$

2.3 Розробка режиму водоспоживання міста

Режим витрати води формується наступними видами водорозбору та їх режимами:

- полив вулиць механізований, в одну зміну, починається о 6-00 годині та закінчується о 20-00 годині, режим рівномірний;
- поливання зелених насаджень виконується вручну, рівномірно в ранкові й вечірні години: з 4-00 до 8-00 години та з 17-00 до 21-00 години;
- витрата води на виробничі потреби підприємства рівномірна протягом доби;
- витрата води на господарсько-питні потреби робітників на виробництві прийнята рівномірною впродовж зміни;
- витрата води на прийняття душу, що витрачається протягом 45 хвилин після кожної зміни;
- витрата води на господарсько-питні потреби населення нерівномірна впродовж доби.

Для визначення режиму водоспоживання на господарсько-питні потреби і-го району максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності визначається по формулі:

$$K_{год.макс.\,i}=\alpha_{imакс.}\,\beta_i \qquad (2.7)$$

де $\alpha_{imакс.}$ – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків,

$\alpha_{1макс}=1,3$; $\alpha_{2макс.}=\alpha_{3макс.}=1,3$ [1, п. 6.1.2];

β_i –- коефіцієнт, що враховує число мешканців у відповідному районі,

$\beta_1=1,202$; $\beta_2=1,105$, $\beta_3=1,116$ [1,п. 6.1.2].

$$K_{год.макс.\,1}=1,3\times 1.202=1,56;$$

$$K_{год.макс.\ 2}=1{,}4\times1.105=1{,}55;$$

$$K_{год.макс.\ 31}=1{,}4\times1.116=1{,}56.$$

Визначені коефіцієнти $K_{год}$ відрізняються від табличних коефіцієнтів [5]. Розподіл водоспоживання за годинами доби прийнято за коефіцієнтом $K_{год}$ =1,5. При цьому значення витрати у відсотках від $Q_{доб}$ у годину максимального водоспоживання змінені на значення:

$$q_{макс.\ год.i} = K_{год.макс.} \times 4{,}17, \qquad (2.8)$$

$q_{макс.\ год.I} = q_{макс.\ год.3}$ =4,17×1,56 = 6,51; $q_{макс.\ год.2}$ = 4,17×1,55 = 6,46.

Результати ррозрахунків приведені у таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Сумарне водопостачання міста

Години	Господарсько-побутове водоспоживання						Полив					
	1 район		2 район		3 район		1 район		2 район		3 район	
	%	куб.м	%	куб.м	%	куб.м	Двірники	Машини	Двірники	Машини	Двірники	Машини
0-1	1,5	81,97	1,5	597,62	1,5	530,96						
1-2	1,5	81,87	1,5	597,62	1,5	530,96						
2-3	1,5	81,97	1,5	597,62	1,5	530,96						
3-4	1,5	81,97	1,5	597,62	1,5	530,96						
4-5	2,5	136,62	2,5	996,03	2,5	884,94	79,2		379,44		337,12	
5-6	3,5	191,28	3,5	1394,43	3,5	1238,93	79,2		379,44		337,12	
6-7	4,5	245,92	4,5	1792,85	4,5	1592,89	79,2	67,89	379,44	325,24	337,12	288,96
7-8	5,5	300,56	5,5	2191,27	5,5	1946,87	79,2	67,89	379,44	325,24	337,12	288,96
8-9	6,51	355,76	6,46	2573,74	6,51	2304,38		67,89		325,24		288,96
9-10	**6,51**	**355,76**	**6,46**	**2573,74**	**6,51**	**2304,38**		**67,89**		**325,24**		**288,96**
10-11	6,30	344,28	6,28	2502,03	6,30	2230,05		67,89		325,24		288,96
11-12	6,00	327,89	6,00	2390,47	6,00	2123,86		67,89		325,24		288,96
12-13	5,50	300,56	5,5	2191,27	5,50	1946,87		67,89		325,23		288,96
13-14	5,00	273,24	5,0	1992,06	5,00	1769,88		67,89		325,23		288,96
14-15	5,00	273,24	6,0	1992,06	5,00	1769,88		67,88		325,23		288,96
15-16	5,94	324,61	6,00	2390,47	5,94	2102,62		67,88		325,23		288,96
16-17	5,94	324,61	5,5	2390,47	5,94	2102,62		67,88		325,23		288,96
17-18	5,50	300,56	5,5	2191,27	5,50	1946,87	79,2	67,88	379,44	325,23	337,12	288,96
18-19	5,00	273,24	5,0	1992,06	5,00	1769,88	79,2	67,88	379,44	325,23	337,12	288,96
19-20	4,50	245,92	4,5	1792,85	4,50	1592,89	79,2	67,88	379,44	325,23	337,12	288,96
20-21	4,00	218,59	4,0	1593,65	4,00	1415,90	79,2		379,44		337,12	
21-22	3,00	163,94	3,0	1195,24	3,00	1061,93						
22-23	1,80	98,37	1,8	717,14	1,80	637,16						
23-24	1,50	81,97	1,5	597,62	1,50	530,96						
Усього	100	5464,8	100	39841,20	100	35397,6	633,60	950,40	3035,52	4553,28	2696,96	4045,44

продовження таблиці 2.6

	Підприємство 1						Підприємство 2						Усього	
	Холодний цех		Гарячий цех		Душ, куб.м	Вироб-ництво	Холодний цех		Гарячий цех		Душ, куб.м	Вироб-ництво	куб.м	%
	%	куб.м	%	куб.м			%	куб.м	%	куб.м				
1					36,0		12,05	1,48	6,25	0,59	36	18,75	1303,37	1,28
2							12,05	1,48	12,50	1,18		18,75	1231,96	1,21
3							12,05	1,48	12,50	1,18		18,75	1231,96	1,21
4							12,05	1,47	18,75	1,77		18,75	1232,54	1,21
5							12,05	1,47	6,25	0,59		18,75	2834,16	2,78
6							12,05	1,48	12,50	1,18		18,75	3641,81	3,57
7							12,05	1,48	12,50	1,18		18,75	5130,92	5,04
8							15,65	1,91	18,75	1,78		18,75	5938,99	5,83
9	**12,05**	**2,53**	**6,25**	**1,01**		**281,25**	**12,05**	**2,11**	**6,25**	**0,84**	**28,12**	**18,75**	**6250,58**	**6,13**
10	12,05	2,53	12,50	2,03		281,25	12,05	2,11	12,50	1,69		18,75	6224,33	6,11
11	12,05	2,53	12,50	2,03		281,25	12,05	2,11	12,50	1,69		18,75	6066,81	5,95
12	12,05	2,53	18,75	3,03		281,25	12,05	2,11	18,75	2,53		18,75	5843,51	5,73
13	12,05	2,53	6,25	1,01		281,25	12,05	2,11	6,25	0,84		18,75	5427,27	5,33
14	12,05	2,53	12,50	2,03		281,25	12,05	2,11	12,50	1,69		18,75	5025,62	4,93
15	12,05	2,53	12,50	2,03		281,25	12,05	2,11	12,50	1,69		18,75	5025,61	4,93
16	15,65	3,29	18,75	3,03		281,25	15,65	2,73	18,75	2,53		18,75	5811,35	5,70
17	12,05	1,90	6,25	0,76	48,0	281,25	12,05	1,90	6,25	0,76	40,12	18,75	5893,21	5,78
18	12,05	1,90	12,50	1,52		281,25	12,05	1,90	12,50	1,52		18,75	6223,37	6,11
19	12,05	1,90	12,50	1,52		281,25	12,05	1,90	12,50	1,52		18,75	5819,85	5,71
20	12,05	1,90	18,75	2,28		281,25	12,05	1,90	18,75	2,28		18,75	5417,85	5,32
21	12,05	1,90	6,25	0,76		281,25	12,05	1,90	6,25	0,76		18,75	4329,22	4,25
22	15,65	1,90	12,50	1,52		281,25	12,05	1,90	12,50	1,52		18,75	2727,95	2,68
23	12,05	1,90	12,50	1,52		281,25	12,05	1,90	12,50	1,52		18,75	1759,51	10,73
24	15,65	2,45	18,75	2,27		281,25	15,65	2,45	18,75	2,27		18,75	1519,98	1,48
	200	36,75	61	28,35	84,0	4500		45,50		35,10	104,24	450,00	101902,74	100,00

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Трасування водопровідної мережі

Вода від насосної станції другого підйому подається у водопровідну мережу по двох водогонах довжиною м, до магістральної мережі водоводи приєднуються у вузлу 1. магістральна мережа рівномірно розташована на території міста та охоплює всіх великих споживачів (промислові підприємства забезпечуються водою від вузлів №15,6), які використовують воду міського водопроводу. Водопостачання житлових кварталів здійснюється від розподільної мережі, ділянками якої вода транспортується уздовж вулиць та проїзних шляхів міста. Мережа складається з 12 контурів, 32 ділянок та 21 вузла, як показано на рис. 3.1.

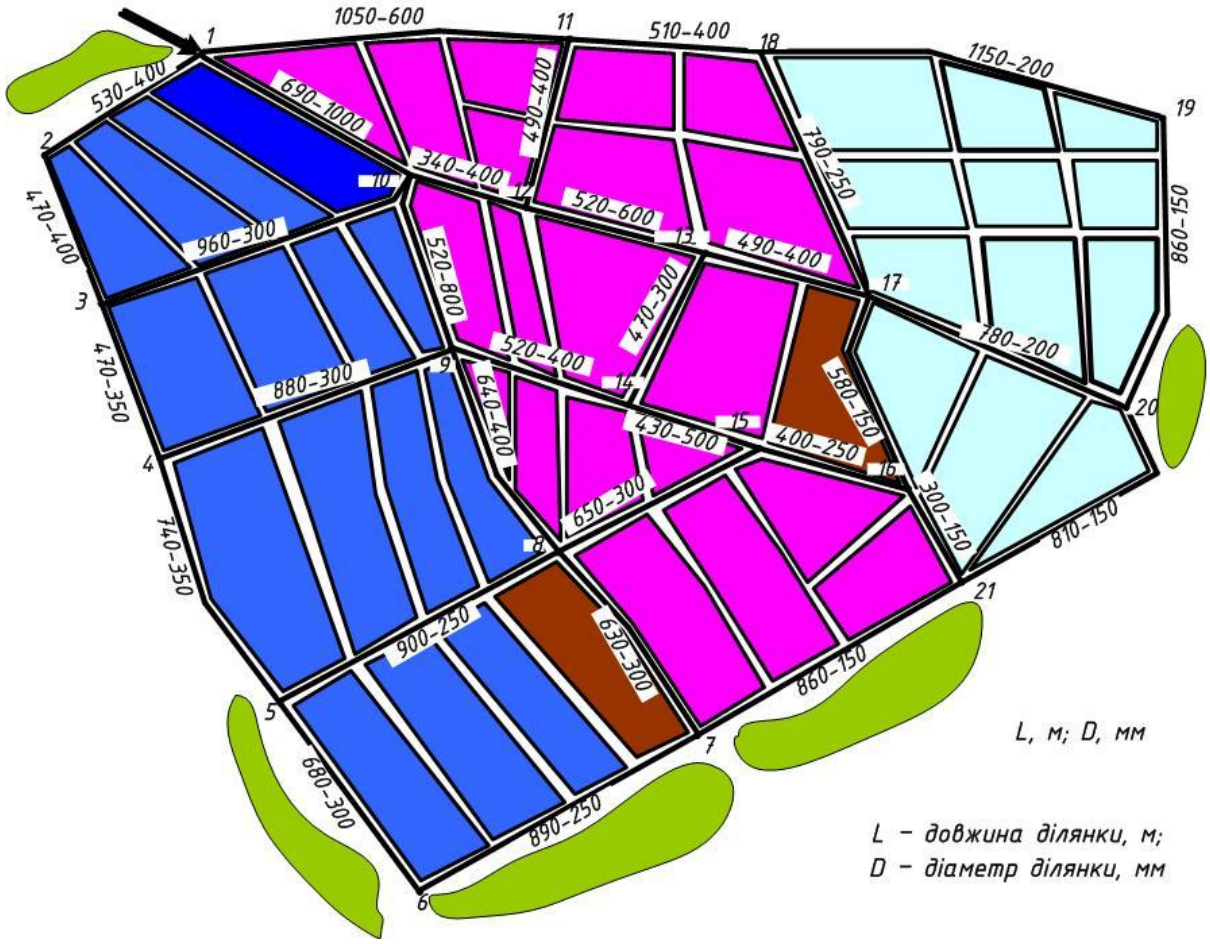


Рисунок 3.1 - Трасування мережі транспортування води

Водонапірна башта приєднується до мережі в найвищому місці – вузлу № 10. При такому трасуванні сумарна довжина ділянок магістральної мережі становить 18450 м.

3.2 Визначення характерних режимів роботи мережі та визначення годинних і секундних витрат мережі

За даною схемою водопостачання населеного пункту водонапірна башта розташована в середині мережі (вузол 11). розрахунок сумісної роботи водоводів, водопровідної мережі, насосної станції та регулювальних місткостей виконано для наступних режимів подачі води в добу максимальної потреби: режим подачі води в годину максимального водоспоживання, режим подачі води в годину максимального транзиту та режим подачі води при пожежогасінні в годину максимального водоспоживання.

Максимальний годинний відбір води з водопровідної мережі припадає на інтервал часу з 8 до 9 години доби. У цей період із мережі відбирається 6250,58 м³ води, що становить 6,13 % від загального добового водоспоживання, або 1736,3 л/с. Із зазначеного об’єму на потреби промислових підприємств витрачається 334,61 м³ води (92,9 л/с) у вигляді зосереджених витрат у вузлах мережі №17 та №7, які становлять відповідно 284,79 м³ (79,1 л/с) та 49,82 м³ (13,8 л/с). Решта води – 5915,97 м³ (1643,4 л/с) – використовується на господарсько-питні потреби населення, а також на полив вулиць і зелених насаджень. Ці витрати розподіляються рівномірно по довжині мережі між районами міста, зокрема:

- перший район: 423,65 м³ (117,7 л/с);
- другий район: 2898,98 м³ (805,3 л/с);

- третій район: 2593,34 м³ (720,4 л/с).

Надходження води до мережі від насосної станції в годину максимального водоспоживання становить 5451,8 м³ (1514,4 л/с). Додаткова кількість води, необхідна для забезпечення потреб споживачів у цей період, подається з водонапірної башти і становить 798,78 м³ (221,9 л/с).

Максимальний транзит води в мережі спостерігається у проміжку часу з 5 до 6 години, коли сумарний водовідбір становить 3641,81 м³, або 3,57 % добового споживання (1011,6 л/с). Із цього об'єму на потреби промислових підприємств припадає 21,41 м³ (6 л/с) у вигляді зосередженої витрати у вузлі №6.

Інша частина води – 3620,4 м³ (1005,6 л/с) витрачається на господарсько-питні потреби населення та полив територій із рівномірним розподілом по мережі, у тому числі:

- перший район: 270,48 м³ (75,1 л/с);
- другий район: 1773,87 м³ (492,7 л/с);
- третій район: 1576,05 м³ (437,8 л/с).

Подача води насосною станцією в годину максимального транзиту становить 5451,8 м³ (1514,4 л/с). Надлишок води, що надходить від водозабору в цей період, акумулюється у водонапірній башті та складає 1810 м³ (502,8 л/с).

3.3 Визначення питомих, шляхових і вузлових витрат

Довжина магістральної водопровідної мережі, розташованої на території першого району міста, формується розрахунковими ділянками 17–20, 18–19 та 20–21 і становить 3600 м.

Ділянки 18–19 та 20–21 мають житлову забудову з одного боку; їх сумарна довжина дорівнює 2820 м. Ділянки 18–17, 17–16 та 16–21 проходять по межі першого і другого районів, їх загальна довжина становить 1670 м.

Магістральна водопровідна мережа другого району міста включає розрахункові ділянки 1–11, 11–18, 11–12, 10–12, 12–13, 13–17, 13–14, 9–14, 14–15, 15–8, 15–16 та 7–21, загальна довжина яких складає 6730 м. Із них ділянки 1–11, 11–18 та 7–21 мають житлову забудову з одного боку, а їх сумарна довжина становить 2420 м.

Ділянки 1–10, 10–9, 9–8 та 8–7 розташовані на межі другого і третього районів міста; їх загальна довжина дорівнює 2480 м.

Довжина магістральної водопровідної мережі третього району формується ділянками 1–2, 2–3, 3–4, 3–10, 4–9, 4–5, 5–6, 5–8 та 6–7 і становить 6520 м. Серед них ділянки 1–2, 2–3, 3–4, 4–5, 5–6 та 6–7 мають житлову забудову з одного боку; їх загальна довжина складає 3780 м.

На основі відомої довжини магістральної мережі та величин розосереджених витрат води для кожного району визначено питомі витрати для режиму максимального водоспоживання. Під час розрахунків враховано, що довжини ділянок, розташованих на межах районів, розподіляються між ними порівну.

Питома витрата води для *i*-го району в умовах максимального водоспоживання визначається за такою залежністю:

$$q_{num.i} = \left(Q_i - \Sigma Q_{ci}\right) / \Sigma l_i \qquad (3.1)$$

де Q_i – повна витрата води для і-го району, що відбирається з мережі при максимальному водоспоживанні, л/с;

ΣQ_{ci} – сумарна зосереджена витрата води в *i*-му районі, л/с;

Σl_i – розрахункова сумарна довжина магістральних трубопроводів *i*-го району, м.

Для 1-го району

$$q_{пит.1} = \frac{117,7}{(3600-2820)/2 + 2820/2 + 1670/2)} = 0,03891 л/с \cdot м;$$

для 2-го району

$$q_{пит2} = \frac{805,3}{(6370-2420) + 2420/2 + 1670/2 + 2480/2)} = 0.10603 л/с \cdot м;$$

$$q_{пит2} = \frac{720,4}{(6520-3780) + 3780/2 + +2480/2)} = 0.12273 л/с \cdot м$$

$$q_{пит1\text{-}2} = (0,03891 + 0,10603)/2 = 0,07247 л/с \cdot м;$$

$$q_{пит.2\text{-}3} = (0,10603 + 0,12273)/2 = 0,11438 л/с \cdot м.$$

Водовіддача кожної ділянки, тобто шляхова витрата визначена за формулою:

$$Q_{шл} = q_{пит.і} \times l_{діл}, \quad (3.2)$$

де $l_{діл}$ – довжина ділянки, що розглядається, м.

Відбір шляхових витрат здійснюється у вузлах мережі до яких примикають розрахункові ділянки. Розрахункова вузлова витрата будь-якого вузлу мережі складається з фактичної зосередженої витрати, що відбирається безпосередньо у вузлі і напівсуми шляхових витрат всіх ділянок, що примикають до вузла:

$$Q = Q_{зос} + 1/2 \sum \quad Q_{шлях.і}, \quad (3.3)$$

де n – кількість розрахункових ділянок що примикають до і-того вузлу.

Шляхові витрати для режиму транзиту обчислено з використанням коефіцієнту перерахунку $K_{пер}$.

$$Q_{шл.і.тр.} = K_{пер.} \times Q_{шл.і.МВ} \quad (3.4)$$

де $Q_{\text{шл.і.тр.}}$– шляхова витрата ділянки для режиму подачі води в годину максимального транзиту,

$K_{\text{пер.}}$ – коефіцієнт перерахунку,

$Q_{\text{шл.і.МВ}}$– шляхова витрата ділянки для режиму подачі вди в годину максимального водоспоживання.

$$К_{\text{пер.}} = Q_{\text{тр}}/Q_{\text{мв}} \quad (3.5)$$

$$К_{\text{пер.}} = \frac{3620{,}40}{5915{,}97} = 0{,}612.$$

Розрахунок шляхових витрат ділянок для випадку максимального водоспоживання представлено в таблиці 3.1.

3.4 Початковий потокорозподіл, визначення діаметрів ділянок та вихідні розрахункові схеми мережі

Попередній розподіл потоків по ділянках мережі для розрахункових режимів виконано з дотриманням першого закону Кірхгофа тобто балансу витрат води для вузлів мережі [5, с. 68]. При цьому врахована вимога забезпечення безперебійності надходження води споживачам, а саме можливість взаємозамінності ділянок мережі при аварійних ситуаціях.Попередньо визначені витрати по ділянках мережі та їх напрямки показані рис. 3.2 та в таблиці А.1 додатку А – для режиму подачі води в мережу в годину максимального водоспоживання, на рисунку 3.3 і в таблиці А.2 – для режиму подачі води в мережу в годину максимального транзиту, на рисунку 3.4 і в таблиці А.3 для режиму подачі води в мережу годину максимального водоспоживання при пожежі. З урахуванням витрати ділянок призначені діаметри для години максимального водоспоживання. Вихідними даними є попередньо призначені.

Таблиця 3.1 – Розрахунок шляхових та вузлових витрат

№	Номера ділянок, що виходять з вузлу	Довжина ділянок, м	№ району	Питомі витрати ділянок, л/(с×м)	Шляхові витрати, л/с	Зосереджені витрати при максимальному водоспоживанні, л/с	Наведені до вузлових шляхові витрати при макс. водоспоживанні, л/с	Зосереджені витрати при максимальному транзиті, л/с	Наведені до вузлових шляхові витрати при транзиті, л/с
1	1-2	265	3	0,12273	33,52		83,60		51,20
	1-10	690	3-2	0,11438	78,92				
	1-11	525	2	0,10603	55,67				
2	2-1	265	3	0,12273	32,52		30,70		18,80
	2-3	235	3	0,12273	28,84				
3	3-2	235	3	0,12273	28,84		87,80		53,60
	3-4	235	3	0,12273	28,84				
	3-10	960	3	0,12273	117,82				
4	4-3	235	3	0,12273	28,84		91,10		55,80
	4-5	370	3	0,12273	45,41				
	4-9	880	3	0,12273	108,00				
5	5-4	370	3	0,12273	45,41		98,80		60,50
	5-6	340	3	0,12273	41,73				
	5-8	900	3	0,12273	110,46				
6	6-5	340	3	0,12273	41,73		48,20		29,50
	6-7	445	3	0,12273	54,61				
7	7-6	445	3	0,12273	54,61	13,80	100	6,00	58,70
	7-8	630	3-2	0,11438	72,06				
	7-21	430	2	0,10603	45,59				
8	8-5	900	3	0,12273	110,46		162,30		99,30
	8-7	630	3-2	0,11438	72,03				
	8-9	640	3-2	0,11438	73,20				
	8-15	650	2	0,10603	68,92				
9	9-4	880	3	0,12273	108,00		147,90		90,50
	9-8	640	3-2	0,11438	73,20				
	9-10	520	3-2	0,11438	59,48				
	9-14	520	2	0,10603	55,14				
10	10-1	690	3-2	0,11438	78,92		146,00		89,40
	10-3	960	3	0,12273	117,82				

	10-9	520	3-2	0,11438	59,48				
	10-12	340	2	0,10603	36,05				
11	11-1	525	2	0,10603	55,67		67,30		41,20
	11-12	490	2	0,10603	51,95				
	11-18	255	2	0,10603	27,04				
12	12-10	340	2	0,10603	36,05		71,60		43,80
	12-11	490	2	0,10603	51,95				
	12-13	520	2	0,10603	55,14				
13	13-12	520	2	0,10603	55,14		78,50		48,00
	13-14	470	2	0,10603	49,83				
	13-17	490	2	0,10603	51,95				
14	14-9	520	2	0,10603	55,14		75,30		46,00
	14-13	470	2	0,10603	49,83				
	14-15	430	2	0,10603	45,59				
15	15-8	650	2	0,10603	68,92		78,50		48,00
	15-14	430	2	0,10603	45,59				
	15-16	400	2	0,10603	42,21				
16	16-15	400	2	0,10603	42,21		53,10		32,50
	16-17	580	2-1	0,7247	42,03				
	16-21	300	2-1	0,,7247	21,74				
17	17-13	490	2	0,10603	51,95	79,10	169,90	0,00	55,60
	17-16	580	2-1	0,07247	42,03				
	17-18	790	2-1	0,07247	57,25				
	17-20	780	1	0,03891	30,35				
18	18-11	255	2	0,10603	27,04		55,30		32,60
	18-17	790	2-1	0,07247	57,25				
	18-19	575	1	0,03891	22,37				
19	19-18	575	1	0,03891	22,37		19,60		12,00
	19-20	430	1	0,03891	16,73				
20	20-17	780	1	0,03891	30,35		31,40		19,20
	20-19	430	1	0,03891	16,73				
	20-21	405	1	0,03891	15,76				
21	21-7	430	2	0,10603	45,59		41,50		25,40
	21-16	300	2-1	0,07247	21,74				
	21-20	405	1	0,03891	15,76				
					1643,43	92,90	1736,30	6,00	1011,60

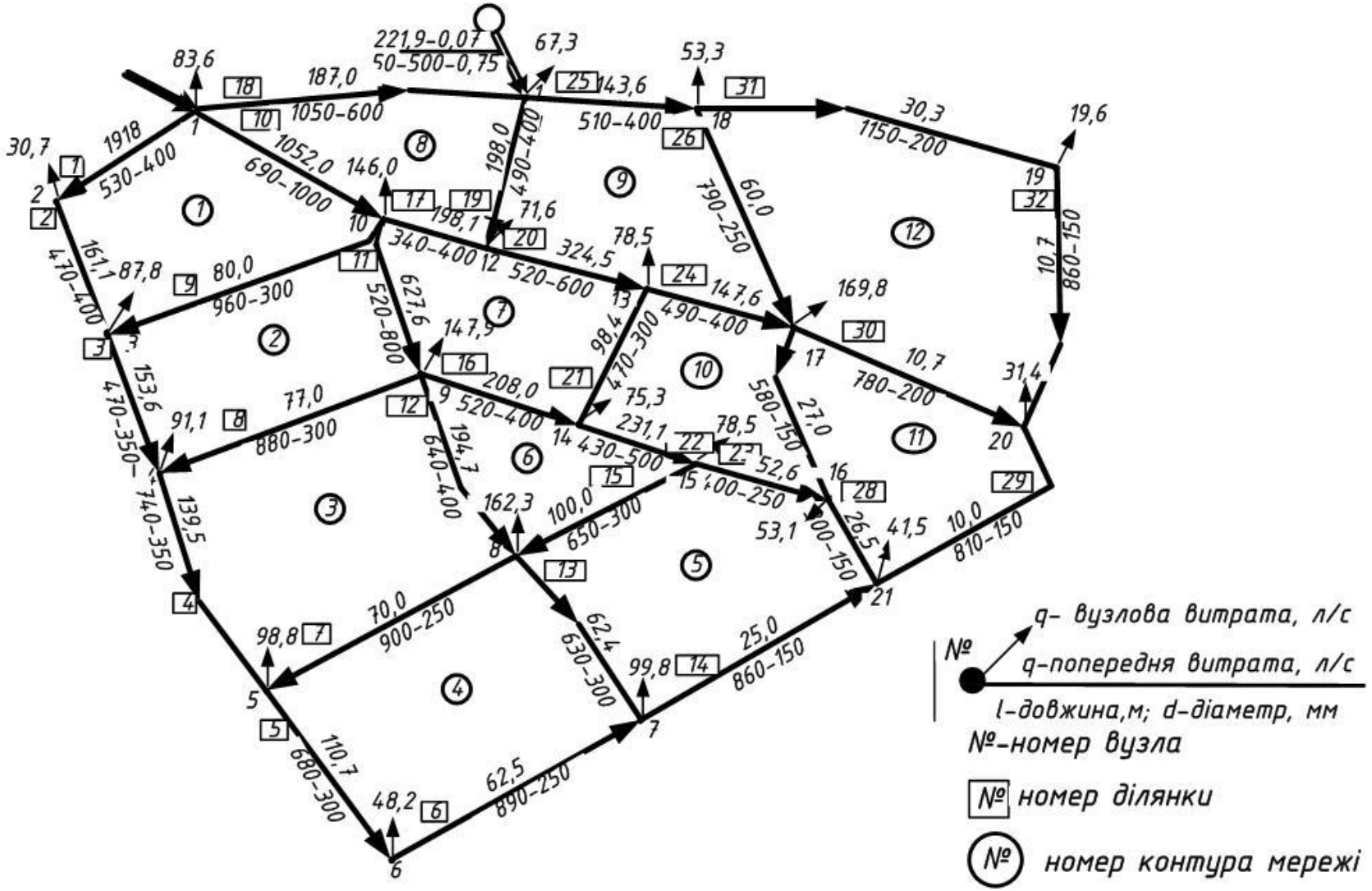


Рисунок 3.2 – Карта попереднього потокорзподілу для години максимального водоспоживання

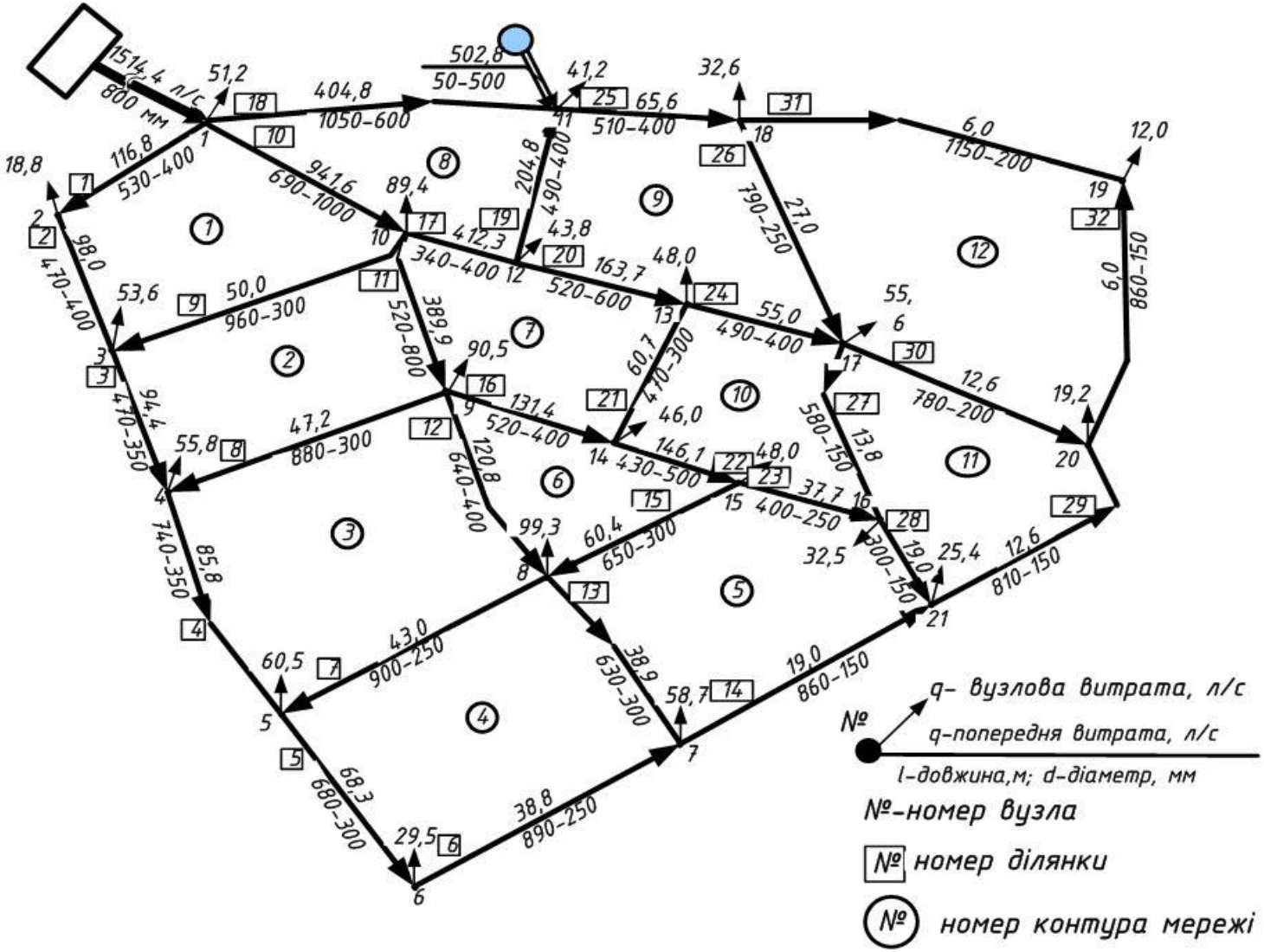


Рисунок 3.3 – Карта попереднього потокорзподілу для години максимального транзиту води в башту

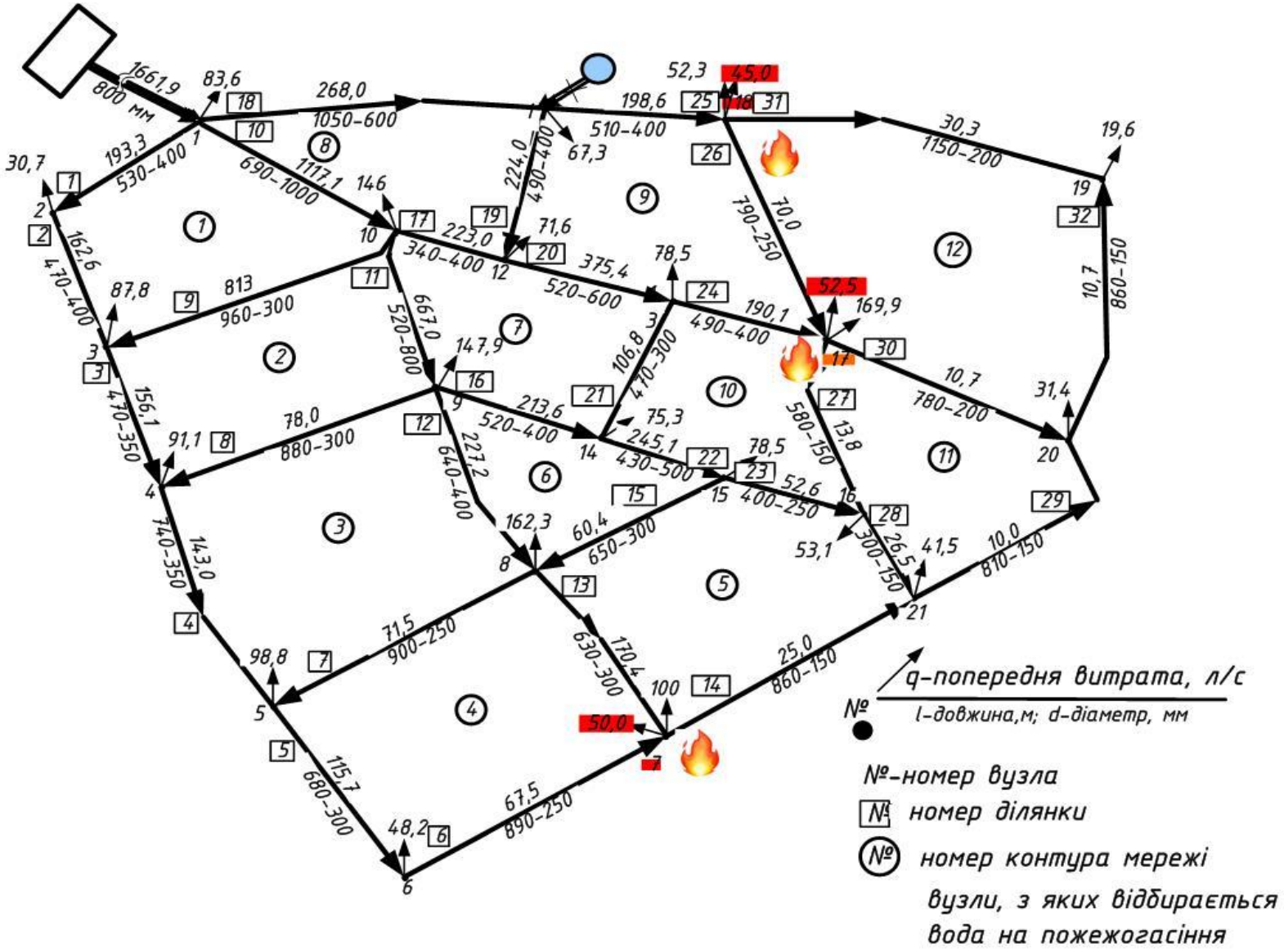


Рисунок 3.4 – Карта попереднього потокорзподілу для години пожежогасіння

витрати на ділянках мережі, вузлові витрати, загальне надходження води в мережу результати розрахунків приведено в додатку А (таблиці А.1–А.3).

3.5 Гідравлічний розрахунок мережі

Гідравлічне ув'язування мережі виконано з використанням розрахункової програми gidrast. Вихідними даними для цієї програми є довжина та діаметр ділянок, витрати при початковому розподілу потоків, код ділянок, кількість вузлів та контурів а також припустиме значення несходження. В результаті розрахунку визначені відповідно до прийнятих діаметрів фактичні значення витрат на ділянках мережі, також втрати напору при транспортуванні води мережею.

Отримані значення втрат напору відповідають другому закону Кірхгофа [5. с.68], з урахуванням фактичних втрат напру на ділянках визначено п’єзометричні позначки та фактичні вільні напори у всіх вузлах мереж, необхідний тиск насосного обладнання. яке подає воду в мережу та висоту водонапірної башти. Втрати напору визначені за формулою

$$h_i = S_{oi} \times l_i \times q_{ik}^2 \times \delta, \quad (3.6)$$

S_{oi} – питомий опір;

l_i довжина ділянки мережі, м;

q_{ik}^2 – витрата води на ділянці мережі, л/с, м^3/с;

δ – поправковий коефіцієнт що враховує швидкість руху води в трубах. Результати гідравлічного розрахунку для режиму максимального водоспоживання приведені на листі 2 та в таблиці А.1; для режиму подачі води в

мережу в годину максимального транзиту – на листі 3 і в таблиці А.2; при пожежогасінні – на листі 4 і в таблиці А.3.

Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі для режиму надходження води в годину максимального водоспоживання при пожежі виконано аналогічно розрахунку мережі в режимі подачі води в годину максимального водоспоживання: витрата, що подається насосами в мережу збільшена на величину пожежної витрати 147,5 л/с, вузли, з яких відбирається вода на пожежогасіння: 7, 17, 18.

3.6 Визначення п’єзометричних позначок і вільних тисків в мережі

Визначення розрахункових п’єзометричних позначок початок зі знаходження невигідної точки мережі. Для режиму подачі води в мережу в годину максимального водоспоживання невигідним буде вузол 21; для режиму подачі води в мережу в годину максимального водоспоживання при пожежі невигідним також буде вузол 21; для режиму подачі води в мережу в годину максимального транзиту невигідним вузлом буде водонапірна башта.

Необхідні п'єзометричні позначки у вузлах мережі розраховані за формулою

$$П_i = Н_{віл.потр.і} + Z, \quad (3.7)$$

де $Н_{віл.потр.і}$ – необхідний вільний тиск у вузлі, м;

Z – абсолютна позначка і-того вузла, м.

$$Н_{віл.потр.і} = 6 + 4 \times n \quad (3.8)$$

де n – кількість поверхів в будинках розглянутого району/

При пожежі необхідний тиск у невигідній точці дорівнює 10 м. Результати розрахунків п’єзометричних позначок та вільних тисків представлені у вигляді п’єзометричних карт на листах 2, 3, 4 графічної частини кваліфікаційної роботи/

3.7 Розрахунок водонапірної башти

Висота водонапірної башти розрахована за формулою:

$$\text{Н}_\text{б} = \text{П}_\text{і} + h_\text{б} - z_\text{б}., \quad (3.9)$$

де $\text{П}_\text{і}$ – п’єзометрична позначка у вузлі приєднання водоводів до мережі, $\text{П}_\text{і}$=153,68 м;

$h_\text{б}$ –втрати напору у водоводах від башти до мережі, м;

$z_\text{б}$ – геодезична позначка в місці встановлення башти, $z_\text{б}$=91,0 м.

Втрати напору у водоводах від башти до мережі:

$$h_\text{б} = 1{,}15 \times \text{і} \times l. \quad (3.10)$$

При витраті води 221,9 л/с прийнято діаметр водоводів до водонапірної башти 600 мм, і=0,0012.

$$h_\text{б} = 1{,}15 \times 0{,}0012 \times 50 = 0{,}07 \text{ м}$$

$$\text{Н}_\text{б} = 153{,}68 + 0{,}07 - 91{,}00 = 153{,}75 \text{ м}.$$

Режим роботи насосної станції другого підйому визначено з урахуванням добового графіка водоспоживання міста, особливостей функціонування станції та максимальної відповідності фактичному режиму споживання води населенням (рис. 1.1).

Передбачено двоступеневий режим роботи насосної станції другого підйому: перший ступінь – у періоди з 0:00 до 5:00 та з 21:00 до 24:00 (загальною тривалістю 8 годин, подається 1,4 % від $Q_{доб}$), другий ступінь – з 6:00 до 21:00 (16 годин подається 5,55 % від $Q_{доб}$).

Отримані результати розрахунків наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 –Розрахунок регулювальної місткості бакуі

Години доби	Водоспоживання міста,%	Подача насосів,%	Витрата з баку,%	Подача в бак,%	Залишок,%
1	2	3	4	5	6
0-1	1,28	1,4		0,12	0,12
1-2	1,21	1,4		0,19	0,31
2-3	1,21	1,4		0,19	0,5
3-4	1,21	1,4		0,19	0,69
4-5	2,78	1,4	1,38		-0,69
5-6	**3,57**	**5,55**		**1,98**	**1,29**
6-7	5,04	5,55		0,51	1,5
7-8	5,83	5,55	0,28		1,52
8-9	**6,13**	**5,55**	**0,58**		**0,94**
9-10	6,11	5,55	0,56		0,38
10-11	5,95	5,55	0,4		-0,02
11-12	5,73	5,55	0,18		-0,2
12-13	5,33	5,55		0,22	0,02
13 -14	4,93	5,55		0,62	0,64
14-15	4,93	5,55		0,62	1,26
15-16	5,7	5,55	0,15		1,11
16-17	5,78	5,55	0,23		0,88
17-18	6,11	5,55	0,56		0,32
18-19	5,71	5,55	0,16		0,16
19-20	5,32	5,55		0,23	0,39
20-21	4,25	5,55		1,3	1,69
21-22	2,68	1,4	1,28		0,41
22-23	1,73	1,4	0,33		0,08
23-24	1,48	1,4	0,08		0
Усього	100	100	6,17	6,17	

Повна місткість водонапірного баку:

$$W_б = W_{рег} + W_{н.з.}, \quad (3.11)$$

де $W_{рег}$ – регулювальний об'єм водонапірного баку, м^3 (табл.3.2);

$W_{рег} = |-0,69| + |1,691| = 2.38\%$

$W_{н.з.}$. – недоторканий запас води в баку, рівний 10-хвилинній тривалості гасіння однієї зовнішньої та однієї внутрішньої пожежі, м^3.

$$W_{н.з..} = 0,6\ \left(q_{н} + q_{вн'}\right), \tag{3.12}$$

де $q_н$,$q_{вн.}$ – витрата води на зовнішнє та внутрішнє пожежегасіння в місті, табл. 5 [1].

$$W = 0,6 \times (40+5) = 27 \text{ м}^3$$

$$W_{рег} = W \times Q_{заг} / 100,$$

$$W_{рег} = 2.38 \times 101902,74/100 = 2425,29 \text{ м}^3$$

$$W_б = 2425,29 + 27 = 2452,29 \text{ м}^3$$

Діаметр баку водонапірної башти:

$$D_б = \sqrt[3]{W_б / 0,55} \tag{3.13}$$

$$D_б = \sqrt[3]{2452,29 / 0,55} = 16,4 м$$

Висота шару води в баці:

$$H_б = 4W_б / (\pi D_б^2) \tag{3.14}$$

$$H_б = 4 \times 2452{,}29/(3{,}14 \times 16{,}4^2) = 5{,}81 \approx 6 м .$$

З огляду на необхідний будівельний запас загальна висота баку приймається 6,0 м.

РОЗДІЛ 4. ПРОЄКТУВАННЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ДРУГОГО ПІДЙОМУ

4.1 Визначення необхідної подачі насосної станції

Насосна станція працює у двоступеневому режимі. Година подача насосної станції для кожного ступеня визначається за формулою:

$$Q_{і\ н.ст}=Q_{доб} \times P_i/100, \quad (4.1)$$

де $Q\ P_i$ – подача і-го ступеня у відсотках від добової витрати і $м^3$ відповідно.

Для першого ступеня:

$$Q_1=101902,74\times1,4/100=1426,64\ м^3/год=396,29\ л/с;$$

для другого ступеня:

$$Q_2=101902,74\times5,55/100=5655,6\ м^3/год=1571\ л/с$$

Продуктивність першого ступеню забезпечується двома насосами, на другому ступеню працюють три паралельно підключені насоси.

Для цього випадку подача одного насосу приймається:

$$Q_н=(0,55\text{-}0,6)\times Q_1 \quad (4.2)$$

$Q_н=0,6\times396,29=237,8\ л/с=856\ м^3/год.$

4.2 Розрахунок діаметрів всмоктувальних і напірних трубопроводів

Згідно з рекомендаціями [1, п. 11.4], на водопровідних насосних станціях I та II категорій надійності передбачається не менше двох всмоктувальних ліній незалежно від кількості встановлених насосних агрегатів, у тому числі пожежних. У разі відключення однієї з ліній інша повинна забезпечувати пропуск

розрахункової витрати води для станцій зазначених категорій надійності, всмоктувальні трубопроводи сталеві.

Розрахункова витрат кожного із всмоктувальних водоводів визначається за формулою:

$$Q_{вс.в}=Q_{макс.\ н.\ ст.}/(n_{вс}-1) \quad (4.3)$$

де $Q_{макс.\ н.\ ст}$ – максимальна подача насосної станції, л/с;

$n_{вс}$ –кількість всмоктувальних водоводів

$$Q_{вс.в}=1571/(2-1)=1571 \text{ л/с}$$

Приймаються водоводи діаметром Д=1200 мм, v=1,38 м/с, 1000i=1,62, що відповідає вимогам [1, п.11.8, табл.36].

Число напірних водоводів приймається рівним 2 [1. п.7.6]. Розрахункова витрата води по кожному із водоводів:

$$Q_{н.в}=Q_{макс.\ н.\ ст.}/n_{н} \quad (4.4)$$

де $n_н$ – кількість напірних водоводів.

$$Q_{н.в}= 1571/2=785,5 \text{ л/с}.$$

Приймаються сталеві напірні водоводи діаметром Дн=800 мм, v=1,55 м/с, 1000i=3,40, що відповідає вимогам [1, п.11.8, табл.36].

4.3 Визначення необхідного напору насосного обладнання

Для орієнтовного визначення необхідного напору насосів використовується розрахункова залежність, яка враховує основні складові втрат і підйому води:

$$H = H_{ст} + h_{в.в} + h_{н.с.} + h_{вдм} + h_{н.в.} + h_{м} \quad (4.5)$$

де $H_{ст}$ – статичний напір, м;

$h_{н.с.}$ – сумарні втрати напору в межах насосної станції **(**у всмоктувальних та напірних комунікаціях), приймаються, $h_к$=2,0 м;

$h_{в.в}$ – втрати напору у всмоктувальних водоводах при максимальній подачі води, м, м;

$h_{вдм}$ – втрати у водомірі, $h_з$=1,5 м;

$h_{н.в.}$ – втрати напору у напірних водоводах при найбільшій витраті, що транспортується станцією, м;

$h_м$ – втрати напору в розподільній мережі при максимальному водоспоживанні, м.

Статичний напір:

$$H_{ст} = Z_2 - Z_1, \quad (4.6)$$

де Z_2 – максимальна позначка надходження води, м, Z_2 =159,94 м;

Z_1 – мінімальна позначка в резеріуарі чистої води при пожежогасінні, Z_1=67 м.

$$H_г = 159{,}94 - 67 = 92{,}949 м$$

Втрати напору у всмоктувальних водоводах при максимальному водоспоживанні розраховані по формулі

$$h_{в.в}=1,1\times i\times l, \tag{4.7}$$

де i – питомі втрати напору;

l – довжина водоводу.

$h_{в.в}=1,1\times 0,00162\times 50=0,1$ м;

Втрати напору в напірних водоводах при максимальному водоспоживанні:

$h_{н.в}=1,1\times 0,00340\times 1500=5,61$ м;

$$H=92,94+0.1+2.0+1.5+5,61+19,74=121,89\text{м}.$$

4.4 Аналіз роботи насосної станції в умовах пожежогасіння

Розрахункова подача насосної станції в умовах пожежогасіння визначається як сума витрати води в годину максимального водоспоживання та додаткової витрати на пожежогасіння:

$$Q^{/}_{н.ст}=Q_{н.ст.}+Q_{п} \tag{4.8}$$

де $Q_{н.ст.}$ – розрахункова максимальна подача насосної станції, $Q_{н.ст.}$ = 101902,74 л/с;

$Q_{п}$ – розрахункова витрата на пожежогасіння, $Q_{п}$ = 147,5 л/с

$Q_{н.ст.}$ =101902,74+147,50=1718,5 л/с

Напір насосів при пожежогасінні:

$$H_{п} = Z_{н.т.} + H_{в} + h^{в}_{в.п} + h^{н}_{в.п} + h_{м.п.} - Z_{р} \quad (4.9)$$

де $Z_{н.т}$ – абсолютна позначка критичного вузла мережі при пожежі, $Z_{н.т}$=80,73 м;

$H_{в}$ – вільний напір в критичному вузлі при пожежі, $H_{в}$=10 м;

$h^{в}_{в.п}$ – втрати напору у всмоктувальних водоводах при пожежі, м,

$h^{в}_{в.п}$ =1,1×0,00194×50=0,115 м;

$h^{н}_{в.п}$ – втрати напору в напірниxx водоводах при пожежі, м;

$h^{н}_{в.п}$ =1,1×0,00340×1500=5,61 м;

$h_{м.п}$ – втрати напору в мережі від критичного вузла до вузла приєднання водоводів до мережі, $h_{м.п}$=23,9м (114,59-90,73);

$Z_{р}$ – абсолютна позначка дна резервуару, $Z_{р}$=65,9 м.

$$H_{п} = 80,73 + 10 + 0,11 + 6,73 + 23,9 - 65,9 = 55,6 \text{ м.}$$

Розрахунковий напір у режимі максимального водоспоживання є більшим, ніж напір, необхідний для пожежогасіння ($H \geq H_{п}$). Це свідчить про те, що робота насосної станції під час пожежі може бути забезпечена тими ж насосами, які підібрані для умов максимального водоспоживання, за умови зменшення створюваного ними напору.

4.5 Вибір насосного обладнання та відповідних електродвигунів

Подача першого (Q_1=2072,9 м^3/год=575,8 л/с) та другого ступеня (Q_2 =946 л/с) та необхідний напір H забезпечуються роботою на I ступені двох, а на II ступені паралельною роботою трьох насосів марки Д 1600-90 (n=1450 об/хв) .

В машинному залі насосної станції встановлюється 4 робочих та два резервних насоси марки Д 1250-125. Робочі характеристики насосів показані на рис. 4.1.

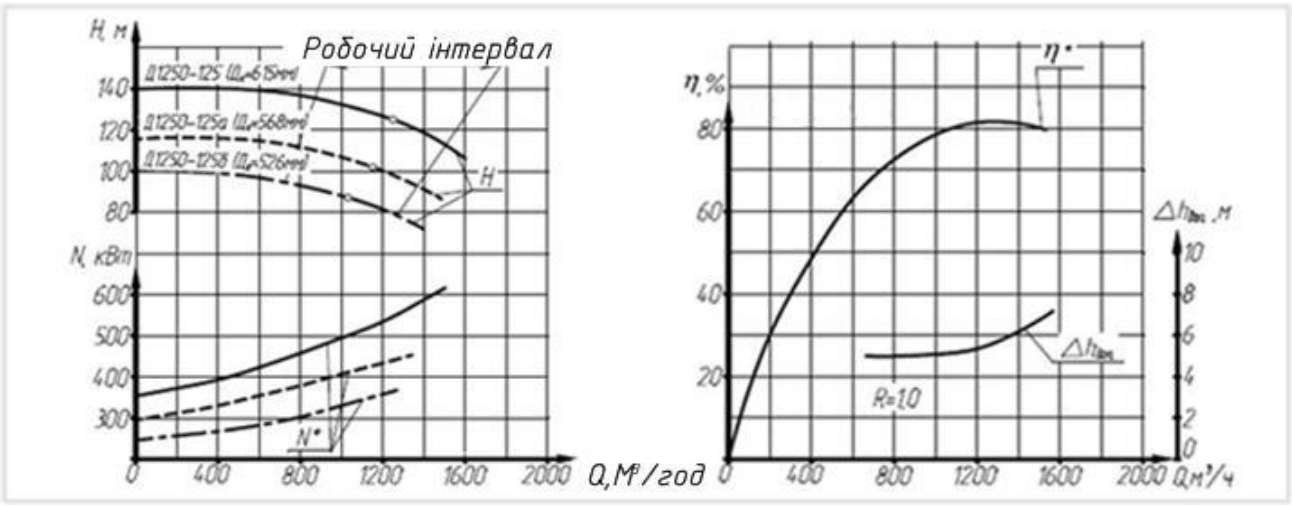


Рисунок 4.1 – Робочі параметри насосу Д1250-125 [21]

Потужність, необхідна для приводу насосу, визначається за формулою:

$$p_н = \kappa \times \rho \times q \times Q_м \times H_м / 1000 \times \eta_H \times \eta_п, \qquad (4.10)$$

де κ – коефіцієнт запасу, рівний 1,1;

ρ – густина рідини, кг/м^3, ρ = 1000 кг/м^3;

$Q_м$ – подача насосу, $Q_м = \kappa_м Q_H$ м^3/с[22], $Q_м = \kappa_м Q_H = 1{,}16 \times 0{,}3472 = 0{,}403$ $м^3/с$;

$H_м$ – напір насосу, що відповідає Q, $H_м$=120м, рис.4.1 [21];

η_H – ККД насосу, що відповідає Q, η_H=0,84, рис.4.1 [21];

$\eta_п$ – ККД передачі, $\eta_п$ =1 [22].

Потужність, що необхідна для приводу насосу, визначена за формулою

$$p_н = 1{,}1 \times 1000 \times 9{,}8 \times 0{,}403 \times 120 / 1000 \times 0{,}84 \times 1 = 620{,}6 кВт.$$

Приймається електродвигун А4-400Y-4М 630 кВт на 1450 об/хв.

4.6 Визначення відміток осі насосів і підлоги насосної станції

З урахуванням значної глибини залягання підземних вод, будівлю насосної станції другого підйому запроєктовано з розміщенням насосного обладнання нижче рівня води у резервуарі пожежного запасу. Позначка верха насосу:

$$Zв.н=Zпож.-0,5, \quad (4.11)$$

де $Zпож$ – позначка пожежного рівню у РЧВ, м, Zпож=67,0 м;

$$Zв.н=67,0-0,5=66,5 \ м$$

Позначка вісі насосу:

$$Zвс=Zв.н.-A \quad (4.12)$$

де A – висота насосу від верха до вісі,м.

$$Zвс=66,5-0,5=66,0 \ м$$

Позначка верха фундаменту:

$$Zф= Zвс-Ал, \quad (4.13)$$

де Ал – висота насосу від вісі до лап, м

$$Zф=66,0-0,53=65,47 \ м$$

Висота фундаменту приймається-0,5 м, тоді відмітка підлоги:

$$Zп=65,47-0,5=65,0 \ м$$

Мінімальне заглиблення насосної станції повинно складати:

$$h=67,8-65,0=2,8 \ м$$

Заглиблення насосної станції приймається 2,8 м.

4.7 Розрахунок висоти машинного залу та вибір підіймального обладнання

Мінімальна висота машинного залу визначається за формулою:

$$H=h_1+h_2+h_3+h_4+h_5+0,5, \quad (4.14)$$

де h_1 – висота монорельсу, h_1 =0,38 м [4,9], приймається з урахуванням 0,1 м до низу перекриття;

h_2 – мінімальна висота від крюка до низу монорельсу, h_2 =0,755 м;

h_3 – висота строповки вантажу, h_3 =1 м;

h_4 – висота вантажу, м, h_4 =2,69 м;

h_5 – максимальна висота встановленого обладнання, h_5 =2,17 м.

$$H=0,38+0,755+1+2,69+2,17+0,5 =7,5 \text{ м}$$

Висота машинного залу приймається 8,4 м.

З урахуванням того, що маса більшості встановлюваного обладнання знаходиться в діапазоні 1000–8000 кг, для виконання монтажно-підіймальних операцій передбачено використання кран-балки з електричним приводом вантажопідіймальністю 10 т

4.8 Аналіз режиму роботи насосного обладнання

Характеристики трубопроводів розраховані за формулою, м:

$$H_i = H_{гк} + h_{вб}, \quad (4.15)$$

де H_i – необхідний напір при і-ій витраті, м;

$H_{гк}$ – геометрична висота підйому, м;

$h_{вб}$ – втрати напору у водоводах, визначаються за формулою:

$$h_{вб} = 1.1 \times i \times S_0 \times \cdot l \cdot, \quad (4.16)$$

де i – питомі втрати напору у водоводах;

l – довжини водоводу, l = 15000 м.

Розрахунки зведені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок характеристики водоводів

Показники	Значення показників для Qi					
	Qв	0,25Qв	0,5Qв	0,75Qв	Qв	1,25 Qв
1	2	3	4	5	6	7
Q, куб.м	0	0,197	0,393	0,59	0,786	0,983
V, м/с		0,388	0,77	1,16	1,55	1,93
i		0,259	0,9	1,93	3,4	5,29
$h_k = 1.1 \times i \times l$	0	0,43	1,49	3,18	5,61	8,73
Нгн	$H_г = 154{,}47 - 66 = 88{,}47 м$					
Нін	88,47	88,9	90,0	91,7	94,1	97,2

Характеристики насосів та водоводів показані на рис. 4.2.

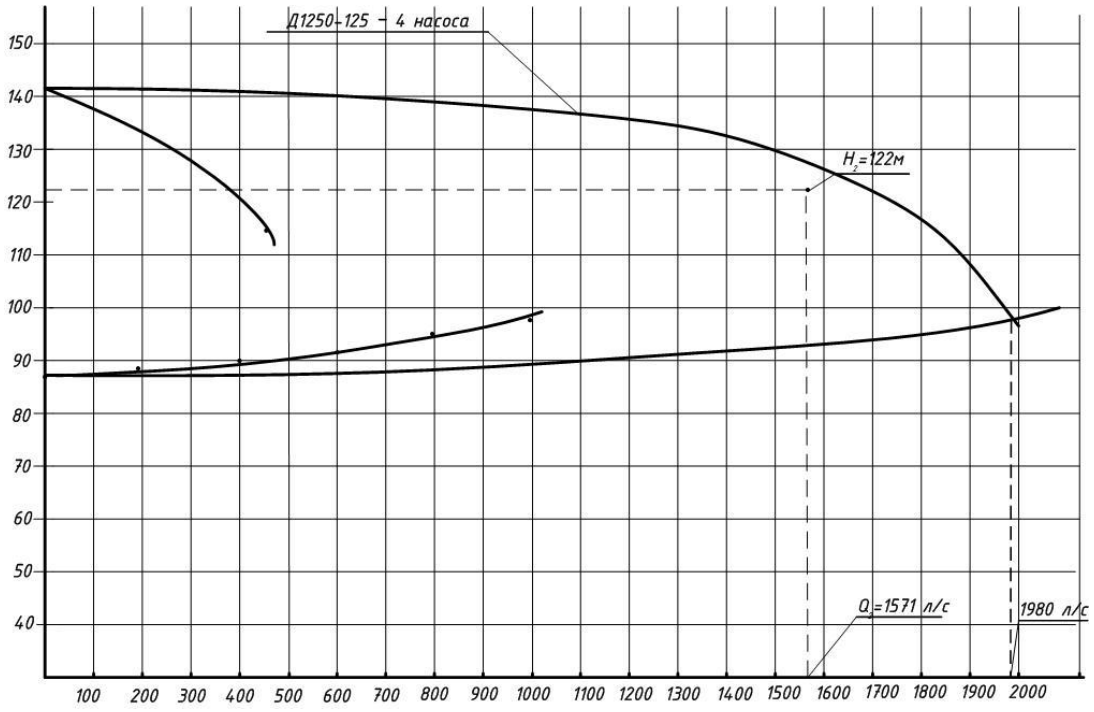


Рисунок 4.2 – Напірно витратні графіки насосного обладнання та водоводів

Для визначення ступеня обточки робочого колеса насосу визначається коефіцієнт швидкохідності насосу за формулою:

$$n_s = 3{,}65\frac{n\sqrt{Qp}}{H_p^{3/4}}, \qquad (4.17)$$

де n – частота обертання робочого колеса, об/хв;

Q_p – подача насосу в оптимальній точці, для насосів з двостороннім підводом приймається половина подачі, м^3/с;

Hp – напір в оптимальній точці, м.

$$n_s = 3{,}65\frac{1450\sqrt{1250/(2*3600)}}{125^{3/4}} \approx 60$$

Для n_s $60-120$ допустиме значення обточки становить 20-15% [22].

Діаметр обточеного колеса визначається за формулою:

$$D_{об} = D\frac{Q_{об}}{Q} = \mathrm{D}\frac{\mathrm{Q_Б}}{\mathrm{Q_А}}, \qquad (4.18)$$

де D, Q - діаметр робочого колесу та його подача відповідно до обточки**.**

$$D_{об} = 615\frac{1571}{1980} = 488мм$$

Обточка становить 18%, що не перевищує припустимі межі.

Таким чином, насосна станція II підйому обладнується 6 насосами марки Д1250-1250 (4 робочих та 2 резервних).

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОБОТИ МЕРЕЖІ ВОДОПОСТАЧАННЯ

5.1 Розрахунок витрат електричної енергії на роботу мережі

Витрати електроенергії визначаються за відповідною розрахунковою залежністю:

$$C_e = \gamma \times a \times N \times t \quad (5.1)$$

де a – вартість електричної енергії, грн., a=11грн/кВт;

t – трив

аліст роботи обладнання протягом року, год;

γ – коефіцієнт нерівномірності споживання електроенергії, γ = 0,8;

N – встановлена потужність насосного обладнання:

$$N=(\rho \times g \times Q \times h)/1000, \quad (5.2)$$

де ρg – питома вага рідини, Н/м^3;

Q – подача насосу, м^3/с;

Н – напір, який створює насос, м:

$$\mathrm{H_н} = \mathrm{П_р} - Z_\mathrm{н} + \mathrm{H_з}\ , \quad (5.3)$$

де $П_р$ – розрахункова п’єзометрична відмітка в точці приєднання водоводів, приймається за п’єзометричною картою(рис.1 на листі№ 2 графічної частини роботи);

Z – відмітка осі насоса, Z = 62 м;

$Н_з$ – додатковий запас напору на втрати в трубопроводах та мережі; для всіх варіантів він приймається однаковим і становить 15 м. Тоді:

$$154,47 – 66 + 15 = 103,47 \text{ м};$$

$$N = \frac{9,81 \cdot 10^3 \cdot 1,571 \cdot 103,47}{1000} = 1594,63 \text{кВт};$$

$C_е$=0,8×11×1594,63×8760=122 926 837,44 грн.

5.2 Визначення фонду оплати праці обслуговуючого персоналу

Основна та додаткова заробітна плата виробничого персоналу, інженерно-технічних працівників і службовців визначена відповідно до штатного розпису, посадових окладів і фактичного робочого часу, прийнятого на рівні 11 місяців на рік. Вартість трубопроводів прийнята згідно з даними джерела [24].

Для обслуговування кожної мережі передбачається такий склад персоналу: інженерно-технічні працівники – 2 особи (начальник мережі та старший технік), службовці – 2 особи (бухгалтер і економіст), а також молодший обслуговуючий персонал – 1 особа. Розрахунок основної заробітної плати наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок основної заробітної плати

Категорія	Кількість одиниць	Річна зарплата одиниці	Сумарна річна зарплата
ІТР	2	237600	475200
Службовці	2	211200	422400
МОП	1	198000	198000
Всього:	5		1095600
Виробничі працівники	12	~~2~~24400	2695800
Всього:	12		3791400

5.3 Оцінка витрат на експлуатацію мережі транспортування води

Визначення вартості будівель і споруд водопровідної мережі ВМ 1, виготовленої із чавунних труб зведено в таблицю 4.2. Амортизацію основних фондів визначено з урахуванням загальної вартості мережі водопостачання та споруд на ній за усередненою нормою амортизаційних урахувань – 5%.

$$A=0,05\times54994\ 787,4=2749739,37 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 5.2 – Вартість мережі транспортування води

D ділянки, мм	Загальна довжина ділянок, м	Вартість, грн.	
		Одиниці, грн	Загальна
150	3410	5200/6 м	2 955 333,3
200	1930	5980/5,5 м	2 098 436,4
250	2980	8640грн/4,1м	6 279 804,9
300	4270	9560/5,5м	7 422 036,4
350	1210	12000/5,5м	2 640 000
400	3990	14600/5,5м	10 591 636,4
500	430	13800/5м	1 186 800
600	1570	27360/5м	8 591 040
800	520	42750/5м	4 446 000
1000	690	63650/5м	8 783 700
Всього	26000		54 994 787,4

Розрахунки по визначенню річних експлуатаційних витрат зведені у таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Річний експлуатаційний кошторис

№	Статті витрат	Норма витрат	Підрахунок витрат	Сума на рік, грн
1	2	3	4	5
1	Прямі витрати			
1.1	Сировина та матеріали			54 994 787,4
1.2	Основна заробітна плата виробничих працівників			2695800
1.3	Додаткова заробітна плата виробничих працівників	7%	0,07×2695800	188706
1.4	Відрахування на соціальне страхування виробничих працівників	8%	0,08×2695800	215664
1.5	Вартість електроенергії			122 926 837,44
1.6	Амортизація основних фондів мережі водопостачання	5%	0,05×54994 787,4	2749739,37
Всього:				183 771 534,21
2	Накладні витрати			
2.1	Основна заробітна плата ІТР, службовців та МОП			1095600
2.2	Додаткова заробітна плата ІТР, службовців та МОП	8%	0,08×1095600	87648
2.3	Відрахування на соціальне страхування ІТР, службовців та МОП	38%	0,38×1095600	416328
1	2	3	4	5
2.4	Премії ІТР та службовцям	12%	0,12×~~7~~ 0,12×897600 (475200+422400)	107712
2.5	Витрати по охороні праці	500 грн/рік×люд	500×12	6000
2.6	Знос інструментів	300 грн/рік×люд	300×12	3600
2.7	Цеховий транспорт	7,8%	0,078×897600	70012,8
Всього:				1786900,8
Всього прямих та накладних витрат:				185558435,01

Собівартість 1 м^3 води по мережі водопроводу визначається за формулою:

$$C_{1м^3} = E_{річ}/Q_{річ}\,, \qquad (5.4)$$

де $Е_{річ}$ – річні експлуатаційні витрати по кошторису (табл.3.3);

$Q_{річ}$ – річна подача води споживачеві:

$$Q_{\text{річ}} = 0{,}85 \cdot Q \cdot t\ , \qquad (5.5)$$

де Q – розрахункова подача води, $м^3$/ год;

t – кількість годин роботи у році.

$$Q_{річ} = 0{,}85 \cdot 4245{,}9 \cdot 8760 = 31614971{,}4\ м^3.$$

$$С_{1м3} = 185558435{,}01 / 31614971{,}4 = 5{,}9\ грн/м^3.$$

Собівартість транспортування 1 $м^3$ води становить 5.9 грн/$м^3$.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено мережу водопостачання для міського району з чисельністю населення 239797 осіб.

Розроблено розрахункову схему водопровідної мережі, яка включає 12 контурів, 32 ділянки та 21 вузол. Прийнята кільцева структура забезпечує підвищення надійності системи, можливість перерозподілу потоків води та зменшення ризику припинення водопостачання у разі виникнення аварійних ситуацій.

Виконано гідравлічні розрахунки мережі для основних режимів її функціонування: періоду максимального водоспоживання, години максимального надходження (транзиту) води в регулювальну місткість–водонапірну вежу та режиму пожежогасіння, визначено найбільш навантажені та критичні ділянки системи, а також перевірено дотримання нормативних значень вільного напору у всіх розрахункових вузлах.

У складі системи передбачено водонапірну башту, яка виконує функції регулювання тиску в мережі та створення аварійного запасу води.

З урахуванням розрахункових витрат та необхідного тиску здійснено підбір насосного обладнання другого підйому: 4 робочих та 2 резервних насоси Д1250-125. Передбачене резервування насосних агрегатів забезпечує безперервність роботи станції та підвищує експлуатаційну надійність усієї системи.

Собівартість транспортування води становить 5.9 грн/м^3.

Запропоновані технічні рішення мають практичну цінність і можуть бути використані при проєктуванні нових або модернізації існуючих систем водопостачання населених пунктів України, особливо в умовах відновлення міської інфраструктури після пошкоджень.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Київ : Мінрегіон України, 2013. 174 с.
URL https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/101.1.-DBN-V.2.5-742013.-Vodopostachannya.-Zovnishni-merezhi.pdf

2. Кравченко В.С. Водопостачання та канлізація : підручник. 2009. Київ : Кондор. 289 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Kravch_2009_288.pdfUNESCO. *Managing Water under Uncertainty and Risk*. Paris, 2012. 156 p. URL: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000218541

3. European Commission. Water resilience strategy.
URL: https://commission.europa.eu/topics/environment/water-resilience-strategy_en

4. Орлов В.О., Назаров С.М., Орлова А.М. Водозабірні споруди : навчальний посібник. Рівне, 2010. 167 с.

5. Добровольська О.Г., Водопровідні мережі : навчально-методичний посібник. Запоріжжя : ЗНУ, 2022. 237 с.

6. Добровольська О. Оцінка потенціалу енергозбереження при виборі умов живлення мережі / О. Добровольська. // Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія : міжнар. наук. - виробн. журнал / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. ; гол.ред. М. Сукач. Київ, 2018. №8. С. 65–67. URL: https://repositary.knuba.edu.ua/handle/987654321/922

7. Добровольська О. Оцінка ефективності використання пластмасових трубопроводів для реконструкції міських водопровідних мереж. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2022. № 17. С. 131–139. URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/issue/view/114/116.

8. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum.
URL: https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/1b7a285e-3635-45dd-a1a9-6068c8fbe173/content
9. Makropoulos C., Savic D. Urban hydroinformatics. *Water*. 2019. Vol. 11(10). Article 1959. URL: https://www.mdpi.com/2073-4441/11/10/1959
10. Tabesh M., Saber H. A Prioritization Model for Rehabilitation of Water Distribution Networks Using GIS. *Water Resour Manage.* 2011. URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-011-9914-y
11. Rehabilitation Planning of Water Distribution Network through Pipe Replacement Planning. *Water (MDPI).* 2018;10(3):277. URL: https://www.mdpi.com/2073-4441/10/3/277
12. Choosing a Water Distribution Pipe Rehabilitation Solution Using ANP/MCDM Methods. MDPI; 2015. URL: https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/484
13. Trenchless rehabilitation materials and technologies for water supply pipes. *ScienceDirect.* 2025. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582025011632
14. Hay A. H., Karney B., Martyn N. Reconstructing infrastructure for resilient essential services during and following protracted conflict: A conceptual framework. *International Review of the Red Cross*, 2020. URL: https://www.cambridge.org/core/journals/international-review-of-the-red-cross/article/reconstructing-infrastructure-for-resilient-essential-services-during-and-following-protracted-conflict-a-conceptual-framework/A9050A1A8BFA457FF5A58AE0CB24CE9D
15. Borgomeo E. Delivering water services during protracted armed conflicts: how development agencies can overcome barriers to collaboration with humanitarian actors (2019). *International Review of the Red Cross* , Volume 101 , Issue 912: Protracted

conflict , December 2019 , pp. 1067 – 1089 Cambridge Core. https://doi.org/10.1017/S1816383120000077 URL: https://www.cambridge.org/core/journals/international-review-of-the-red-cross/article/delivering-water-services-during-protracted-armed-conflicts-how-development-agencies-can-overcome-barriers-to-collaboration-with-humanitarian-actors/3FDB24B19379F81366870952503BEA87

16. Al-Saidi, M., Roach, E. L., & Al-Saeedi, B. A. H. Conflict Resilience of Water and Energy Supply Infrastructure: Insights from Yemen. *Water*, 12(11), 3269 (2020). DOI: URL: https://www.mdpi.com/2073-4441/12/11/3269

17. Marin, Philippe; Mugabi, Josses; Mariño, Manuel. 2010. Improving Water Services in a Post-Conflict Situation : The Case of the Management Contract in Kosovo. Gridlines; No. 52. World Bank. http://hdl.handle.net/10986/10506 License: CC BY 3.0 IGO. URL: https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/f344acb8-6bd4-5164-b4c2-7edd77a2a654

18. Добровольська О., Фостащенко О. М., Чудновський П. Б. Реконструкція інженерних об’єктів нежитлового фонду в контексті відновлення України. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2024. № 21. С. 57–65.
URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/article/view/1472/1351

19. Фостащенко О. М., Банах А. В. Моніторинг стану та вдосконалення доріг і обладнання для транспортування води в міській забудові. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2025. Т. 24. С. 143–154. URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/en/issue/view/163/176

20. Добровольська О. Оцінка ефективності використання пластмасових трубопроводів для реконструкції міських водопровідних мереж. *Сучасні*

технології та методи розрахунків у будівництві. 2022. № 17. С. 31–39. URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/issue/view/114/116

21. Насос Д 1250-125. URL : https://gidromehanika.com.ua/ua/p555483933-nasos-1250-125.html?srsltid=AfmBOooWPv-UMmMaMNn5Vdtw6MoNQVackheEisTaxPXYw7IFdy-IViu3

22. Засувки клинові. URL: https://xn--80aqy.com.ua/uk/armatura/zasuvky/klynovi/

23. Труби чавунні водопровідні розтрубні URL: https://prom.ua/ua/Truby-chugunnye-vodoprovodnye-rastrubnye.html

Додаток А

e= .00100 nk= 12 ny= 32

вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	530.00	191.80	400.00	c	2	470.00	161.10	400.00	c	3	470.00	153.60	350.00	c
4	740.00	139.50	350.00	c	5	680.00	110.70	300.00	c	6	890.00	62.50	250.00	c
7	900.00	70.00	250.00	c	8	880.00	77.00	300.00	c	9	960.00	80.30	300.00	c
10	690.00	1052.00	1000.00	c	11	520.00	627.60	800.00	c	12	640.00	194.70	400.00	c
13	630.00	62.40	300.00	c	14	860.00	25.00	150.00	c	15	650.00	100.00	300.00	c
16	520.00	208.00	400.00	c	17	340.00	198.10	400.00	c	18	1050.00	187.00	600.00	c
19	490.00	198.00	400.00	c	20	520.00	324.50	600.00	c	21	470.00	98.40	300.00	c
22	430.00	231.10	500.00	c	23	400.00	52.60	250.00	c	24	490.00	147.60	400.00	c
25	510.00	143.60	400.00	c	26	790.00	60.00	250.00	c	27	580.00	27.00	150.00	c
28	300.00	26.50	150.00	c	29	810.00	10.00	150.00	c	30	780.00	10.70	200.00	c
31	1150.00	30.30	200.00	c	32	860.00	10.70	150.00	c	33	.00	.00	.00	

Таблиця А.1 – Розрахунок мережі для режиму подачі води в мережу в годину максимального водоспоживання

номер ділянки	код ділянки	діаметр труби,мм	довжина ділянки ,м	витрата води л/с	швидкість води м/с	втрати тиску ,м
1	1- 0	400.00	530.00	177.95	1.42	3.74
2	1- 0	400.00	470.00	147.25	1.17	2.29
3	2- 0	350.00	470.00	126.67	1.32	3.41
4	3- 0	350.00	740.00	121.46	1.26	4.94
5	4- 0	300.00	680.00	58.26	.82	2.50
6	4- 0	250.00	890.00	10.06	.20	.34
7	4- 3	250.00	900.00	35.60	.73	3.32
8	3- 2	300.00	880.00	85.88	1.21	6.65
9	2- 1	300.00	960.00	67.22	.95	4.60
10	8- 1	1000.00	690.00	1092.15	1.39	1.43
11	7- 2	800.00	520.00	681.55	1.36	1.37
12	6- 3	400.00	640.00	240.75	1.92	8.27
13	5- 4	300.00	630.00	97.68	1.38	6.16
14	5- 0	150.00	860.00	7.84	.44	2.52
15	5- 6	300.00	650.00	54.83	.78	2.14
16	7- 6	400.00	520.00	207.02	1.65	4.97
17	8- 7	400.00	340.00	197.38	1.57	2.95
18	0- 8	600.00	1050.00	160.70	.57	.79
19	9- 8	400.00	490.00	181.19	1.44	3.59
20	9- 7	600.00	520.00	306.96	1.09	1.30
21	10- 7	300.00	470.00	64.48	.91	2.09
22	10- 6	500.00	430.00	196.20	1.00	1.16
23	10- 5	250.00	400.00	62.87	1.28	4.26
24	9-10	400.00	490.00	163.98	1.30	2.94
25	0- 9	400.00	510.00	134.11	1.07	2.09
26	12- 9	250.00	790.00	51.36	1.05	5.74
27	11-10	150.00	580.00	13.50	.76	4.57
28	11- 5	150.00	300.00	23.27	1.32	6.56
29	11- 0	150.00	810.00	-10.39	.59	3.95
30	12-11	200.00	780.00	31.94	1.02	7.18
31	0-12	200.00	1150.00	29.45	.94	9.10
32	0-12	150.00	860.00	9.85	.56	3.81

e= .00100 nk= 12 ny= 32

вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	530.00	116.80	400.00	c	2	470.00	98.00	400.00	c	3	470.00	94.40	350.00	c
4	740.00	85.80	350.00	c	5	680.00	68.30	300.00	c	6	890.00	38.80	250.00	c
7	900.00	43.00	250.00	c	8	880.00	47.20	300.00	c	9	960.00	50.00	300.00	c
10	690.00	941.60	1000.00	c	11	520.00	389.90	800.00	c	12	640.00	120.80	400.00	c
13	630.00	38.90	300.00	c	14	860.00	19.00	150.00	c	15	650.00	60.40	300.00	c
16	520.00	131.40	400.00	c	17	340.00	412.30	400.00	c	18	1050.00	404.80	600.00	c
19	490.00	204.80	400.00	c	20	520.00	163.70	600.00	c	21	470.00	60.70	300.00	c
22	430.00	146.10	500.00	c	23	400.00	37.70	250.00	c	24	490.00	55.00	400.00	c
25	510.00	65.60	400.00	c	26	790.00	27.00	250.00	c	27	580.00	13.80	150.00	c
28	300.00	19.00	150.00	c	29	810.00	12.60	150.00	c	30	780.00	12.60	200.00	c
31	1150.00	6.00	200.00	c	32	860.00	6.00	150.00	c	33	.00	.00	.00	

Таблиця A.2 – Розрахунок мережі для режиму подачі води в мережу в годину максимального транзиту

номер ділянки	код ділянки	діаметр труби,мм	довжина ділянки ,м	витрата води л/с	швидкість води м/с	втрати тиску ,м
1	1- 0	400.00	530.00	116.66	.92	1.65
2	1- 0	400.00	470.00	96.86	.77	1.05
3	2- 0	350.00	470.00	83.59	.87	1.56
4	3- 0	350.00	740.00	80.01	.83	2.27
5	4- 0	300.00	680.00	37.50	.53	1.12
6	4- 0	250.00	890.00	8.00	.16	.23
7	4- 3	250.00	900.00	17.99	.37	.96
8	3- 2	300.00	880.00	52.23	.74	2.65
9	2- 1	300.00	960.00	40.33	.57	1.80
10	8- 1	1000.00	690.00	858.78	1.09	.90
11	7- 2	800.00	520.00	483.65	.96	.71
12	6- 3	400.00	640.00	166.36	1.32	3.95
13	5- 4	300.00	630.00	58.12	.82	2.31
14	5- 0	150.00	860.00	7.42	.42	2.28
15	5- 6	300.00	650.00	9.05	.13	.09
16	7- 6	400.00	520.00	174.56	1.39	3.53
17	8- 7	400.00	340.00	245.41	1.95	4.57
18	0- 8	600.00	1050.00	488.76	1.73	6.52
19	8- 9	400.00	490.00	95.05	.76	1.06
20	9- 7	600.00	520.00	106.56	.38	.19
21	10- 7	300.00	470.00	-29.75	.42	.51
22	10- 6	500.00	430.00	98.81	.50	.33
23	10- 5	250.00	400.00	41.46	.84	1.95
24	9-10	400.00	490.00	88.31	.70	.93
25	0- 9	400.00	510.00	39.80	.32	.23
26	12- 9	250.00	790.00	-7.36	.15	.17
27	11-10	150.00	580.00	5.32	.30	.85
28	11- 5	150.00	300.00	14.58	.83	2.72
29	11- 0	150.00	810.00	-3.40	.19	.54
30	12-11	200.00	780.00	20.03	.64	3.03
31	0-12	200.00	1150.00	14.57	.46	2.51
32	12- 0	150.00	860.00	-2.57	.15	.35

e= .00100 nk= 12 ny= 32

вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	530.00	193.30	400.00	c	2	470.00	162.60	400.00	c	3	470.00	156.10	350.00	c
4	740.00	143.00	350.00	c	5	680.00	115.70	300.00	c	6	890.00	67.50	250.00	c
7	900.00	71.50	250.00	c	8	880.00	78.00	300.00	c	9	960.00	81.30	300.00	c
10	690.00	1117.00	1000.00	c	11	520.00	666.70	800.00	c	12	640.00	227.20	400.00	c
13	630.00	107.40	300.00	c	14	860.00	25.00	150.00	c	15	650.00	114.00	300.00	c
16	520.00	213.60	400.00	c	17	340.00	223.00	400.00	c	18	1050.00	268.00	600.00	c
19	490.00	224.00	400.00	c	20	520.00	375.40	600.00	c	21	470.00	106.80	300.00	c
22	430.00	245.10	500.00	c	23	400.00	52.60	250.00	c	24	490.00	190.10	400.00	c
25	510.00	198.60	400.00	c	26	790.00	70.00	250.00	c	27	580.00	27.00	150.00	c
28	300.00	26.50	150.00	c	29	810.00	10.00	150.00	c	30	780.00	10.70	200.00	c
31	1150.00	30.30	200.00	c	32	860.00	10.70	150.00	c	33	.00	.00	.00	

Таблиця А.3 - Розрахунок мережі для режиму подачі води в мережу в годину максимального водопостачання при пожежі

номер ділянки	код ділянки	діаметр труби,мм	довжина ділянки ,м	витрата води л/с	швидкість води ,м/с	втрати тиску ,м
1	1- 0	400.00	530.00	185.80	1.48	4.08
2	1- 0	400.00	470.00	155.10	1.23	2.52
3	2- 0	350.00	470.00	137.31	1.43	4.01
4	3- 0	350.00	740.00	136.94	1.42	6.28
5	4- 0	300.00	680.00	76.54	1.08	4.15
6	4- 0	250.00	890.00	28.34	.58	2.16
7	4- 3	250.00	900.00	38.39	.78	3.81
8	3- 2	300.00	880.00	90.74	1.28	7.42
9	2- 1	300.00	960.00	70.01	.99	4.97
10	8- 1	1000.00	690.00	1169.26	1.49	1.64
11	7- 2	800.00	520.00	726.31	1.44	1.55
12	6- 3	400.00	640.00	263.26	2.09	9.89
13	5- 4	300.00	630.00	125.25	1.77	10.13
14	5- 0	150.00	860.00	3.68	.21	.66
15	5- 6	300.00	650.00	62.67	.89	2.74
16	7- 6	400.00	520.00	224.41	1.79	5.84
17	8- 7	400.00	340.00	226.94	1.81	3.91
18	0- 8	600.00	1050.00	223.24	.79	1.45
19	9- 8	400.00	490.00	193.51	1.54	4.09
20	9- 7	600.00	520.00	348.85	1.23	1.65
21	10- 7	300.00	470.00	60.28	.85	1.84
22	10- 6	500.00	430.00	209.39	1.07	1.31
23	10- 5	250.00	400.00	68.22	1.39	5.01
24	9-10	400.00	490.00	210.07	1.67	4.82
25	0- 9	400.00	510.00	184.33	1.47	3.86
26	12- 9	250.00	790.00	55.79	1.14	6.70
27	11-10	150.00	580.00	11.39	.64	3.35
28	11- 5	150.00	300.00	26.50	1.50	8.51
29	11- 0	150.00	810.00	-11.31	.64	4.62
30	12-11	200.00	780.00	32.08	1.02	7.24
31	0-12	200.00	1150.00	30.23	.96	9.55
32	0-12	150.00	860.00	10.63	.60	4.38