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: **«РОЗРОБКА МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ З УРАХУВАННЯМ ЗАВДАНЬ ПОВОЄННОЇ ВІДБУДОВИ»**

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

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» 03 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Панченко Крістіні Сергіївні

1. Тема роботи Розробка мережі транспортування води з урахуванням завдань повоєнної відбудови
2. затверджено наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року № 1832-с

2. Строк подання роботи: 25.05.2026

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Аналітичний огляд сучасних технологій і підходів до реконструкції та розвитку систем транспортування води після воєнних руйнувань. 1.1 Сучасні підходи до проєктування мереж водопостачання в міському просторі 1.2. Модернізація інженерних мереж у контексті повоєнної відбудови: світовий досвід. 1.3. Стан та проблеми функціонування водопровідних мереж в українських містах у період воєнних дій. 1.4. Перспективні технології та інноваційні методи відновлення мереж транспортування води. 2. Особливсті забудови міста та визначення параметрів для розробки мережі. 2.1 Характеристика житлової забудови міста та визначення розрахункової кількості населення. 2.2 Оцінка джерела водопостачання та визначення умов забору води. 2.3 Особливості схеми системи водопостачання. 2.4 Визначення добових розрахункових витрат води міста. 2.5 Особливості режиму водоспоживання міста. 3. Розрахунок водопровідної мережі міста. 3.1 Розробка схеми трасування мережі. 3.2 Визначення шляхових та вузлових витрат. 3.3 Визначення діаметрів ділянок мережі. 3.4 Гідравлічний розрахунок мережі. 3.5 Побудова п'єзометричних карт мережі. 4. Споруди на мережі. 4.1 Розрахунок водонапірної башти. 4.2 Розрахунок резервуарів чистої води. 4.3 Насосна станція 2 підйому. 4.3.1 Визначення розрахункової подачі насосної станції. 4.3.2 Визначення діаметрів всмоктувальних і напірних водоводів. 4.3.3 Визначення розрахункового напору насосів. 4.3.4 Розрахунок режиму роботи насосної станції при пожежогасінні. 4.3.5 Підбір насосів та електродвигунів до них.

Визначення позначок вісі насосів і долу насосної станції. Визначення висоти машинного залу та підбір вантажопідйомного обладнання. 4.3.8 Аналіз режиму роботи насосів та уточнення їх робочих характеристик. ВИСНОВКИ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1.Генплан міста. 2. П'єзометричні карти. 3. П'єзометричні лінії. 4. Резервуар чистої води.5. Воднапірна башта. 6. Насосна станція 2 підйому: план та розрізи машинної зали.

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	Примітка
1	Розділ 1. Аналітичний огляд сучасних технологій і підходів до реконструкції та розвитку систем транспортування води після воєнних руйнувань.	25.03.26	
2	Розділ 2. Особливсті забудови міста та визначення параметрів для розробки мережі.	14.04.26	
3	Листи 1-2.	25.04.26	
4	Розділ 3. Розрахунок водопровідної мережі міста.	05.05.26	
5	Листи 3-4.	10.05.26	
	Розділ 4. Споруди на мережі. Лист №5.	15.05.26	
6	Лист 6.	18.05.26	
7	Презентація підготовка доповіді.	22.05.26	
8	Попередній захист	23.05.26	

Студент _____ К.С. Панченко
(підпис) (ініціали та прізвище)

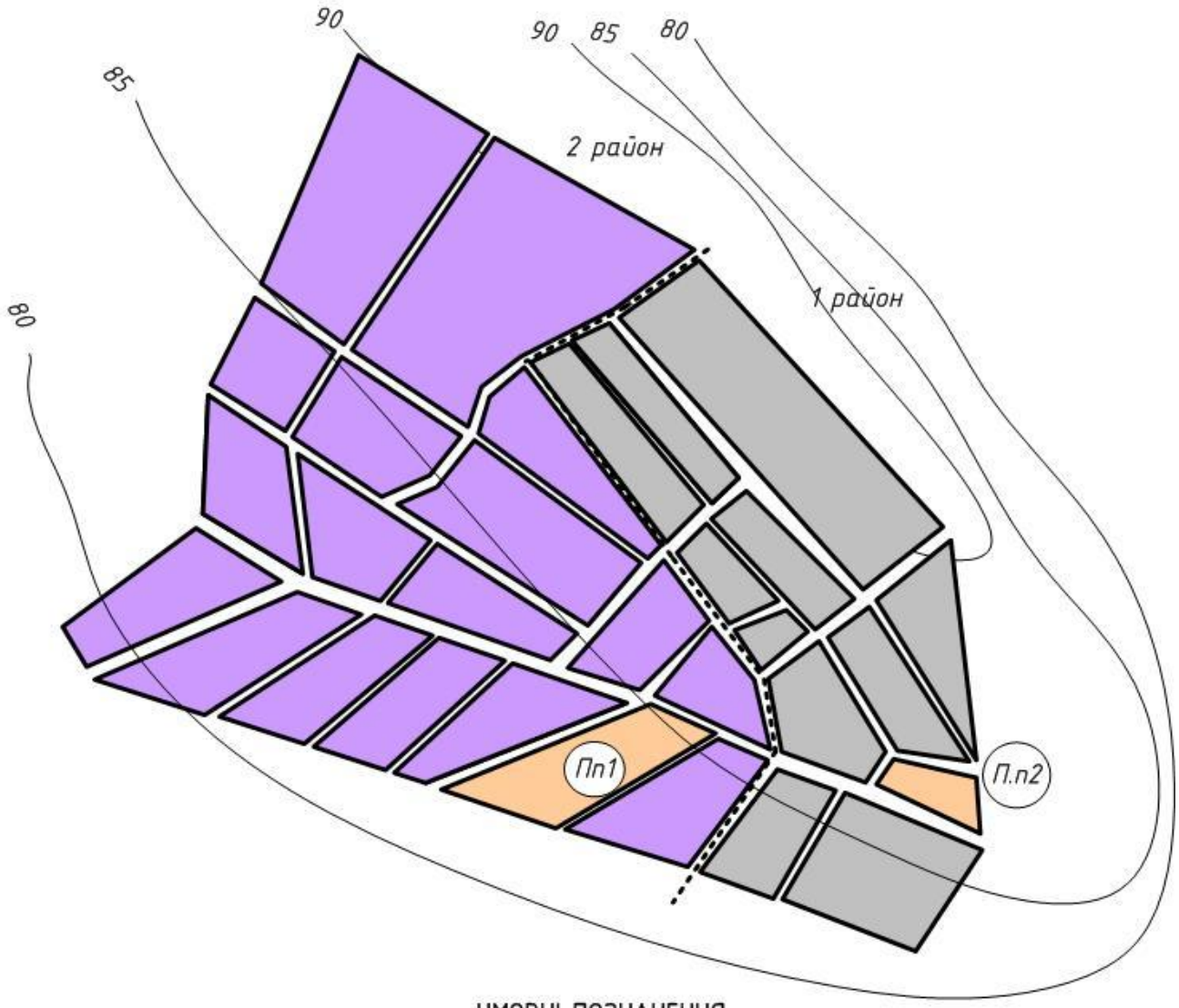
Керівник роботи _____ О.Г. Добровольська
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

Додаток 1

ГЕНПЛАН МІСТА М 1:10000



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

Пп1

Промислові підприємства

П.п2

Додаток 2

Таблиця 1 – Короткий опис забудови

Район міста	Кількість поверхів	Щільність населення, чол/га	Ступінь благоустрою
Перший район	5	180	внутрішній водопровід, каналізація та ванни з місцевими водонагрівачами
Другий район	9	360	внутрішній водопровід, каналізація та централізоване гаряче водопостачання
Усього			

Таблиця 2 – Характеристика підприємств

№ підпр.	Кількість працюючих по змінах	Кількість працюючих в гар. цехах, %	Характеристика технологічного процесу	Витрати води на промислов і потреби, $м^3$/доб	Ступінь вогнестійкості конструкцій
№ 1	900	50%	Ia, IIa	4000	I, II A
	600				
	400				
№ 2	700	50%	Ia, IIa	3750	II B
	1200				
	1300				

ЗМІСТ

ВСТУП…….8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ПІДХОДІВ ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗВИТКУ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ ПІСЛЯ ВОЄННИХ РУЙНУВАНЬ……..10
1.1 Сучасні підходи до проєктування мереж водопостачання в міському просторі……..…….10
1.2. Модернізація інженерних мереж у контексті повоєнної відбудови: світовий досвід……15
1.3. Стан та проблеми функціонування водопровідних мереж в українських містах у період воєнних дій……17
1.4. Перспективні технології та інноваційні методи відновлення мереж транспортування води……...…….19
РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ЗАБУДОВИ МІСТА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ МЕРЕЖІ…….27
2.1 Характеристика житлової забудови міста та визначення розрахункової кількості населення……....27
2.2 Оцінка джерела водопостачання та визначення умов забору води…….28
2.3 Особливості схеми системи водопостачання……29
2.4 Визначення добових розрахункових витрат води міста……...……30
2.5 Особливості режиму водоспоживання міста……35
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ МІСТА……40
3.1 Розробка схеми трасування мережі……39
3.2 Визначення шляхових та вузлових витрат……40
3.3 Визначення діаметрів ділянок мережі……45
3.4 Гідравлічний розрахунок мережі……46
3.5 Побудова п’єзометричних карт мережі……..……50

РОЗДІЛ 4. СПОРУДИ НА МЕРЕЖІ……52
4.1 Розрахунок водонапірної башти……52
4.2 Розрахунок резервуарів чистої води……54
4.3 Насосна станція 2 підйому……57
4.3.1 Визначення розрахункової подачі насосної станції……57
4.3.2 Визначення діаметрів всмоктувальних і напірних водоводів……57
4.3.3 Визначення розрахункового напору насосів……58
4.3.4 Розрахунок режиму роботи насосної станції при пожежогасінні……60
4.3.5 Підбір насосів та електродвигунів до них……..61
4.3.6 Визначення позначок вісі насосів і долу насосної станції……...62
4.3.7 Визначення висоти машинного залу та підбір вантажопідйомного обладнання……..64
4.3.8 Аналіз режиму роботи насосів та уточнення їх робочих характеристик….66
ВИСНОВКИ……69
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..70
ДОДАТОК ……75

ВСТУП

В умовах воєнних дій в Україні значна частина об’єктів інженерної інфраструктури зазнала пошкоджень або повного руйнування, що призвело до порушення стабільної роботи систем водопостачання. В сучасних умовах проєктування водопровідних мереж має враховувати не лише нормативні вимоги, але й підвищені ризики пошкоджень, необхідність резервування, енергоефективність та можливість швидкого відновлення при аваріях.

Тема кваліфікаційної роботи є актуальною та практично значущою, оскільки спрямована на формування технічно обґрунтованих рішень щодо створення надійної та ефективної водопровідної мережі міста з урахуванням сучасних викликів. У роботі поєднано аналітичний огляд сучасних підходів до реконструкції систем водопостачання після воєнних руйнувань із виконанням повного комплексу інженерних розрахунків, необхідних для проєктування міської водопровідної мережі.

Метою роботи є розробка схеми та виконання гідравлічного розрахунку мережі транспортування води міста з урахуванням вимог надійності, енергоефективності та адаптації до умов повоєнного відновлення інфраструктури. Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено вирішення таких основних завдань:

–аналітичний огляд сучасних технологій та підходів до реконструкції й розвитку систем транспортування води після воєнних руйнувань;

– аналіз стану водопровідних мереж в українських містах у період воєнних дій та визначення основних проблем їх функціонування;

– визначення розрахункової чисельності населення та добових витрат води;

– розробка схеми системи водопостачання міста та трасування водопровідної мережі;

– виконання гідравлічного розрахунку мережі з визначенням діаметрів трубопроводів і побудовою п’єзометричних карт;

– розрахунок основних споруд на мережі, зокрема водонапірної башти, резервуарів чистої води та насосної станції другого підйому.

Об’єктом дослідження є система централізованого водопостачання міста. Предметом дослідження є процеси проєктування та розрахунку мереж транспортування води з урахуванням підвищених вимог до надійності та відновлюваності в умовах повоєнної відбудови.

У першому розділі роботи наведено аналітичний огляд сучасних підходів до проєктування та модернізації мереж водопостачання, розглянуто світовий досвід відновлення інженерної інфраструктури після воєнних руйнувань, а також проаналізовано актуальний стан водопровідних мереж в українських містах. Другий розділ присвячений характеристиці міста, визначенню розрахункових параметрів та формуванню вихідних даних для проєктування. У третьому розділі виконано розробку схеми трасування мережі, визначено вузлові та шляхові витрати, підібрано діаметри труб і здійснено гідравлічний розрахунок з побудовою п’єзометричних карт. Четвертий розділ містить розрахунок основних споруд системи водопостачання, що забезпечують стабільність та безперервність подачі води споживачам. Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів при розробці проєктів відновлення та модернізації міських систем водопостачання, а також у навчальному процесі за освітньою програмою «Міське будівництво та господарство». Реалізація запропонованих рішень сприятиме підвищенню надійності функціонування водопровідних мереж, зменшенню втрат води та забезпеченню сталого розвитку міської інфраструктури в умовах повоєнної відбудови України.

Окремі положення кваліфікаційної роботи доповідались на XVII Університетській науково-практичній конференції «Молода наука-2024» [1,2].

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І ПІДХОДІВ ДО РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗВИТКУ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ ПІСЛЯ ВОЄННИХ РУЙНУВАНЬ

1.1 Сучасні підходи до проєктування мереж водопостачання в міському просторі

Проєктування систем водопостачання в сучасних містах є складним багатокомпонентним інженерним процесом, що поєднує фізичні, гідравлічні, економічні та соціальні аспекти функціонування міського середовища. При цьому водопровідні мережі, схема яких показана на рис. 1.1, розглядаються не лише як сукупність трубопроводів і споруд, а як важливий елемент критичної інфраструктури міста, від надійності якого безпосередньо залежить рівень комфорту та безпеки населення.



Рисунок 1.1 – Схеми водопровідної мережі [3, с. 50]

Сучасні підходи до проєктування дедалі більше орієнтуються на підвищення надійності, гнучкості та стійкості систем водопостачання до

зовнішніх впливів. До таких впливів належать екстремальні погодні явища, пов’язані зі зміною клімату, нерівномірний розвиток міської забудови, демографічні зміни, а також пошкодження інженерних мереж унаслідок надзвичайних ситуацій та воєнних дій. У зв’язку з цим проєктні рішення повинні передбачати можливість швидкого реагування на зміну умов експлуатації та забезпечення безперервного водопостачання навіть у разі часткових відмов окремих елементів системи [4, с.20].

Основними цілями сучасного проєктування систем водопостачання є забезпечення стабільного та якісного водопостачання споживачів у необхідних обсягах, мінімізація втрат води під час транспортування, раціональне використання енергетичних ресурсів, а також зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище. Для досягнення цих цілей застосовуються сучасні методи гідравлічного розрахунку, оптимізація трасування мереж, використання енергоефективного обладнання та впровадження нових матеріалів трубопроводів з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Таким чином, проєктування міських систем водопостачання на сучасному етапі розвитку інженерної науки потребує комплексного підходу, який враховує як технічні параметри системи, так і довгострокові соціально-економічні та екологічні наслідки її функціонування.

Традиційне проєктування мереж водопостачання базується на гідравлічних розрахунках, які дозволяють визначити геометрію, діаметри та матеріали трубопроводів, розміщення насосних станцій та резервуарів [5, с.535]. Однак класичні методи проєктування вже не враховують всі сучасні виклики, зокрема непередбачувані навантаження та зміни режимів споживання. Через це в останні роки дедалі більше уваги приділяється моделюванню та оптимізації систем із використанням цифрових інструментів.

Гідравлічне моделювання стало стандартом у проєктуванні складних мереж водопостачання. Сучасні програмні засоби, такі як EPANET, WaterGEMS та інші, дозволяють створювати детальні чисельні моделі, що адекватно відображають реальні умови експлуатації, включно з різними сценаріями навантаження та аварійними ситуаціями. Використання таких моделей особливо важливе в умовах високої складності міського середовища та потреби в інтеграції з геоінформаційними системами (ГІС) для аналізу просторових даних [6, с.50–52].

Гідравлічні моделі дозволяють не лише здійснювати розрахунки, але й проводити валідацію та калібрування системи водопостачання на основі фактичних вимірювань та даних експлуатації. Це забезпечує високу точність прогнозів і дозволяє оптимізувати параметри мереж у різних умовах. Застосування таких моделей сприяє виявленню слабких місць мережі, оцінці впливу змін в попиті на воду та адаптації інфраструктури до майбутніх змін [6, с.44–45].

Особливо важливо, що гідравлічне моделювання може бути ефективно застосоване для оцінювання ризиків та управління ними під час реконструкції мереж, що зазнали пошкоджень внаслідок екстремальних подій чи воєнних руйнувань. Такий підхід дозволяє оперативно коригувати проєктні рішення та планувати відновлення мереж із мінімальними витратами часу та ресурсів.

У сучасному проєктуванні великого значення набуває здатність системи водопостачання зберігати функціональність після впливу зовнішніх стрес-факторів і швидко відновлюватись після порушень. У міжнародній науковій літературі розроблені методологічні концепції оцінки та підвищення стійкості водопостачальних систем до різних типів ризиків, включно з техногенними та природними аваріями [7, с.26–27].

У рамках такої методології передбачається аналіз взаємозалежності водопровідної мережі з іншими критичними інфраструктурами (енергетичними, транспортними), а також використання кількісних метрик для оцінки рівня стійкості під час відмов окремих елементів мережі. Такий підхід дозволяє не тільки оптимізувати проєктну структуру мережі, але й планувати ресурси для реагування на надзвичайні ситуації, що є критично важливим у післявоєнних умовах реконструкції.

Сучасні підходи до проєктування містять також інтеграцію цифрових технологій, зокрема інструментів автоматизованого проєктування (BIM – Building Information Modeling), що дозволяють створювати тривимірні моделі мереж, координувати роботу різних інженерних систем та оптимізувати процеси планування та будівництва. Приклад тривимірної моделі показано на рис. 1.2.

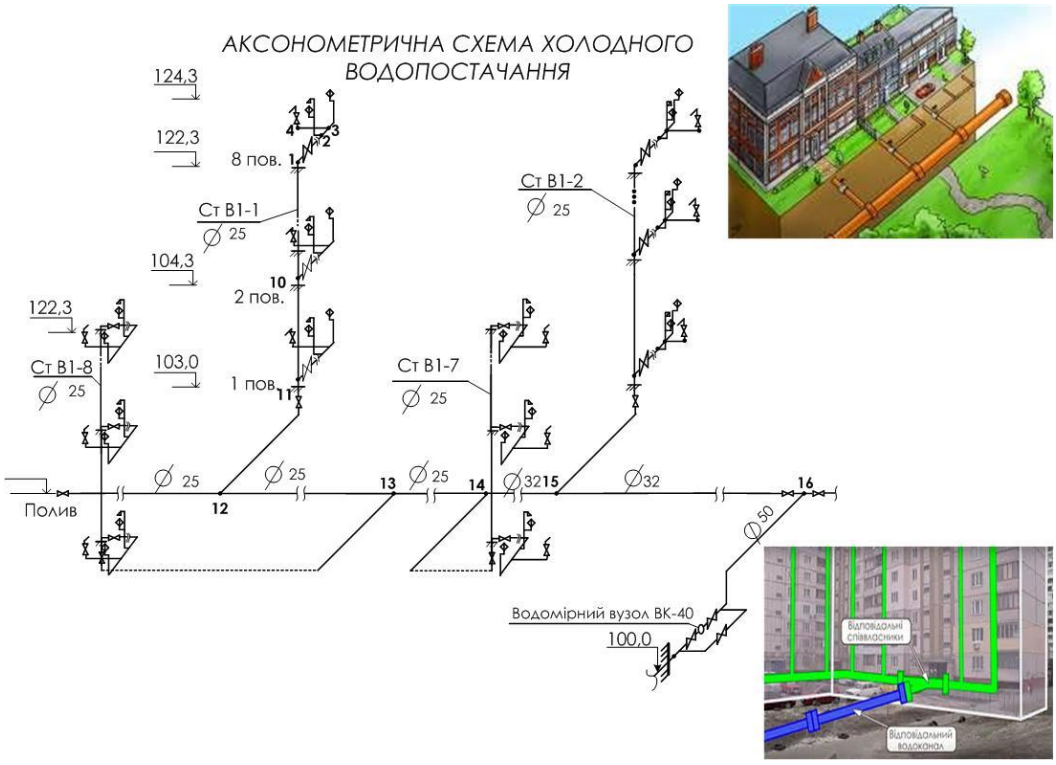


Рисунок 1.2 – Тривимірна схема водопостачання будівлі

Такі цифрові платформи надають можливість виявляти конфлікти між різними інфраструктурами, прогнозувати вплив змін у попиті на воду, а також забезпечувати координацію між проєктувальними командами та операторами мереж. Це особливо важливо в умовах реконструкції після руйнувань, коли потрібно враховувати специфіку кожного локального фрагмента інфраструктури та забезпечувати їхню швидку інтеграцію у загальну систему [8, с.3–4, табл.1].

Ще одним важливим напрямом є енергоефективність водопостачальних мереж. Сучасні проєкти враховують енерговитрати на транспортування води, використання насосних станцій та втрати тиску в системі. Оптимізація цих параметрів дозволяє знизити експлуатаційні витрати та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

Наприклад, підбір оптимальних діаметрів труб та режимів їх експлуатації здійснюється з урахуванням балансу між мінімальними втратами напору і максимальним забезпеченням потреб населення у воді. Використання сучасних матеріалів (наприклад, поліетиленові труби з низькими гідравлічними втратами) та нових методів розрахунку дозволяють досягати високої ефективності водопровідних мереж [9.]

Майбутній розвиток водопровідних мереж в міських просторах буде пов’язаний з подальшою цифровізацією, інтеграцією штучного інтелекту для управління попитом та обслуговуванням, використанням сенсорних мереж для моніторингу тиску та витрат води в реальному часі, а також з урахуванням змін клімату та демографічних тенденцій. Це дозволить створювати адаптивні системи, здатні забезпечувати надійність послуг у різних умовах, включно з післявоєнними відновлювальними процесами.

1.2. Модернізація інженерних мереж у контексті повоєнної відбудови: світовий досвід

Повоєнна відбудова інженерних мереж – це комплекс дій з відновлення та модернізації критичної інфраструктури (енергетичні системи, транспортні напрямки, водопостачання, комунальні мережі), які були пошкоджені або знищені внаслідок військових дій. Воєнні конфлікти суттєво впливають на фізичний стан інженерних мереж, руйнуючи лінії електропередач, водогони, транспортні об’єкти та об’єкти енергетичної інфраструктури. Така руйнація створює серйозні виклики для держав, які намагаються повернутися до нормального соціально-економічного функціонування після закінчення бойових дій.

Історичний та сучасний світовий досвід [10, с.25] свідчить про те, що процес модернізації інженерних мереж у післявоєнний період не обмежується простим відновленням пошкоджених об’єктів. Він передбачає комплексну трансформацію інфраструктури із залученням інноваційних технологій, стійких енергетичних рішень, цифровізації та підвищенням ефективності управління. Це дозволяє не лише повернути інфраструктуру до попереднього стану, але й значно підвищити її стійкість, адаптивність та продуктивність у довгостроковій перспективі. Такий підхід забезпечує стійке функціонування економіки, зростання конкурентоспроможності та інтеграцію у глобальні економічні процеси.

У світовій практиці модернізація інженерних мереж у післявоєнний період представлена наступною моделлю:

- відновлення фізичної інфраструктури;
- економічне відновлення;
- соціальне та екологічне вирівнювання інфраструктури.

Першим компонентом є відновлення фізичного стану мереж, що включає реконструкцію зруйнованих об’єктів енергетики, транспорту та комунальних послуг. Наприклад, в країнах Азії: Японії та Південній Кореї [10, с.27] після закінчення військових конфліктів (друга світова війна, корейська війна) модернізація транспортної та енергетичної інфраструктури була спрямована на впровадження інноваційних технологій та стійких моделей фінансування. Це включало модернізацію електростанцій, розбудову мереж високошвидкісного транспорту, активне застосування державних програм модернізації енергетичних мереж, створення спеціальних зон для інновацій та промислового розвитку. Такий підхід дозволив цим країнам стати світовими лідерами у високотехнологічних галузях економіки та забезпечити високий рівень якості інфраструктури [11, с.2–3].

Другий компонент – це економічне відновлення, що передбачає залучення міжнародної допомоги, грантів, кредитів та пільгового фінансування для підтримки модернізаційних проектів. Міжнародні фінансові інституції, такі як Світовий банк чи Азійський банк розвитку, відіграють важливу роль у фінансуванні проєктів модернізації мереж, створенні сприятливих умов для інвестицій та стимулювання трансформації економіки. Аналіз досвіду Азійських країн показує, що комбінація міжнародної допомоги та державно-приватного партнерства є дієвим механізмом для реалізації масштабних модернізаційних проєктів [11, с.2].

Третій компонент: соціальна та екологічна частина передбачає модернізацію інфраструктури за принципами сталого розвитку, включаючи екологічну відповідальність, енергетичну ефективність, цифрові рішення та адаптацію до кліматичних змін. Наприклад, у розробці стратегій повоєнної відбудови Уряди та міжнародні експерти підкреслюють необхідність інтеграції

стійких технологій у реконструкцію міст та селищ, що дозволяє не лише зменшити вплив на довкілля, але й підвищити якість життя населення [12].

1.3. Стан та проблеми функціонування водопровідних мереж в українських містах у період воєнних дій

Функціонування водопровідних мереж у містах України є однією з найважливіших інфраструктурних складових забезпечення життєдіяльності населення. До війни централізоване водопостачання забезпечувало стабільний доступ до питної води для більшості громадян, що стало результатом розвитку комунальних мереж. Однак у період воєнних дій ці системи зазнали значних випробувань, що поставило під загрозу базові гарантії доступу до безпечної води та стало джерелом суспільних і технічних викликів.

Військові дії супроводжуються руйнуванням об’єктів водної інфраструктури, пошкодженням магістральних трубопроводів, водозаборів, насосних станцій, а також обмеженням доступу техніки та персоналу до зон бойових дій. Це, своєю чергою, ускладнює експлуатацію та своєчасне технічне обслуговування мереж, що призводить до частих аварійних ситуацій, зниження тиску та якості води у трубопроводах. Ситуація ускладнюється ще й тим, що морально застарілі мережі були значною мірою зношені ще до початку війни.

Однією з ключових технічних проблем є безпосереднє руйнування водопровідних мереж та пов’язаних об’єктів інфраструктури внаслідок артилерійських обстрілів та вибухів. Руйнування трубопроводів призводить до втрат води у великих обсягах і, як наслідок, до обмеження або повної зупинки подачі води у деякі райони міст. Відсутність стабільного тиску в мережах викликає підсмоктування ґрунтових вод або забруднень через дефекти в трубах, що створює додаткові ризики для якості води.

Значні проблеми виникають також у зоні так званих «сірих» або тимчасово окупованих територій, де доступ до централізованого водопостачання або відсутній, або обмежений. Наприклад, постачання води до окремих районів Донецької області стало катастрофічно нестабільним через пошкодження радянських каналів водопостачання та неможливість їх оперативного ремонту у зв'язку з бойовими діями.

Передвоєнний технічний стан водопровідних мереж в Україні був неоднорідним: у багатьох містах зношення труб та обладнання перевищувало 50–60 % від проєктного ресурсу. Це означає, що значна частина мереж була вже морально та фізично застарілою, а їх подальша експлуатація потребувала капітальних ремонтів та модернізації. За умов повномасштабної війни здійснення цих ремонтних робіт стало значно складнішим через обмеження доступу до зони бойових дій, дефіцит матеріалів і спеціалізованої техніки.

Варто зауважити, що навіть у мирний час високий рівень зносу призводив до значних витрат на обслуговування, постійних витоків води та невисокої ефективності роботи мереж. За таких обставин воєнний фактор лише посилив уже наявні структурні недоліки.

В умовах бойових дій значно зростає ризик погіршення якості питної води, що надходить через централізовані мережі. Пошкодження трубопроводів, порушення режиму очищення води, змішування із забрудненими ґрунтовими водами – усе це створює додаткові виклики для забезпечення відповідності води санітарним стандартам.

За результатами гігієнічної оцінки питної води в умовах війни було виявлено, що деградація систем водопостачання безпосередньо впливає на стан здоров'я населення**,** оскільки знижується доступ до безпечної питної води, а ризик захворювань, пов'язаних з її вживанням, зростає. У роботі, присвяченій аналізу потенційних ризиків для населення на прикладі Харківського регіону,

зазначено, що збройний конфлікт створює додаткові небезпеки для якості води, що може стати причиною розвитку ендемічних захворювань [13, с. 20–21].

Через труднощі з відновленням центральних мереж у зоні бойових дій українські міста застосовують різні альтернативні підходи для забезпечення базових потреб у воді. До таких належать мобільне водопостачання за допомогою автоцистерн, використання локальних резервуарів, буріння тимчасових свердловин, а також організація децентралізованих систем водопостачання. Останні можуть включати локальні фільтраційні установки або автономні джерела, які забезпечують окремі квартали чи мікрорайони.

Зокрема, планування та організація децентралізованих систем водопостачання в умовах воєнного стану в Україні розглядається як важлива міра для підвищення надійності водопостачання у складних обставинах. Ці системи дають змогу зменшити залежність від централізованої мережі та забезпечують більш гнучкий підхід до локальних потреб населення та військових підрозділів [14, с.32].

1.4. Перспективні технології та інноваційні методи відновлення мереж транспортування води

Ефективність функціонування міських систем водопостачання значною мірою визначається станом мереж транспортування води. В умовах старіння інфраструктури, значних втрат ресурсів та підвищених вимог до якості водопостачання постає необхідність впровадження сучасних технологій для відновлення, модернізації та моніторингу водопровідних мереж. Це потребує як технічних рішень, так і інтеграції цифрових технологій для забезпечення довговічності, енергоефективності та надійності функціонування водопостачальних систем.

Більшість водопровідних мереж міст України та Європи експлуатуються понад проєктний термін. Такий стан призводить до:

- значних втрат води через витоки;
- частих аварійних ситуацій;
- зниження якості послуг для споживачів.

Витрати води в мережах можуть сягати 20–60 % від загального обсягу, що подається в мережу**,** з урахуванням стану інфраструктури й умов експлуатації. Це підтверджують світові дослідження з моделювання та управління мережами водопостачання.

Так в сучасних дослідженнях з оцінювання ефективності функціонування систем водопостачання значна увага приділяється розробленню показників вимірювання реальних втрат води. Як зазначають автори [15], традиційні підходи до оцінювання втрат не завжди дозволяють отримати об’єктивну картину технічного стану мережі [15, с. 1546–1548].

Найбільш поширеними індикаторами залишаються відсоток втрат від загального обсягу поданої води та втрати у розрахунку на одне підключення. Однак такі показники мають обмежену інформативність, оскільки не враховують ключові експлуатаційні параметри системи, зокрема середній робочий тиск, щільність підключень, протяжність трубопроводів та особливості організації обліку води [15, с. 1548–1550].

З метою підвищення певності порівняльного аналізу автори рекомендують використовувати більш репрезентативні показники, такі як:

– обсяг реальних втрат у літрах на одне підключення до мережі за добу;

– обсяг втрат у літрах на кілометр магістрального водопроводу за добу [15, с. 1550–1552].

Крім того, важливим елементом сучасної методики оцінювання є порівняння фактичного річного обсягу реальних втрат із неминучим (мінімально

можливим) рівнем втрат, який визначається з урахуванням технічних характеристик конкретної системи водопостачання. На основі такого підходу розраховується індекс витоків інфраструктури, що дозволяє здійснювати коректні порівняння між системами з різними параметрами та умовами експлуатації [15, с. 1552–1554].

Таким чином, застосування запропонованої системи показників забезпечує більш обґрунтоване оцінювання ефективності функціонування водопровідних мереж і створює основу для прийняття технічно виважених рішень щодо їх модернізації та відновлення.

Однією з провідних тенденцій у відновленні мереж є застосування систем дистанційного контролю та діагностики**.** Сучасні рішення включають [16, с. 1742]:

- сенсорні мережі для вимірювання тиску, витрати, температури;
- автоматизовані системи виявлення втрат води;
- використання штучного інтелекту для прогнозування аномалій у роботі систем.

Дослідження показують, що застосування таких систем дозволяє знизити втрати води на 30–50 % шляхом оперативного виявлення місць втрат води та оптимізації режимів роботи.

Сучасний етап розвитку систем водопостачання також пов’язаний із переходом від традиційних методів управління до концепції «розумних» водопровідних мереж (Smart Water Networks). Основною особливістю таких систем є використання даних для прийняття управлінських рішень на всіх рівнях експлуатації мережі – від локального контролю окремих ділянок до стратегічного планування розвитку інфраструктури [17, с. 2–3].

Сучасні водопровідні мережі генерують значні обсяги інформації завдяки впровадженню датчиків тиску, витрати, якості води та інших параметрів. Однак

сама наявність даних не гарантує підвищення ефективності роботи системи. Важливим є їх правильне опрацювання, аналіз та інтеграція у процес прийняття рішень [17, с. 3–4].

Цифровізація водопровідних мереж дозволяє реалізувати такі функції[17, с. 4–6:

- безперервний моніторинг гідравлічних параметрів;
- оперативне виявлення втрат води та аварійних ситуацій;
- прогнозування пошкоджень трубопроводів;
- оптимізацію режимів подачі води та зниження енергоспоживання [17, с. 4–6].

Особливу увагу автори приділяють застосуванню методів аналізу великих даних (Big Data) та алгоритмів машинного навчання. Завдяки таким підходам можна виявляти приховані закономірності у функціонуванні мережі, що неможливо встановити за допомогою традиційних інженерних розрахунків. Наприклад, аналіз історичних даних про зміни тиску дозволяє прогнозувати потенційні місця пошкоджень труб до виникнення аварії [17, с. 6–8].

У роботі також зазначено, що інтеграція гідравлічних моделей із системами збору даних у реальному часі створює основу для так званого адаптивного управління мережею. Це означає, що параметри роботи системи можуть коригуватися автоматично залежно від фактичних умов експлуатації, що значно підвищує її надійність і стійкість до зовнішніх впливів [17, с. 4, рис.1].

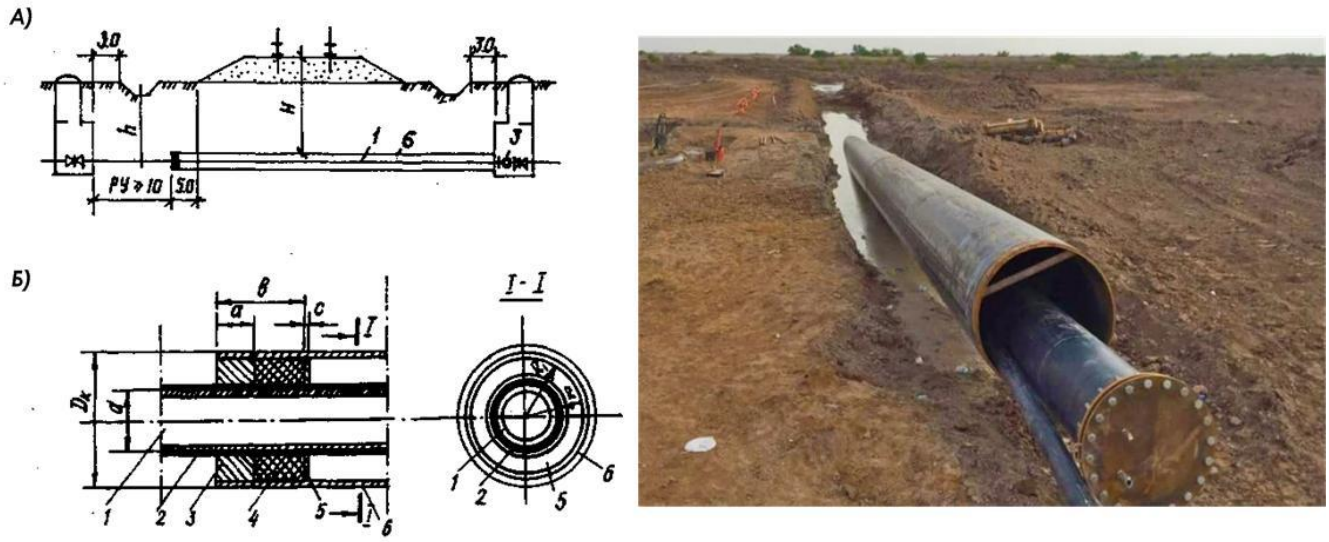
Таким чином, впровадження принципів «розумних» водопровідних мереж сприяє не лише зменшенню втрат води, але й підвищенню енергоефективності, продовженню терміну служби трубопроводів та більш раціональному використанню фінансових ресурсів. Для українських міст, особливо в умовах відновлення інфраструктури, застосування підходів, заснованих на аналізі даних, може стати важливим інструментом модернізації систем транспортування води.

Традиційна заміна мережі водопостачання передбачає відкриті траншеї, що має низку недоліків:

- значні порушення дорожнього покриття та благоустрою;
- великі обсяги земляних робіт;
- високі витрати часу та коштів.

Сучасні безтраншейні технології дозволяють скоротити ці недоліки шляхом відновлення труб без масштабних розкопок. Найпоширеніші методи:

- траншейне прокладання у футлярі;



Схеми переходу під залізницею А) і сальника футляра газопроводу Б): 1 – робочий трубопровід; 2 – шар посиленої ізоляції; 3 - бітумна пробка; 4 - ущільнення з просмоленого каната; 5 - сталева діафрагма товщиною 2...3 мм; 6 – футляр

Рисунок 1.3 – Прокладання трубопроводів у футлярах [18]

- трубопровідна санація методом релайнінгу, як показано на рис. [19]



Рисунок 1.4 – Санація трубопроводу методом «релайнінга» [19]

- протягання нового полімерного трубопроводу через старий (рис.) [20]:



Рисунок 1.5 – Санація трубопроводу методом полімерного рукава («панчохи») [20]

Досвід застосування таких технологій у різних країнах показав суттєве скорочення термінів робіт і підвищення експлуатаційної надійності мереж при одночасному зменшенні впливу на міське середовище [21, с. 59].

Інноваційні матеріали також відіграють важливу роль у відновленні мереж водопостачання. Серед таких матеріалів:

- поліетилен високої щільності (HDPE);

- поліпропілен;
- армовані композитні труби;
- труби з покриттями, що зменшують адгезію біофільмів.

Використання полімерних матеріалів забезпечує:

- високу корозійну стійкість;
- тривалий термін служби;
- зменшення гідравлічних втрат.

Дослідження показують, що полімерні труби мають на 20–40 % нижчі гідравлічні втрати, ніж сталеві аналоги, що позитивно впливає на енергоефективність систем [22, с.65].

Сучасний підхід до відновлення мереж передбачає:

- моделювання гідравлічних параметрів мереж;
- оцінювання ефективності реконструкції;
- прийняття рішень на основі даних.

Таке управління дозволяє підвищити надійність водопостачання та оптимізувати капітальні й експлуатаційні витрати.

Це досягається завдяки використанню спеціалізованого програмного забезпечення, яке:

- моделює потоки води;
- аналізує вплив різних сценаріїв ремонту;
- сприяє прийняттю рішень щодо пріоритетів відновлення окремих ділянок мережі.

Відновлення мереж транспортування води за допомогою сучасних технологій дозволяє:

- значно знизити втрати води й експлуатаційні витрати;
- підвищити надійність та якість водопостачання;
- зменшити вплив ремонтних робіт на міське середовище.

Серед перспективних напрямків – цифровий моніторинг, безтраншейні методи, сучасні матеріали та інтегроване управління системами. Подальші дослідження й впровадження таких технологій сприятимуть сталому розвитку міських інженерних мереж.

РОЗДІЛ 2. ОСОБЛИВОСТІ ЗАБУДОВИ МІСТА ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ МЕРЕЖІ

2.1 Характеристика житлової забудови міста та визначення розрахункової кількості населення

З урахуванням рівня благоустрою та особливостей житлової забудови територію міста умовно поділено на два райони.

Перший район представлений переважно п’ятиповерховими житловими будинками, які обладнані внутрішніми системами водопостачання та каналізації, а також ваннами з місцевими водонагрівачами.

У другому районі домінує дев’ятиповерхова житлова забудова, для якої характерна наявність централізованої системи гарячого водопостачання.

Крім житлової забудови, на території міста функціонують два промислові підприємства, основні характеристики яких наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика підприємств

Назва підприємства	Витрата води на од. продукції	Продуктивність підприємства	Витрата води на виробництво	Кількість працюючих по змінах			Категорія пожежної безпеки
	$м^3/т$	т/доб	$м^3/доб$	1	2	3	
Підприємство №1(кондитерська фабрика)	20	200	4000	900	600	400	I, II А
Підприємство №2 (завод безалкогольних напоїв)	15	250	3750	700	600	500	II В

Чисельність населення для кожного району міста визначається за відповідною розрахунковою формулою:

$$N_i = P_i \times F_i, \quad (2.1)$$

де P_i – густина населення, чол/га;

F_i – площа і-го району.

$N_1 = 152.1 \times 180 = 27360$чол.; $N_2 = 343 \times 360 = 123480$чол.

2.2 Оцінка джерела водопостачання та визначення умов забору води

Джерелом водопостачання населеного пункту є поверхневий водний об'єкт – річка. Основні природні та гідрологічні характеристики джерела враховуються при визначенні умов забору води та подальшому проєктуванні системи транспортування води до споживачів.

Якість води у джерелі характеризується підвищеними показниками мутності та кольоровості, що є типовим для поверхневих вод. Мутність води становить 130 мг/л, кольоровість – 70 градусів, показник pH дорівнює 7,7. Загальна твердість води складає 4,0 мг-екв/л, а сухий залишок – 497 мг/л, що свідчить про середній рівень мінералізації води. Температура води у джерелі становить близько 20 °C.

Для забезпечення стабільної роботи системи водопостачання важливими є гідрологічні характеристики річки. Витрата води змінюється в межах від 30 м³/с у період мінімального стоку до 70 м³/с у період максимального водопілля, що свідчить про достатню водність джерела для забезпечення потреб міста.

Швидкість течії води в річці коливається від 0,3 до 0,9 м/с. Даний показник впливає на умови роботи водоприймальних споруд та можливість потрапляння наносів у водозабір.

При проєктуванні водозабірних споруд необхідно також враховувати сезонні коливання рівнів води у річці. Розрахункові рівні становлять: зимовий – 83 м, літній – 45,1 м, а під час паводка – до 84 м. Це необхідно для визначення відміток розташування водоприймальних елементів та забезпечення їх безперебійної роботи у різні періоди року.

До природних факторів, що впливають на експлуатацію водозабірних споруд, належать також товщина льодового покриву, яка може досягати 0,7 м, та висота хвиль до 0,5 м.

Береги річки складені ґрунтами різного складу: у верхньому шарі до глибини 3 м залягають піски, на глибині до 6 м – супіски, а нижче – суглинки. Такі інженерно-геологічні умови необхідно враховувати при виборі конструктивних рішень водозабірних споруд.

Отже, наведені гідрологічні, гідравлічні та інженерно-геологічні характеристики джерела водопостачання створюють необхідні вихідні умови для проєктування системи забору та подальшого транспортування води до мережі водопостачання населеного пункту.

2.3 Особливості схеми системи водопостачання

Водозабірні споруди разом з очисною станцією розміщені вище за течією річки на відстані 2,5 км від межі житлової забудови, що відповідає санітарним вимогам до розташування об’єктів водопостачання. На території станції водопідготовки передбачено розміщення насосної станції другого підйому**.**

Схему взаємного розташування основних елементів системи водопостачання наведено на рис. 2.1**.**

Забір води з джерела здійснюється водоприймальною спорудою (1), після чого вода за допомогою насосної станції першого підйому (2) транспортується по водоводах (3) до очисних споруд (4).

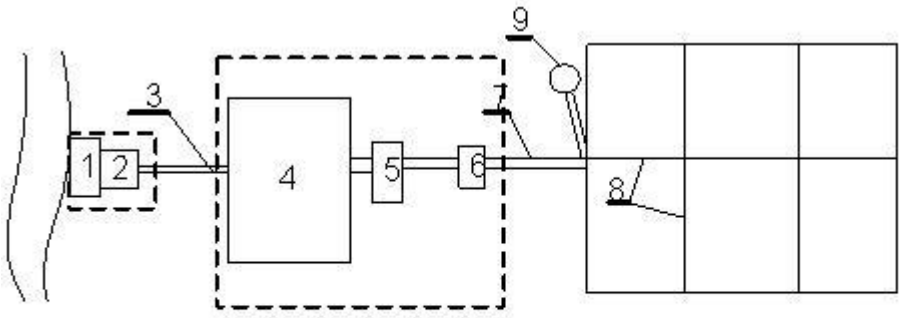


Рисунок 2.1 – Схема системи водопостачання

Після проходження процесу очищення вода надходить до резервуарів чистої води (5). Із цих резервуарів вона подається насосною станцією другого підйому (6) по магістральних водоводах (7) до міської водопровідної мережі (8).

Для забезпечення необхідного напору та регулювання режиму роботи мережі на її початку передбачено встановлення водонапірної башти (9).

2.4 Визначення добових розрахункових витрат води міста

У межах міста споживання води здійснюється для господарсько-питних потреб населення, поливу вуличних територій і зелених насаджень, а також для забезпечення виробничих потреб промислових підприємств.

Оскільки житлова забудова поділена на два райони з різними умовами благоустрою, розрахунок витрат води для господарсько-питних потреб населення та поливу виконується окремо для кожного району.

Середньодобова витрата води для *і*-го району визначається за розрахунковою формулою:

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

де q_i – питоме господарсько-питне водоспоживання на одного мешканця, л/доб [24, табл. 1].

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

$$Q_{доб.максі} = K_{доб.максі.} \times Q_{добі}, \quad (2.3)$$

$$Q_{доб.мініі} = K_{доб.міні.} \times Q_{доб}, \quad (2.4)$$

де $K_{доб.максі.}$ $K_{доб.міні.}$ – відповідно максимальний і мінімальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання і-го району [24, п. 6.1.2].

Розрахунки по визначенню добових витрат води представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Добові витрати води на господарсько-питні потреби населення

Район	Кількість населення	Питоме водоспоживання, л/доб чол	$К_{доб.макс}$	$К_{доб.мін.}$	$Q_{доб\ макс.}$	$Q_{доб\ мін.}$	$Q_{доб\ сер.}$
1	27360	230	1,2	0,8	7551,36	5034,24	6292,8
2	123480	285	1,2	0,8	42230,16	28153,4	35191,8
Загалом	150840				49781,52	33187,7	41484,6

Відповідно до нормативних даних [24, дод. А] добова витрата води на полив вуличних територій і зелених насаджень визначається у перерахунку на одного мешканця. Згідно з класифікацією населених пунктів за чисельністю населення, місто відноситься **до** категорії середніх [24, п. 6.1.1].

З урахуванням кліматичних умов для розрахунків прийнято питому витрату води на полив у розмірі 65 л/добу на одного жителя для обох районів міста [24, табл. А.2].

Загальний обсяг води, що витрачається на полив, розподіляється між різними способами виконання цих робіт: приблизно 40 % використовується для ручного поливу, який здійснюють двірники**,** а 60 % – для механізованого поливу із застосуванням поливальних машин.

Результати розрахунку витрат води на полив вулиць та зелених насаджень наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – 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, 40%	Машинами, 60%
Перший район	27360	65	1778,4	711,36	1067,04
Другий район	123480	65	8026,2	3210,5	4815,72
Усього	150840		9804,6	3921,8	5882,76

На промислових підприємствах вода використовується для забезпечення господарсько-питних потреб працівників**,** приймання душу після завершення робочої зміни**,** а також для виробничих процесів, обсяги яких визначаються відповідно до технологічних особливостей виробництва.

Нормативне питоме водоспоживання залежить від умов праці у виробничих приміщеннях. Для цехів із значними тепловиділеннями понад 80 кДж (20 ккал) на 1 м³/год**,** які відносяться до так званих гарячих цехів**,** витрата води приймається 45 л на одного працівника за зміну. Для інших виробничих приміщень питоме водоспоживання становить 25 л на одного працівника за зміну**.**

Результати виконаних розрахунків витрат води для промислових підприємств наведено у таблиці 2.4**.**

Окремо визначається витрата води, необхідна для користування душовими установками на підприємстві:

$$Q = 0{,}5\sum N_i \,/\, n_i \qquad (2.5)$$

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.

Таблиця 2.4 – Розрахункові витрат на господарсько-питні потреби

Зміна	Кількість робітників	Гарячі цеха			Холодні цеха			Загальна витрата
		Кількість робітників, чол	Q, л/зм чол	Витрата води, м^3	Кількість робітників.чол	Q, л/зм чол	Q води, м^3	
Підприємство № 1								
1	900	450	45	20,25	450	25	11,25	31,50
2	600	300		13,5	300		7,5	21,00
3	400	200		9	200		5	14,00
Усього	1900	950		42,75	950		23,75	66,50
Підприємство № 2								
1	700	350	45	15,75	350	25	8,75	24,5
2	600	300		13,5	300		7,5	21
Усього	500	250		11,25	250		6,25	17,5
	1800	900			900			63

Фабрика витрачає приблизно 20 м³ води на виробництво 1 т продукції [25]. При добовому випуску 200 т продукції, це відповідає загальній витраті води близько 4000 м³ на добу**.** Завод безалкогольних напоїв споживає 15 м³ води на 1 т продукції, добова витрата води становить приблизно 3750 м³ [25]. Розрахунок витрат води на прийняття душу представлено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Витрати води на прийняття душу

Назва	Зміни			Група процесу	Кількість робітників	Кількість сіток			Витрата води, куб. м			
Кондитерська фабрика												
	1	2	3			1	2	3	1	2	3	Усього
Гар.цех	450	300	200		7	64	43	29	32	21,5	14,5	68
Хол. Цех	450	300	200	Іа	15	30	20	13	15	10	6,5	31,5
Загалом	900	600	400	IIа					47	31,5	21	99,5
Завод безалкогольних напоїв												
Гар.цех	350	300	250	Іа	7	50	43	36	25	21,5	18	64,5
Хол. Цех	350	300	250	IIа	15	23	20	17	11,5	10	8,5	30
Загалом	700	600	500						36,5	31,5	26,5	94,5

2.5 Особливості режиму водоспоживання міста

Максимальний коефіцієнт годинної нерівномірності для призначення режиму водоспоживання на господарсько-питні потреби і-го району визначається по формулі:

$$K_{год.макс.і}=\alpha_{макс.і}\ \beta_{макс.і,} \quad (2.6)$$

де α – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків,

$\alpha_{1макс.}=1,2$; $\alpha_{2макс.}=1,1$ [24, п. 6.1.2];

β – коефіцієнт, що враховує число мешканців у відповідному районі,

$\beta_{1макс}=1,19$; $\beta_{2макс.}=1,09$ [24 ,п. 6.1.2].

$K_{год.макс.1}=1,2\times1.19=1,43$,

$K_{год.макс.\ 2}=1,1\times1.09=1,2$.

Визначені коефіцієнти $K_{год}$ відрізняються від табличних коефіцієнтів [3, 5]. Розподіл водоспоживання за годинами доби приймаємо для першого району – за коефіцієнтом $K_{год}=1,4$; для другого – $K_{год}=1,2$.

При цьому значення витрати у відсотках від $Q_{доб}$ у годину максимального водоспоживання для першого району змінені на значення:

$$P_{ск} = K_i \times 4,17, \quad (2.7)$$

$P_{скII} = 1.43 \times 4.17 = 5,96$.

Витрата води на господарсько-питні потреби для кожної години доби визначена по формулі:

$$Q_i = P_i \times Q_{ідоб\ макс}/100, \quad (2.8)$$

де P_i – значення годинної витрати;

$Q_{i\ доб\ макс}$ – максимальна витрата для і-го району міста.

Режим витрати води на полив прийнято рівномірним протягом частини доби. При цьому полив силами двірників здійснюється по 4 години ранком і ввечері. Полив машинами передбачено безупинно протягом двох змін по 7 годин. Годинна витрата на полив визначається по формулі:

$$Q_{ч\ пол}=Q_{год\ пол}/T_{пол} \quad (2.9)$$

де $Q_{доб\ пол}$ – витрата на поливання, м^3/доб*;*

$T_{пол}$ – тривалість поливу, год.

Для господарсько-питного водопостачання на підприємстві прийнятий коефіцієнт годинної нерівномірності в гарячих цехах – 2,5, у холодних – 3.

Вода на прийняття душем витрачається по закінченню змін. Режим витрати води на виробничі потреби приймається рівномірним. Результати розподілу води по годинам доби представлено в таблиці 2.6, графік сумарного водоспоживання міста – на рис. 2.2.

Таблиця 2.6 - Сумарне водопостачання міста										
	Господарсько-побутове водоспоживання				Полив				Кондитерська фабрика	
	1 район		2 район		1 район		2 район		Гарячий цех	
Години	%	куб.м	%	куб.м	Двірники	Машини	Двірники	Машини	%	куб.м
0-1	2,5	188,78	3,5	1478,05					15,65	1,41
1-2	2,65	200,10	3,45	1456,935					12,05	1,09
2-3	2,2	166,12	3,45	1456,935					12,05	1,09
3-4	2,25	169,90	3,4	1435,82					12,05	1,09
4-5	3,2	241,63	3,4	1435,82	71,1		321		12,05	1,08
5-6	3,9	294,49	3,55	1499,165	71,1		321		12,05	1,08
6-7	4,5	339,795	4	1689,2	71,1	76,2	321	344	12,05	1,08
7-8	**5,1**	**385,10**	**4,4**	**1858,12**	**71,1**	**76,2**	**321**	**344**	**12,05**	**1,08**
8-9	5,24	403,98	5	2111,5		76,2		344	15,65	3,2
9-10	5,96	441,73	4,8	2027,04		76,2		344	12,05	2,4
10-11	5,35	403,98	4,7	1984,81		76,2		344	12,05	2,45
11-12	5,25	396,43	4,55	1921,465		76,2		344	12,05	2,44
12-13	4,6	347,35	4,55	1921,465		76,2		344	12,05	2,44
13-14	4,4	332,24	4,45	1879,235		76,2		344	12,05	2,44
14-15	4,6	347,35	4,6	1942,58		76,2		344	12,05	2,44
15-16	4,60	347,35	4,6	1942,58		76,2		344	12,05	2,44
16-17	4,9	370,00	4,6	1942,58		76,2		344	15,65	2,11
17-18	4,6	347,35	4,3	1815,89	71,1	76,2	321	344	12,05	1,63
18-19	4,7	354,90	4,35	1837,005	71,1	76,3	321	344	12,05	1,63
19-20	4,60	347,35	4,25	1794,775	71,1	76,3	321	344	12,05	1,63
20-21	4,4	332,24	4,25	1794,775	71,1		321		12,05	1,63
21-22	4,2	317,14	4,15	1752,545	71,1		321		12,05	1,63
22-23	3,7	279,39	3,9	1646,97	71,1		321		12,05	1,62
23-24	2,6	196,33	3,8	1604,74					12,05	1,62
Усього	100	*7551,00*	100	42230	711	1067	3210	4816	300	42,75

продовження табл. 2.6

Завод безалкогольних напоїв										Усього	
Холодний цех		Душ, куб.м	Виробництво	Гарячий цех		Холодний цех		Душ, куб.м	Виробництво	куб.м	%
%	куб.м			%	куб.м	%	куб.м				
18,75	0,93	31,5	166,7	15,65	1,75	18,75	1,17	31,5	156,25	2058,04	3,04
6,25	0,31		166,7	12,05	1,35	6,25	0,39		156,25	1983,13	2,93
12,5	0,63		166,7	12,05	1,35	12,5	0,78		156,25	1949,86	2,88
12,5	0,63		166,7	12,05	1,36	12,5	0,78		156,25	1932,53	2,86
18,75	0,93		166,7	12,05	1,36	18,75	1,17		156,25	2397,04	3,54
6,25	0,31		166,7	12,05	1,36	6,25	0,39		156,25	2511,84	3,7
12,5	0,63		166,7	12,05	1,36	12,5	0,78		156,25	3168,10	4,68
12,5	**0,63**		**166,7**	**12,05**	**1,36**	**12,5**	**0,79**		**156,25**	**3382,33**	**5**
18,75	2,11	21	166,7	15,65	2,45	18,75	1,64	26,5	156,25	3315,53	4,9
6,25	0,7		166,7	12,05	1,9	6,25	0,55		156,25	3217,47	4,76
12,5	1,4		166,7	12,05	1,9	12,5	1,09		156,25	3138,78	4,64
12,5	1,4		166,7	12,05	1,9	12,5	1,09		156,25	3067,87	4,53
18,75	2,14		166,7	12,05	1,9	18,75	1,64		156,25	3020,08	4,46
6,25	0,7		166,7	12,05	1,9	6,25	0,56		156,25	2960,23	4,3
12,5	1,4		166,7	12,05	1,9	12,5	1,09		156,25	3039,91	4,4
12,5	1,4		166,7	12,05	1,9	12,5	1,09		156,25	3039,91	4,9
18,75	1,4	47	166,7	15,65	2,11	18,75	1,4	36,5	156,25	3146,25	4,6
6,25	0,47		166,7	12,05	1,63	6,25	0,47		156,25	3302,69	4,8
12,5	0,94		166,7	12,05	1,63	12,5	0,94		156,25	3332,39	4,9
12,5	0,94		166,7	12,05	1,63	12,5	0,94		156,25	3282,61	4,8
18,75	1,4		166,5	12,05	1,63	18,75	1,4		156,25	2847,93	4,21
6,25	0,47		166,5	12,05	1,63	6,25	0,47		156,25	2788,74	4,12
12,5	0,94		166,5	12,05	1,62	12,5	0,94		156,25	2646,33	3,91
12,5	0,94		166,5	12,05	1,62	12,5	0,94		156,25	2128,94	3,14
300	23,75	99,5	4000	200	40,5	200	22,5	94,5	3750	67658,50	100,00

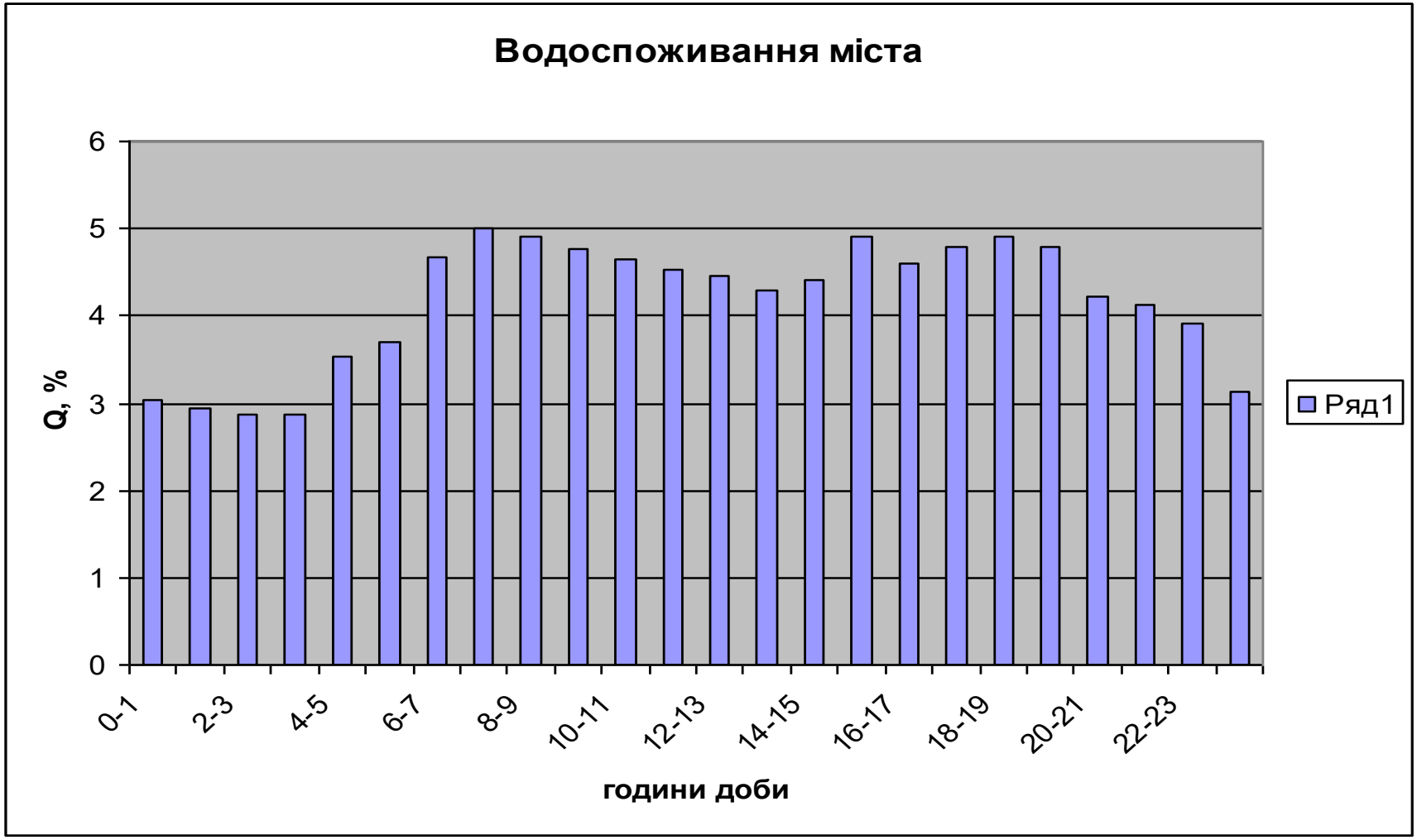


Рисунок 2.2 – Графік сумарного водоспоживання

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ МІСТА

3.1 Розробка схеми трасування мережі

Схему трасування водопровідної мережі наведено на рисунку 3.1. Мережа має кільцеву структуру та включає 12 кілець, 24 вузли і 35 розрахункових ділянок.

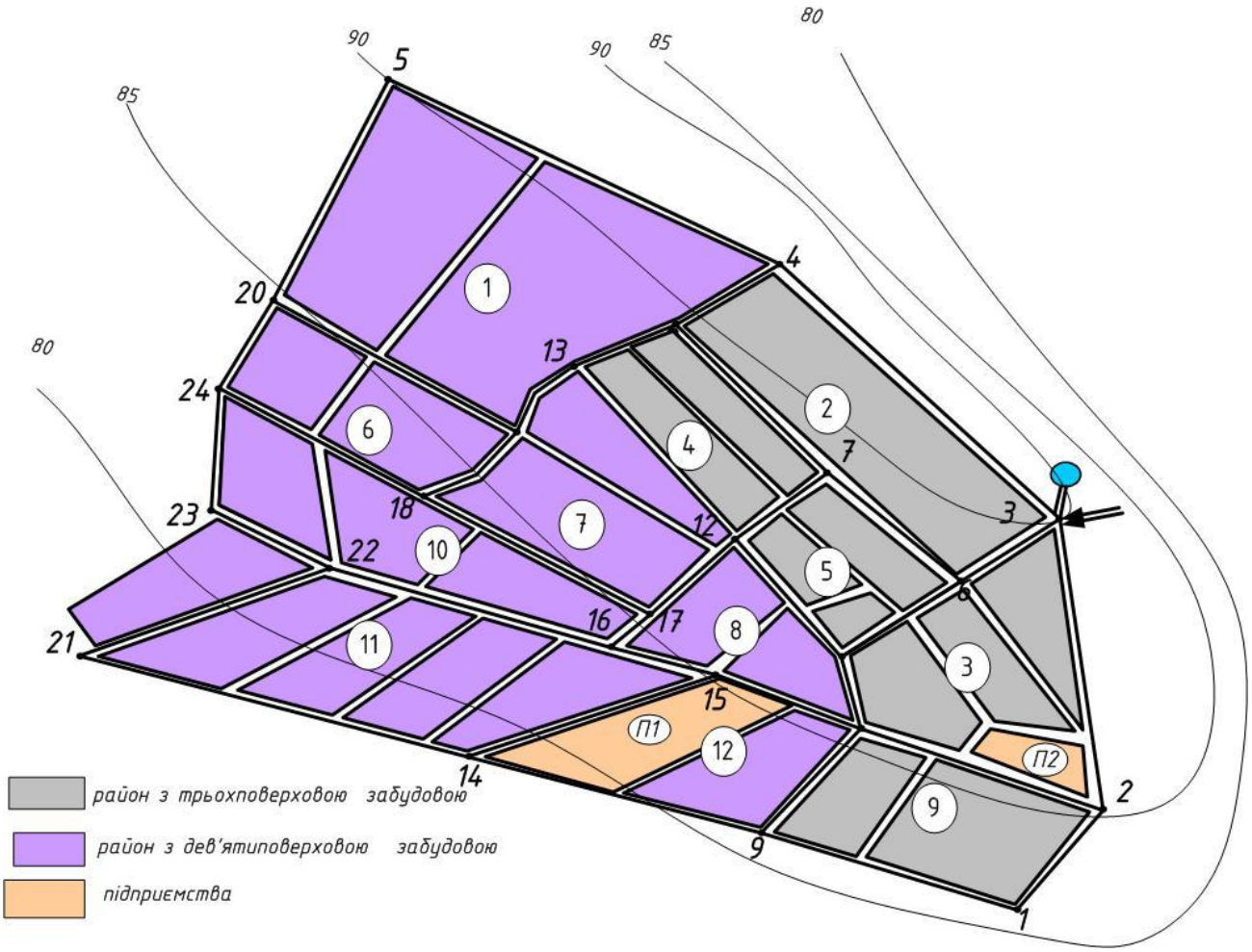


Рисунок 3.1 – Схема трасування водопровідної мережі

Водонапірна башта приєднана до водопровідної мережі у найбільш підвищеній точці системи – у вузлі № 3, який має відмітку поверхні 100 м. Цей вузол одночасно є точкою підключення водоводів до розподільчої мережі міста.

Для подальших гідравлічних розрахунків прийнято розрахункову схему, у якій водонапірна башта розташована на початку мережі. Розрахунок водопровідної системи виконується для двох характерних режимів її роботи: режиму максимального водоспоживання та режиму пожежогасіння, що розглядається у період найбільшого водорозбору.

3.2 Визначення шляхових та вузлових витрат

Питома витрата для і-го району при максимальному водоспоживанні визначається за формулою:

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

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

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

Σl_i – загальна розрахункова довжина магістральної лінії і-го району, м.

Для 1-го району

$$q_{пит.1} = \frac{(385.1 + 71.1 + 76.2)/3{,}6}{600/2 + 300/2 + 500/2 + 500 + 420 + 420/2 + 360/2 + 400} \times$$

$$\times \frac{1}{500/2 + 1200/2 + 1400/2 + 920/2 + 900 + 640 + 800 + 900/2} = 0{,}0205 л/с \cdot м$$

для 2-го району

$$q_{пит2} = \frac{(1858+321+344)/3.6}{1500/2+420/2+360/2+900/2+600/2+300/2+500/2} \times$$

$$\times \frac{1}{1000/2+1000+380+420+800+400/2+460+500/2+900+420+200+540+380} \times$$

$$\times \frac{1}{1000+900+1300/2+900+1000/2} = 0.0552 л/с \cdot м$$

Шляхові витрати ділянок визначені за формулою:

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

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

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

Таблиця 3.1 – Шляхові витрати для режиму максимального водоспоживання

№	Нумер ділянки	Питома витрата, $q_{пит.і}$,л/с*м	Розрахункова довжина, м	Шляхова витрата, $Q_{шл}$,л/с
1	2	3	4	5
1	1-2	0,0205	250	5,125
2	2-3	0,0205	600	12,3
3	3-4	0,0205	700	14,35
4	4-5	0,0552	750	41,4
5	2-10	0,0205	900	18,45
6	10-15	0,0552	540	29,81
7	15-16	0,0552	380	21
8	16-22	0,0552	1000	55,2
9	22-23	0,0552	460	25,39
10	1-9	0,0205	460	9,43
11	9-14	0,0552	500	27,6
12	14-21	0,0552	650	35,88
13	6-7	0,0205	640	13,12
14	7-8	0,0205	800	16,4
15	11-12	0,0379	600	22,74
16	12-13	0,0379	900	34,11

17	17-18	0,0552	900	49,68
18	19-20	0,0552	1000	55,2
19	18-24	0,0552	800	44,16
20	3-6	0,0205	420	8,61
21	6-11	0,0205	500	10,25
22	11-10	0,0379	300	11,37
23	10-9	0,0379	500	18,95
24	7-12	0,0205	400	8,2
25	12-17	0,0552	420	23,18
26	17-16	0,0552	200	11,04
27	15-14	0,0552	900	49,68
28	4-8	0,0379	420	15,92
29	8-13	0,0386	360	13,91
30	13-19	0,0552	380	21
31	18-19	0,0552	420	23,18
32	22-21	0,0552	900	49,68
33	5-20	0,0552	500	27,6
34	20-24	0,0552	200	11,04
35	24-23	0,0552	250	13,8
Разом		19910		848,76

Сумарні шляхові витрати для режиму максимального водорозбору по двох районах становлять:

$$\sum Q_{шл} = 848{,}76 \text{ л/с/}$$

Розрахунок вузлових витрат для режиму максимального водоспоживання представлено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Вузлові витрати для режиму максимального водоспоживання

№ вузла	Ділянки, що примикають до вузла	$(\Sigma Q_{шл})_{вузл}$,	$Q_{вузл\ j} = 0{,}5\ (\Sigma Q_{шл})_{вузл}$ (л/с)
1	2	3	4
1	1-9	9.43	7,28
	1-2	5.125	
2	1-2	5,125	17,94
	2-3	12,3	
	2-10	18,45	
3	3-4	14,35	17,63
	3-2	12,3	

	3-6	8,61	
4	4-5	41,4	35,84
	4-3	14,35	
	4-8	15,92	
5	5-20	27,6	34,5
	5-4	41,4	
6	6-3	8,61	16,0
	6-11	10,25	
	6-7	13,12	
7	7-8	16,4	18,86
	7-6	13,12	
	7-12	8,2	
8	8-4	15,92	23,12
	8-13	13,91	
	8-7	16,4	
9	9-10	18,95	27,99
	9-1	9,43	
	9-14	27,6	
10	10-11	11,37	39,29
	10-15	29,81	
	10-2	18,45	
	10-9	18,95	
11	11-6	10,25	22,18
	11-10	11,37	
	11-12	22,74	
12	12-7	8,2	44,12
	12-11	22,74	
	12-13	34,11	
	12-17	23,18	
13	13-8	13,91	34,51
	13-19	21,0	
	13-12	34,11	
14	14-15	49,68	56,58
	14-9	27,6	
	14-21	35,88	
15	15-16	21,0	50,25
	15-10	29,81	
	15-14	49,68	
16	16-17	11,04	43,62
	16-15	21,0	
	16-22	55,2	
17	17-12	23,18	41,95
	17-18	49,68	
	17-16	11,04	
18	18-19	23,18	58,51

	18-17	49,68	
	18-24	44,16	
19	19-13	21,0	49,69
	19-20	55,2	
	19-18	23,18	
20	20-25	27,6	46,92
	20-19	55,2	
	20-24	11,04	
21	21-22	49,68	42,78
	21-14	35,88	
22	22-23	25,39	65,14
	22-16	55,2	
	22-21	49,68	
23	23-24	13,8	19,6
	23-22	25,39	
24	24-20	11,04	34,5
	24-18	44,16	
	24-23	13,8	
			848,76

3.3 Визначення діаметрів ділянок мережі

Для прийнятих розрахункових режимів роботи мережі виконано початковий розподіл потоків води. Результати розрахунків для режиму максимального водоспоживання наведено на рисунку 3.2, а для режиму пожежогасіння в період максимального водорозбору – на рисунку 3.3. Результати визначення діаметрів діляндк мережі представлені у вигляді таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Діаметри ділянок мережі транспортування води

№ ділянки	Ділянка	Витрата в годину максимального водоспоживання, л/с	Витрата при пожежогасінні, л/с	Діаметр, мм
1	2	3	4	5
1	1-2	4,28	4,28	300
2	2-3	39	49	250
3	3-4	124,38	204,38	450

4	4-5	65,42	105,42	350
5	2-10	30	30	150
6	10-15	88,16	113,33	350
7	15-16	100,45	100	200
8	16-22	94,74	117,52	300
9	22-23	9,6	9,6	150
10	1-9	3,0	3,0	150
11	9-14	15	15	150
12	14-21	22,78	40	250
13	6-7	318,86	318,86	500
14	7-8	100	100	350
15	11-12	228,05	250,38	450
16	12-13	62,2	62,2	150
17	17-18	40,97	40,97	300
18	19-20	38	38	150
19	18-24	22,46	22,46	150
20	3-6	758,53	806,03	800
21	6-11	423,67	471,17	600
22	11-10	173,44	198,61	500
23	10-9	15,99	15,99	200
24	7-12	200	200	400
25	12-17	321,73	344,06	500
26	17-16	238,81	261,14	400
27	15-14	138,36	163,08	350
28	4-8	23,12	23,12	150
29	8-13	100	100	350
30	13-19	127,69	127,69	350
31	18-19	40	40	150
32	22-21	20	42,78	200
33	5-20	30,92	30,92	200
34	20-24	22	22	150
35	24-23	10	10	150

В годину максимального водорозбору (7-8) з бака витрачається 0,25 % $Q_{доб}$ або 47 л/с, швидкість руху води при Д=150 мм становить 1.2 м/с, 1000i=17, втрати напору у водоводах від башти до мережі 1,15×100×0,017=1,96 м.

3.4 Гідравлічний розрахунок мережі

З урахуванням отриманого попереднього потокорозподілу виконано гідравлічний розрахунок водопровідної мережі. Розрахунок проводився на основі вихідних параметрів системи, до яких належать коди розрахункових ділянок трубопроводів, кількість вузлів і контурів мережі, довжини та діаметри труб, а також витрати води, визначені на етапі початкового розподілу потоків. Крім того, у розрахунках було задано допустиме значення неузгідненості, яке використовується для перевірки збіжності та точності отриманих результатів.
У процесі гідравлічного розрахунку визначено втрати напору на окремих ділянках мережі, уточнено величини витрат води в трубопроводах та перевірено дотримання умов гідравлічної рівноваги в системі. Отримані результати розрахунків наведені в таблицях А.1–А.2 додатка А.

Аналіз результатів показує, що баланс витрат води у вузлах мережі забезпечується відповідно до першого закону Кірхгофа, згідно з яким сума витрат, що надходять у вузол, дорівнює сумі витрат, які з нього відводяться. Водночас втрати напору на замкнених контурах мережі відповідають вимогам другого закону Кірхгофа, що підтверджує коректність виконаного гідравлічного розрахунку та узгодженість отриманих значень потокорозподілу.

Таким чином, результати розрахунків свідчать про гідравлічну збалансованість водопровідної мережі та можливість її подальшого аналізу для різних режимів роботи системи водопостачання.

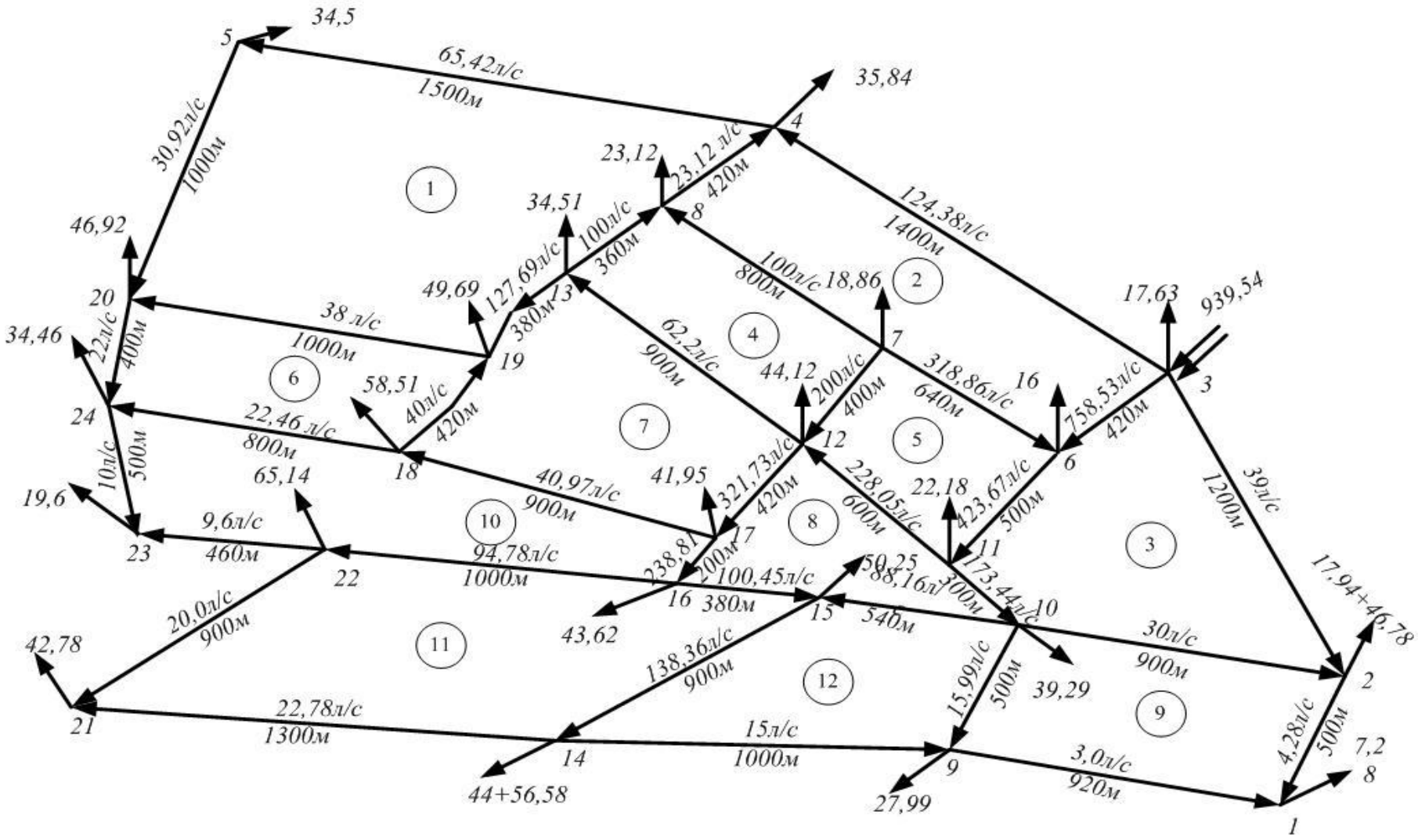


Рисунок 3.2 – Схема початкового потокорозподілу для години максимального водоспоживання

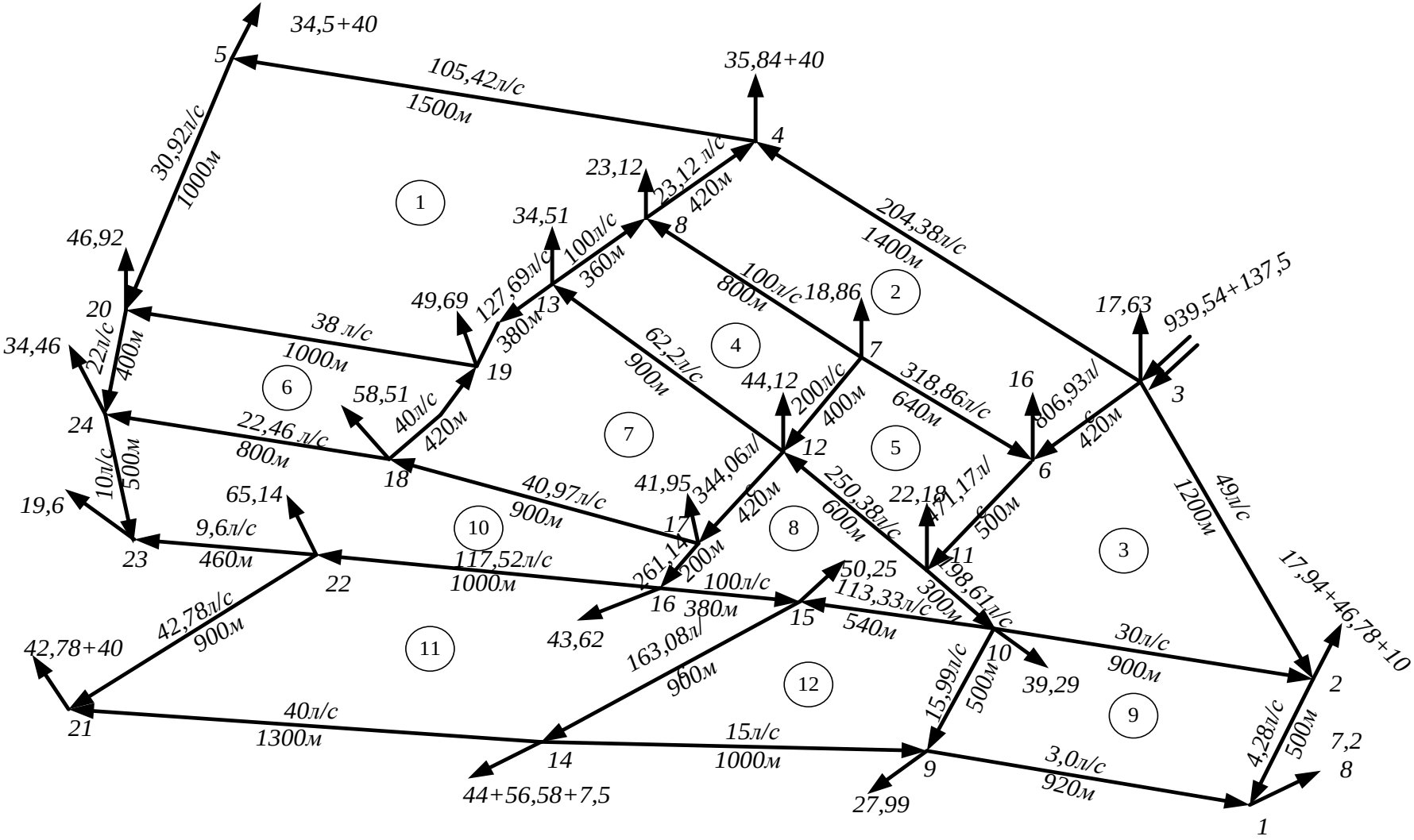


Рисунок 3.3 – Схема початкового потокорозподілу при пожежогасінні

3.5 Побудова п’єзометричних карт мережі

Розрахункові п’єзометричні позначки водопровідної мережі визначалися після встановлення невигідної точки – вузла мережі, для якого за результатами гідравлічного розрахунку спостерігається найбільше значення необхідної п’єзометричної позначки відносно точки підключення магістральних водоводів. Визначення такого вузла є перевіркою надійності функціонування системи водопостачання, оскільки саме в ньому виникають найбільш несприятливі умови забезпечення нормативних тисків.

За результатами виконаних розрахунків встановлено, що в режимі максимального господарсько-питного водоспоживання невигідною точкою є вузол № 23, тоді як для режиму пожежогасіння – вузол № 21. Для зазначених вузлів здійснювалася перевірка забезпечення мінімально допустимих значень вільного тиску відповідно до вимог чинних нормативних документів [24, п. 6.3.1].

Визначення п’єзометричних позначок та фактичних вільних тисків у вузлах мережі виконувалося з урахуванням втрат напору на всіх розрахункових ділянках трубопроводів, визначених у результаті гідравлічного розрахунку кільцевої водопровідної мережі. Проведений розрахунок забезпечує баланс витрат і напорів у вузлах системи та дозволяє визначити фактичні гідравлічні умови роботи мережі при різних експлуатаційних режимах.

Отримані значення фактичних вільних напорів у вузлах мережі повинні задовольняти умові:

$$H_{віл.і} \geq H_{віл.потр.і} \tag{3.3}$$

де $H_{віл.потр.і}$ – необхідний вільний тиск в $і$-му вузлі мережі, м.

Необхідний вільний тиск визначається залежно від поверховості забудови за виразом:

$$H_{віл.\ потр.і}=6+4n, \qquad (3.4)$$

де n – кількість поверхів будівель у розрахунковому районі.

Відповідно до прийнятих характеристик забудови значення необхідного вільного тиску становлять: для житлових кварталів першого району – $H_{віл.потр.і}$=18 м; для житлових кварталів другого району – $H_{віл.потр.і}$=42 м. При пжежі необхідний вільний напір у невигідній точці мережі приймається рівним 10 м, що забезпечує нормативні умови подачі води для зовнішнього пожежогасіння. П’єзометричні позначки та значення вільних напорів у вузлах мережі для всіх розглянутих режимів роботи наведені на п’єзометричних картах (листи № 2, 3 графічної частини кваліфікаційної роботи), за цими результатами побудовано п’єзометричні лінії, які відображають просторовий розподіл тисків у мережі.

РОЗДІЛ 4. СПОРУДИ НА МЕРЕЖІ

4.1 Розрахунок водонапірної башти

Режим функціонування насосної станції другого підйому визначено з урахуванням добового графіка водоспоживання населеного пункту, особливостей роботи станції та з максимально можливим наближенням до характеру споживання води населенням (рис. 2.2). Передбачено двоступеневий режим експлуатації насосної станції другого підйому. Перший ступінь роботи прийнято в період з 22:00 до 6:00, протягом якого насосне обладнання подає 3,0 % від добової витрати води QдобQ_{доб}Qдоб. Другий ступінь реалізується у часовому інтервалі з 7:00 до 21:00, при цьому подача насосів становить 4,75 % від QдобQ_{доб}Qдоб. Узагальнені результати виконаних розрахунків наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок регулювальної місткості баку

Години доби	Водоспоживання міста,%	Подача насосів,%	Витрата з баку,%	Подача в бак,%	Залишок,%
1	2	3	4	5	6
0-1	3,04	3,00	0,04		-0,04
1-2	2,93	3,00		0,07	0,03
2-3	2,88	3,00		0,12	0,15
3-4	2,86	3,00		0,14	0,29
4-5	3,54	3,00	0,54		-0,25
5-6	3,7	3,00	0,70		-0,95
6-7	4,68	4,75		0,07	-0,88
7-8	**5**	**4,75**	**0,25**		**-1,13**
8-9	4,9	4,75	0,15		-1,28
9-10	4,76	4,75	0,01		-1,29
10-11	4,64	4,75		0,11	-1,18
11-12	4,53	4,75		0,22	-0,96
12-13	4,46	4,75		0,29	-0,67
13-14	4,3	4,75		0,45	-0,22
14-15	4,4	4,75		0,35	0,13
15-16	4,9	4,75	0,15		-0,02
16-17	4,6	4,75		0,15	0,13

					продовження таблиці 4.1
1	2	3	4	5	6
17-18	4,8	4,75	0,05		0,08
18-19	4,9	4,75	0,15		-0,07
19-20	4,8	4,75	0,05		-0,12
20-21	4,21	4,75		0,54	0,42
1	2	3	4	5	6
21-22	4,12	4,75		0,63	1,05
22-23	3,91	3,00	0,91		0,14
23-24	3,14	3,00	0,14		0
Всього	100	100	3,14	3,14	

Повна місткість водонапірного баку:

$$W_{б} = W_{рег} + W_{н.з.}, \quad (4.1)$$

де $W_{рег}$ – регулювальний об'єм водонапірного баку, м^3 (табл.2.6);

$W_{рег} = |-1.29| + |1.05| = 2.34\%$;

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

$$W_{н.з..} = 0{,}6 \left(q_{н} + q_{вн'}\right), \quad (4.2)$$

де $q_{н}$,$q_{вн.}$ – відповідно витрата води на зовнішнє та внутрішнє пожежегасіння в місті, табл. 5 [24, п.6.2.2, п. 6.2.3].

$$W_{н.з.} = 0{,}6 \times (40+5) = 27 \text{ м}^3$$

$$W_{рег} = W \times Q_{заг} / 100,$$

$$W_{рег} = 3{,}01 \times 68964/100 = 2076 \text{ м}^3$$

$$W_{á} = 2076 + 27 = 2103 \text{ м}^3$$

Діаметр баку водонапірної башти:

$$D_{б} = \sqrt[3]{W_{б} / 0{,}55} \quad (4.3)$$

$$D_{á} = \sqrt[3]{2103 / 0{,}55} = 16.1 м$$

Висота шару води в баці:

$$H_{б} = 4W_{б} / (\pi D_{б}^2) \quad (4.4)$$

$$H_{б} = 4 \times 2103 / (3{,}14 \times 16.1^2) = 10.3 м$$

З урахуванням необхідного будівельного запасу загальна висота баку приймається 11 м.

4.2 Розрахунок резервуарів чистої води

Повний об'єм резервуарів чистої води визначеноя за формулою:

$$W_{РЧВ} = W_{рег} + W_{ш.ф.} + W_{п}, \quad (4.5)$$

де $W_{рег}$ – регулюючий обєм РЧВ, $м^3$;

$W_{ш.ф.}$ – об єм води, необхідний для промивки швидких фільтрів, $м^3$;

$W_{п}$ – об'єм недоторканого пожежного запасу, $м^3$.

Регулювальнийй об'єм резервуарів чистої води розраховується за формою таблиці 4.2.

Регулювальнийй об'єм резервуарів чистої води становить

$W_{рег}$ = /-2,33/+7,00=9,33%, тобто 6313 $м^3$,

$Q_п$ =3(40+5)+0,5×(20+15)=152,5 л/с.

Таблиця 4.2 – Визначення регулюювального об'єму резервуарів

Години доби	Відбір насосами,%	Надходження з очисних споруд,%	Надходження в РЧВ, %	Відбір з РЧВ,%	Залишок у РЧВ,%
1	2	3	4	5	6
0-1		3,00	1,16		1,16
1-2	4,17	3,00	1,17		2,34
2-3	4,16	3,00	1,16		3,5
3-4	4,17	3,00	1,17		4,67
4-5	4,16	3,00	1,16		5,83
5-6	4,17	3,00	1,17		7
6-7	4,16	4,75		0,59	6,41
7-8	4,17	4,75		0,58	5,83
1	2	3	4	5	6
8-9	4,16	4,75		0,59	5,24
9-10	4,17	4,75		0,58	4,66
10-11	4,16	4,75		0,59	4,07
11-12	4,17	4,75		0,58	3,49
12-13	4,16	4,75		0,59	2,9
13-14	4,17	4,75		0,58	2,32
14-15	4,16	4,75		0,59	1,73
15-16	4,17	4,75		0,58	1,15
16-17	4,17	4,75		0,58	0,57
17-18	4,17	4,75		0,58	-0,01
18-19	4,17	4,75		0,58	-0,59
19-20	4,17	4,75		0,58	-1,17
20-21	4,17	4,75		0,58	-1,75
21-22	4,17	4,75		0,58	-2,33
22-23	4,17	3,00	1,17		1,17
23-24	4,17	3,00	1,17		0
	100	100	9,33	9,33	

Об'єм недоторканого пожежного запасу:

$$W_n = t \cdot Q_{пож} + \sum Q_{макс} - Q_1 , \qquad (4.6)$$

де $Q_{пож}$ – повна пожежна витрата, $м^3$:

$$Q_{пож} = \frac{3600 \times \mathrm{m} \times q_{пож}}{1000} , \qquad (4.7)$$

де m – число одночасних пожеж, m=3;

$Q_{пож}$=40л/с – розрахункова витрата на зовнішнє пожежегасіння;

t – тривалість пожежегасіння, 3 год.

$$Q_{пож}=\frac{3600\times 3\times 40}{1000}=432м^3$$

$\sum Q_{макс}$ – сумарна витрата води за три суміжних години максимального водоспоживання, $м^3$;

$\sum Q_{макс}$ =3168,10+3382,33+3315,53=9866 м^3;

Q_1 – витрата води, визначається за формулою:

$$Q_1 = 4.17\times Q \times t, \quad (4.8)$$

$$Q_1 = 4.17\times 67658.5\times 3/100 = 8464м^3$$

Об'єм води, необхідний для 2 промивок швидкого фільтру:

$$W = 2\times q_{пр}\times t_{пр}\times 60 \quad (4.9)$$

$$W_{ш.ф.} = 2\times 0,56\times 6\times 60 = 403.2м^3$$

Тоді

$$W_n = 3\times 432+9866-8464=2698 \ м^3$$

$$W_{РЧВ} = 6313+ 403.2 + 2698 = 9414м^3$$

Передбачено встановлення трьох резервуарів чистої води об'ємом по 3138 м³ кожний. Геометричні розміри одного резервуара становлять 30 × 30 м при загальній висоті 2,8 м, з яких розрахункова висота водяного шару дорівнює 2,68м.

4.3 Насосна станція 2 підйому

4.3.1 Визначення розрахункової подачі насосної станції

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

$$Q_{i\ н.ст}=Q_{доб}\times P_i/100, \quad (4.10)$$

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

Для першого ступеня:

$$Q_1=67659\times3,0/100=2029\ м^3/год=564\ л/с;$$

для другого ступеня:

$$Q_2=67659\times4,75/100=3214\ м^3/год=893\ л/с$$

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

Для цього випадку подача одного насосу приймається визначається за формулою:

$$Q_н=(0,55\text{-}0,6)\times Q_1, \quad (4.11)$$

Qн=0,55×2029=1116 $м^3/год$=310 л/с.

4.3.2 Визначення діаметрів всмоктувальних і напірних водоводів

Згідно із рекомендаціями [24, п.11.4] кількість всмоктувальних ліній на водопровідних насосних станціях I і II категорії надійності незалежно від

кількості груп насосів, включаючи пожежні, повинна бути не менше двох. При вимиканні однієї лінії залишок розраховується на пропуск розрахункової витрати для насосних станції I і II категорії надійності.

Всмоктувальні лінії виконуються із сталевих труб.

Розрахункова витрат кожного із всмоктувальних водоводів визначається за формулою:

$$Q_{вс.в}=Q_{макс.\ н.\ ст.}/(n_{вс}-1), \quad (4.12)$$

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

$n_{вс}$ – кількість всмоктувальних водоводів

$$Q_{вс.в}=893\ /(2-1)=893\ л/с$$

Приймаються водоводи діаметром Д=1000 мм, v=1,17 м/с, 1000i=1,47, що відповідає вимогам [24].

Число напірних водоводів приймається рівним 2 [24, п.7.6]. Розрахункова витрата води по кожному із водоводів:

$$Q_{н.в}=Q_{макс.\ н.\ ст.}/n_{н}, \quad (4.13)$$

де $n_н$ – кількість напірних водоводів.

$$Q_{н.в}=928,4\ /2=464,2\ л/с$$

Приймаються сталеві напірні водоводи діаметром Дн=600 мм, v=1,13 м/с, 1000i=1,38, що відповідає вимогам [24].

4.3.3 Визначення розрахункового напору насосів

Для попереднього розрахунку необхідний напір насосів визначається за формулою:

$$H = H_{ст} + h_{в.в} + h_{н.с.} + h_{вдм} + h_{н.в.} + h_{м}, \quad (4.14)$$

де $H_{ст}$ – статичний напір, м;

$h_{н.с.-}$ сумарні втрати напору у всмоктувальних і напірних комунікаціях насосної станції, $h_к$ –2,0 м;

$h_{в.в}$ – втрати напору у всмоктувальних водоводах для найбільшої кількості води, яку перекачує насосна станція, м;

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

$h_{н.в.}$ –втрати напору у напірних водоводах для найбільшої кількості води, яку перекачує насосна станція, м;

$h_м$ – втрати напору у мережі при подачі максимальної витрати, м.

Статичний тиск:

$$H_{ст} = Z_2 - Z_1, \quad (4.15)$$

де Z_2 – абсолютна максимальна позначка підйому води, Z_2=146,4м;

Z_1 – абсолютна мінімальна позначка в РЧВ для випадку пожежегасіння, Z_1=80,0 м.

$$H_{ст} = 146.4 - 80.0 = 66.4 м$$

Втрати напору у всмоктувальних водоводах при максимальному водоспоживанні розраховані по формулі

$$h_{в.в} = 1,1 \times i \times l, \quad (4.16)$$

де *i*- питомі втрати напору;

l- довжина водоводу.

$h_{в.в}$=1,1×0,00138×55=0,1 м;

Втрати напору у напірних водоводах при максимальному водоспоживанні:

$h_{н.в}$ =1,1×0,00452×2500=12,4 м;

$$H = 66.4 + 0.1 + 2.0 + 1.5 + 0.1 + 12.4 = 82.5 \text{ м.}$$

На першому ступені $h'_{н.в}$ =1,1×0,00185×2500=5,1 м; $H_1 \approx 75$м.

4.3.4 Розрахунок режиму роботи насосної станції при пожежогасінні

Розрахункова подача насосної станції при пожежі становить:

$$Q'_{н.ст} = Q_{н.ст.} + Q_п, \quad (4.17)$$

де $Q_{н.ст.}$ – розрахункова подача насосної станції з урахуванням зниження споживання при пожежі, $Q_{н.ст.}$ =924,54 л/с;

$Q_п$ – розрахункова витрата на пожежегасіння, = 152,5 л/с, при пожежогасінні : $Q_{н.ст.}$ =1077.04 л/с.

Напір насосів при пожежогасінні:

$$H_п = Z_{н.т.} + H_в + h_{в.п} + h_{м.п.} - Z_р, \quad (4.18)$$

де $Z_{н.т.}$ – абсолютна позначка невігідної точки при пожежі, $Z_{н.т}$=81,0 м;

$H_в$ – вільний напір в невигідній точці при пожежі, $H_{св}$=10 м;

$h_{в.п.}$ – втрати напору у водоводах при пожежі,

$$h_{в.п} = 1{,}1 \times 0{,}00659 \times 2500 = 18{,}1 \text{ м};$$

$h_{м.п}$ – втрати напору в мережі від невигідної точки до точки підключення водоводів до мережі, $h_{м.п}$=31 м;

Zp – абсолютна позначка дна резервуару, Zp=79,0 м.

$$H_{п} = 79 + 10 + 18{,}1 + 31{,}00 - 79{,}00 = 59{,}1 \text{ м}$$

Враховуючи, що розрахунковий напір при максимальному водоспоживанні перевищує напір при пожежегасінні, тобото $H \geq Hп$, це означає, що режим роботи насосної станції у випадку пожежі може бути забезпечений насосами, підібраними для випадку максимального водоспоживання за рахунок зниження їх напору.

4.3.5 Підбір насосів та електродвигунів до них

Подача першого (Q_1=564 л/с) та другого ступеня (Q_2 =893 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 3 робочих та два резервних насоси марки Д 1600-90, робочі характеристики насосів показані на рис. 4.1.

Необхідна для приводу насосу потужність визначається за формулою:

$$p_{н} = \kappa \times \rho \times q \times Q_{м} \times H_{м} / 1000 \times \eta_{Н} \times \eta_{п}, \qquad (4.19)$$

де κ – коефіцієнт запасу, рівний 1.1;

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

$Q_м$ – подача насосу:

$$Q_м = \kappa_м Q_Н, \tag{4.20}$$

$Q_м = \kappa_м Q_Н = 1{,}18 \times 0{,}44 = 0{,}52 \ м^3/с$;

$H_м$ – напір насосу, що відповідає $Q_м$,, $H_м$=77м;

$\eta_Н$ – ККД насосу, що відповідає Q , $\eta_Н$ =0,85;

$\eta_п$ – ККД передачі, $\eta_п$ =1;

Потужність, що необхідна для приводу насосу, визначена за формулою (4.19)

$$p_н = 1{,}1 \times 1000 \times 9{,}8 \times 0{,}52 \times 77 / 1000 \times 0{,}85 \times 1 \approx 500 кВт.$$

Приймається електродвигун потужністю N-500 кВт.

4.3.6 Визначення позначок вісі насосів і долу насосної станції

Враховуючи глибокий рівень підземних вод, корпус насосів насосної станції другого підйому розташовується під заливом відносно рівня пожежного запасу води у резервуарі.

Позначка верха насосу:

$$Zв.н = Zпож. - 0{,}5, \tag{4.21}$$

де Zпож – позначка пожежного рівню у РЧВ, м, Zпож=80,0 м;

$$Zв.н = 80{,}0 - 0{,}5 = 79{,}5 \ м.$$

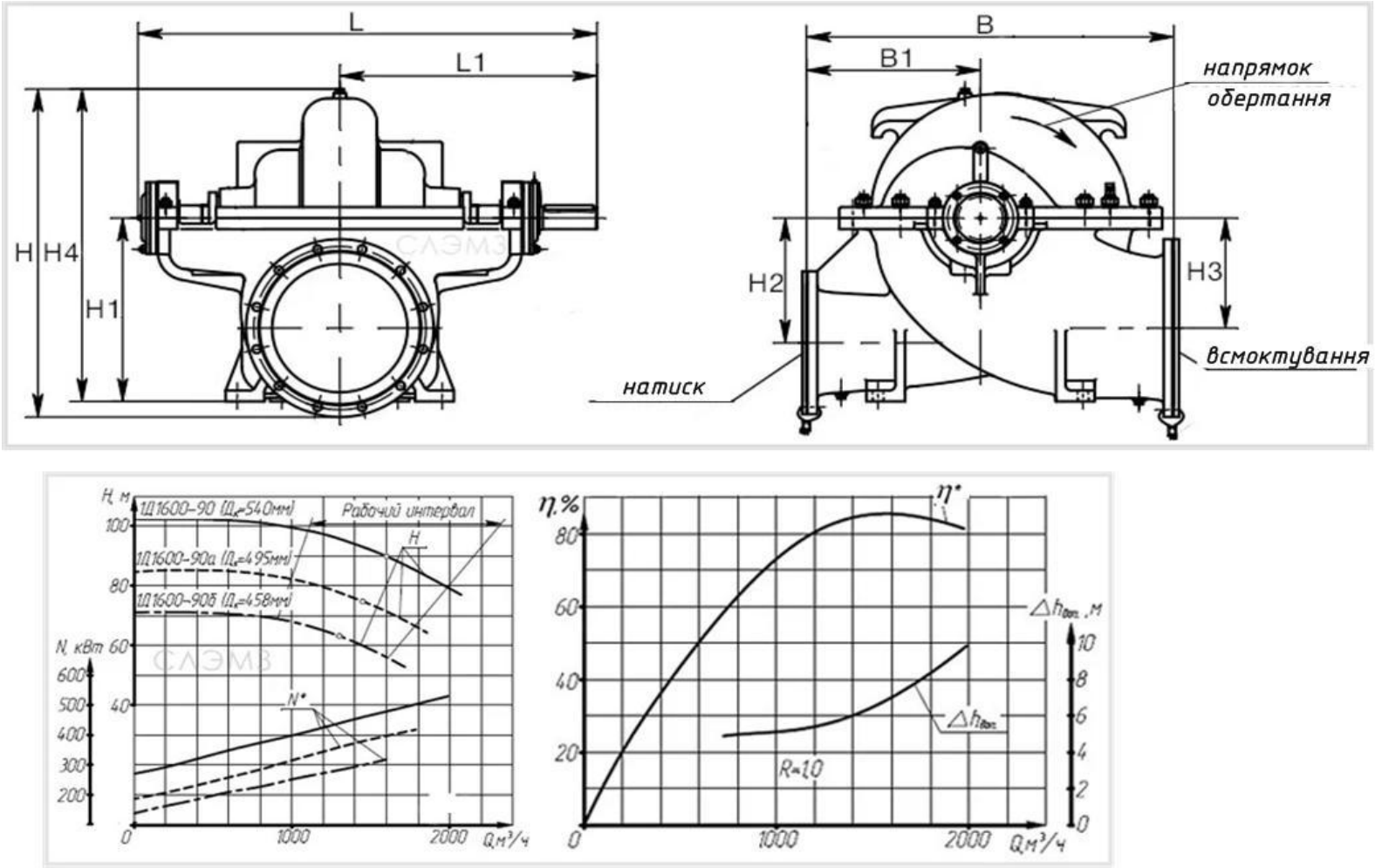


Рисунок 4.1 – Насос Д1600-90 [26]

Позначка вісі насосу:

$$Zвс=Zв.н.-A \quad (4.22)$$

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

$$Zвс=79,5-0,5=79,0\ м$$

Позначка верха фундаменту:

$$Zф= Zвс-Ал, \quad (4.23)$$

де $Ал$ – висота насосу від вісі до лап, м

$$Zф=79,0-0,7=78,3\ м$$

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

$$Zп=78,3-0,5=77,8м$$

Мінімальне заглиблення насосної станції повинно складати:

$$h=81,5-77,8=3,2\ м$$

Zзаглиблення насосної станції приймається 3,2 м.

4.3.7 Визначення висоти машинного залу та підбір вантажопідйомного обладнання

В насосній станції мінімальна висота машинного залу визначається з урахуванням встановленого та монтуємого обладнання за формулою:

$$H=h_1+h_2+h_3+h_4+h_5+0,5, \quad (4.24)$$

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 =2,54 м;

h_5 – максимальна висота встановленого обладнання, h_5 =2,41 м.

$$H=0,38+0,755+1+2,54+2,41+0,5 =7,6 м.$$

Висоту машинного залу насосної станції прийнято 8,4 м відповідно до чинних нормативних рекомендацій та з урахуванням вимог щодо безпечної експлуатації, монтажу й обслуговування технологічного обладнання [24]. Обране значення висоти забезпечує необхідний монтажний простір, можливість виконання ремонтних робіт, а також розміщення підіймально-транспортних механізмів.

Аналіз масогабаритних характеристик встановленого обладнання показав, що основна маса агрегатів і вузлів знаходиться в діапазоні 1000–5000 кг. З огляду на це для виконання монтажних, демонтажних та ремонтних операцій передбачено використання кран-балки з ручним електроприводом. Застосування такого підіймально-транспортного обладнання є технічно доцільним, оскільки воно забезпечує необхідну вантажність, надійність експлуатації та економічність при обслуговуванні насосної станції. Обрана конструкція кран-балки дозволяє виконувати переміщення обладнання в межах машинного залу без залучення додаткових вантажопідіймальних засобів, що підвищує ефективність експлуатації споруди

4.3.8 Аналіз режиму роботи насосів та уточнення їх робочих характеристик

Характеристики трубопроводів розраховані за формулою, м:

$$H_i = H_{гк} + h_{вб}, \tag{4.25}$$

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:

$$h_{вб} = 1.15 \cdot \delta \cdot S_0 \cdot l \cdot q_{вр}^2, \tag{4.26}$$

де $q_{вр}^2$, $i_{вр}$ – відповідно витрата та питомі втрати напору у водоводах;

δ – виправний коефіцієнт до значень S_0 для сталевих водопровідних труб;

S_0 – розрахункове значення питомого опору для сталевих водопровідних труб, S_0=0,01859;

l – довжини водоводу, l = 2500 м.

Розрахунки зведені в таблицю 4.1.

Визначається коефіцієнт швидкохідності насосу для визначення ступеня обточки робочого колеса за формулою:

$$n_s = 3{,}65 \frac{n\sqrt{Qp}}{H_p^{3/4}} \tag{4.27}$$

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

Таблиця 4.1 – Розрахунок характеристики водоводів

Показники	Значення показників для Qi					
	Qв	0,25Qв	0,5Qв	0,75Qв	Qв	1,25Qв
1	2	3	4	5	6	7
Q, куб.м	0	0,112	0,223	0,34	0,447	0,56
V, м/с	0	0,389	0,778	1,17	1,56	1,95
δ	0	1,112	1,025	0,99	0,967	0,952
$h_k = 1.15 \times \delta \times s_0 \times l \times q_k^2$	0	0,8	2,94	6,41	11,13	17,12
Нгн	$H_{ст} = 146.4 - 80.0 = 66.4м$					
Нін	66,4	67,2	69,34	72,81	77,53	83,52
Qпож, куб.м	0	0,135	0,27	0,404	0,538	0,673
Vпож, м/с	0	0,389	0,81	1,22	1,63	2,03
δ	0	1,117	1,02	0,982	0,964	0,95
$h_k = 1.15 \times \delta \times s_0 \times l \times q_k^2$	0	0,9	3,19	6,92	12,1	18,6
Нгпож	$H_г = 122.02 - 79.0 = 43м$					
Нінпож	43	43,9	46,19	49,92	55,1	61,6

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

Hp - напір в оптимальній точці, м

$$n_s = 3{,}65\frac{1450\sqrt{1600/(2*3600)}}{90^{3/4}} = 85.4$$

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

Діаметр обточеного колеса визначається за формулою:

$$D_{об} = D\frac{Q_{об}}{Q} = \mathrm{D}\frac{\mathrm{Q_Б}}{\mathrm{Q_А}}, \qquad (4.28)$$

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

$$D_{об} = 495\frac{893}{1040} = 425мм.$$

Обточка становить 15%, що не перевищує припустимі межі.

Таким чином, в насосній станції II підйому встановлюються 5 насосів марки Д1600-90 (3 робочих та 2 резервних) [24. табл. 35].

При розробці креслення насосної станції (лист № 6 графічні частини кваліфікаційної роботи) були використані матеріали [27, розд.5, 28, 29, 30, 31].

ВИСНОВКИ

1. У кваліфікаційній роботі розроблено мережу транспортування води для міста з чисельністю населення 150 840 мешканців з урахуванням сучасних вимог надійності та завдань повоєнної відбудови інженерної інфраструктури.
2. Виконано аналіз умов функціонування систем водопостачання в умовах підвищених ризиків пошкоджень, що дозволило обґрунтувати необхідність кільцевої структури мережі, резервування обладнання та забезпечення можливості швидкого відновлення роботи системи.
3. Розроблено розрахункову схему водопровідної мережі, яка включає 12 кілець, 24 вузли та 35 розрахункових ділянок, що забезпечує підвищену надійність водопостачання споживачів.
4. Проведено гідравлічний розрахунок мережі для двох основних режимів роботи – максимального водоспоживання та пожежогасіння, у результаті чого визначено критичні вузли системи та підтверджено забезпечення необхідних вільних тисків.
5. Обґрунтовано застосування регулювальних місткостей – трьох резервуарів чистої води об’ємом по 3138 м³, що забезпечують вирівнювання нерівномірності водоспоживання та підвищують надійність роботи системи.
6. Запроєктовано водонапірну башту та підібрано насосне обладнання другого підйому та визначено оптимальний склад насосної станції із резервуванням агрегатів, що підвищує експлуатаційну надійність системи.
7. Отримані результати підтверджують, що розроблена система забезпечує необхідні витрати води, нормативні напори та стійкість роботи мережі в нормальних і аварійних умовах.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1.Добровольська О., Панченко К., Сімін А. Проєктування інженерних систем та обладнання в контексті зеленого будівництва. Молода наука – 2024 : зб. тез доп. XVII універ. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 17-22 квіт. 2024 р. Запоріжжя, 2024. Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2024. Т. 5 С. 268–270. URL: https://sites.znu.edu.ua/stud-sci-soc//2009/tom_5_2024.pdf

2. Добровольська О., Панченко К., Білоглазов А. Енергоефективне застосування інженерних систем та обладнання в умовах повоєнної відбудови. Молода наука–2024 : зб. тез доп. XVII універ. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 17-22 квіт. 2024 р. Запоріжжя, 2024. Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2024. Т. 5 С. 266-268. URL: https://sites.znu.edu.ua/stud-sci-soc//2009/tom_5_2024.pdf

3. Добровольська О.Г., Водопровідні мережі : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2022. 221 с.

4. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу у сферах питної води та питного водопостачання, водовідведення : постанова Кабінету міністрів України № 6 від 21 січня 2025 р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/61-2025-%D0%BF#Text

5. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання : підручник. Київ : Знання. 2009. 785 с.

6. Кравченко, О., Куба, Т., Нечипор, О., & Тавартkіладзе, Н. (2025). Сучасні підходи до гідравлічного моделювання систем водопостачання та водовідведення: міжнародний досвід та перспективи для України. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (50), 49–60. URL: https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.50.49-60

7. Cassottana B, Balakrishnan S., Aydin N., Y., ansavini G. (2023).Designing resilient and economically viable water distribution systems: a multi-dimensional approach. Resilient Cities and Structures. Volume 2, Issue 3, September 2023, Pages 19–29. URL: https://doi.org/10.1016/j.rcns.2023.05.004

8. Кравченко, О., Хоружий, В., Любенко, В., & Недашковський, І. (2023). BIM-технології в проєктуванні інженерних мереж. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (42), 29–34. URL: https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.42.29-34

9. Кушка, О., & Гензерська, Я. (2025). Методика визначення оптимальної швидкості руху води в міських водопровідних мережах. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (51), 42–46. URL: https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.51.42-46

10. Потапенко, С., & Кравченко, О. (2025). Аналіз світового досвіду та науково-методичні підходи до оптимізації систем питного водопостачання та водовідведення. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (49), 25–37. URL: https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.49.25-37

11. Погуляйко, Ю. (2024). Повоєнна специфіка інфраструктурної модернізації економіки країн Азії. *Економіка та суспільство*, (69). С.1-6. URL: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-69-146
URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/5243/5186

12. Cifuentes-Faura, J. Ukraine's post-war reconstruction: building smart cities and governments through a sustainability-based reconstruction plan. *Journal of Cleaner Production*, vol. 419, 2023. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.138323. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623024812.

13. Matviichuk, O., Yeromenko, R., Lytvynova, O., Dolzhykova, O., Matviichuk, A., Karabut, L., Lytvynenko, H., Gladchenko, O., & Lytvynenko, N. (2023). Hygienic assessment of potential health risks for the population of Ukraine and the Kharkiv

region as a result of the deterioration of drinking water supply in the conditions of war. *ScienceRise: Medical Science*, (5(56), 16–24. https://doi.org/10.15587/2519-4798.2023.295104

14. Кравченко, О., Куба, Т., Потапенко, С., Хоружий, В., Аргатенко, Т., Бакуновський, О. . (2023). Планування та організація децентралізованих систем водопостачання у воєнний період в Україні. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, (44), 29–39. https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.44.29–39.

15. Lambert A., Brown T., Takizawa M., Weimer D. A Review of Performance Indicators for Real Losses from Water Distribution Systems. *Water Science & Technology: Water Supply*. 2013. Vol. 13, No. 6. P. 1545–1555. DOI: https://doi.org/10.2166/ws.2013.059 URL: https://www.scribd.com/document/348355725/01-A-Review-of-Performance-Indicators-for-Real-Losses-from-Water-Supply-Systems-pdf?language_settings_changed=English

16. Huimin Y., Sen Lin, Hua Zhou, Xiaodan Weng. Leak detection in water distribution networks based on deep learning and kriging interpolation method. *AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society*. 73(8):1741-1753. DOI:10.2166/aqua.2024.184 URL: https://www.researchgate.net/publication/382895674_Leak_detection_in_water_distribution_networks_based_on_deep_learning_and_kriging_interpolation_method

17. Rousso B., Lambert M.F. (2023)/ Smart water networks: A systematic review of applications using high-frequency pressure and acoustic sensors in real water distribution systems. Journal of Cleaner Production 410(3):137193. DOI:10.1016/j.jclepro.2023.137193. URL: https://www.researchgate.net/publication/370267629_Smart_water_networks_A_syst

ematic review of applications using high-frequency pressure and acoustic sensors in real water distribution systems

18. Прокладання трубопроводів у футлярах. URL: https://studfile.net/preview/10146273/page:37/

19. Санація трубопроводу методом «релайнінга». URL: https://vik.com.ua/pages/view/relaining

20. Реконструкція (санація) трубопроводів методом полімерного рукава («панчохи»). URL: https://msk.in.ua/sanasiya-truboprovoda-s-pomoshyu-rukava

21. Wenjing Xing, Chao Zhang, Cuixia Wang. Trenchless rehabilitation materials and technologies for water supply pipes: A comprehensive review. *Process Safety and Environmental Protection*. Vol. 203:107896. DOI:10.1016/j.psep.2025.107896 URL: https://www.researchgate.net/publication/397154092_Trenchless_rehabilitation_materials_and_technologies_for_water_supply_pipes_A_comprehensive_review

22. Добровольська , О., & Чудновський , П. (2023). Застосування ефективних технологій відновлення мереж транспортування води у післявоєнний період. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, *19*, 58–67. https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9(19)-07 URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/uk/article/view/1077/1011

23. Мокієнко А.В. Актуальні водні проблеми. Інноваційні водні технології. Курс лекцій. 2024. 381 с. URL: https://eprints.oa.edu.ua/id/eprint/9666/1/Vodni_Tehnologii_lekcii.pdf

24. 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

25. Як розрахувати норму водоспоживання для підприємства. URL: https://www.expertcentr.com.ua/2019/10/17/yak-rozrahuvati-normu-dlya-pidpriemstva-vodospozhivannya/

26. Технічні характеристики насоса Д 1600-90. URL: https://konsolnik.com.ua/uk/nasosy-dvostoronnogo-vhodu-d-1d/nasos-1d1600-90

27. ДСТУ 8943:2019. Труби сталеві електрозварні. Технічні умови. URL: https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye%20dokumenty/dstu/dstu-8943-2019.pdf

28. Засувка паралельна дводискова. URL: https://xn--80aqy.com.ua/uk/armatura/zasuvky/parallelny/

29. Засувки штампозварні. URL:https://slemz.com.ua/zapirka/zasuvky/zasuvky-shtampozvarni?page=2

30. ДСТУ EN 13157:2018 Крани вантажопідіймальні. Вимоги щодо безпеки. Крани з ручним приводом (EN 13157:2004 + A1:2009, IDT). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=81606

31. ДСТУ EN 809:2015 Насоси та насосні агрегати для рідин. Загальні вимоги щодо безпеки (EN 809:1998+A1:2009, AC:2010, IDT). URL : https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=81599

Додаток А

Вихідні дані

10	920.00	3.00	150.00	с	11	1000.00	15.00	150.00	с	12	1300.00	22.78	250.00	с
13	640.00	318.86	500.00	с	14	800.00	100.00	350.00	с	15	600.00	228.05	450.00	с
16	900.00	62.20	150.00	с	17	900.00	40.97	300.00	с	18	1000.00	38.00	200.00	с
19	800.00	22.46	200.00	с	20	420.00	758.53	800.00	с	21	500.00	423.67	600.00	с
22	300.00	173.44	500.00	с	23	500.00	15.99	200.00	с	24	400.00	200.00	400.00	с
25	420.00	321.73	500.00	с	26	200.00	238.81	400.00	с	27	900.00	138.36	350.00	с
28	420.00	23.12	150.00	с	29	360.00	100.00	350.00	с	30	380.00	127.69	350.00	с
31	420.00	40.00	150.00	с	32	900.00	20.00	200.00	с	33	1000.00	30.92	200.00	с
34	400.00	22.00	150.00	с	35	500.00	10.00	150.00	с	36	.00	.00	.00	

Таблиця А.1 Результати гідравлічного розрахунку при максимальному водоспоживанні

- №	Код	D,мм	L , м	Q, л/с	V, м/с	H, м-
1	0- 9	150.00	500.00	11.43	.65	2.90
2	0- 3	300.00	1300.00	69.82	.99	6.69
3	2- 0	450.00	1400.00	124.76	.78	2.78
4	1- 0	350.00	1500.00	69.93	.73	3.58
5	3- 9	150.00	900.00	6.32	.36	1.79
6	12- 8	350.00	540.00	152.01	1.58	5.65
7	8-11	200.00	380.00	17.49	.56	1.15
8	11-10	300.00	1000.00	93.61	1.32	8.98
9	0-10	150.00	460.00	12.13	.69	2.98
10	9- 0	150.00	920.00	-4.15	.23	.87
11	12- 0	150.00	1000.00	-11.51	.65	5.88
12	0-11	250.00	1300.00	30.18	.61	3.54
13	5- 2	500.00	640.00	270.95	1.38	3.21
14	4- 2	350.00	800.00	111.38	1.16	4.53
15	8- 5	450.00	600.00	185.22	1.16	2.48
16	7- 4	150.00	900.00	10.70	.61	4.63
17	10- 7	300.00	900.00	77.64	1.10	5.65
18	6- 1	200.00	1000.00	23.85	.76	5.36
19	10- 6	200.00	800.00	29.03	.92	6.16
20	3- 2	800.00	420.00	727.33	1.45	1.26
21	3- 5	600.00	500.00	440.38	1.56	2.52
22	3- 8	500.00	300.00	232.98	1.19	1.12
23	9-12	200.00	500.00	35.35	1.13	5.56
24	5- 4	400.00	400.00	140.71	1.12	1.79
25	8- 7	500.00	420.00	271.11	1.38	2.11
26	8-10	400.00	200.00	151.52	1.21	1.02
27	12-11	350.00	900.00	119.25	1.24	5.79
28	2- 1	150.00	420.00	18.99	1.07	6.23
29	4- 1	350.00	360.00	107.25	1.11	1.90
30	7- 1	350.00	380.00	83.44	.87	1.26
31	7- 6	150.00	420.00	9.89	.56	1.87
32	11- 0	200.00	900.00	12.60	.40	1.51
33	1- 0	200.00	1000.00	35.43	1.13	11.16
34	6- 0	150.00	400.00	12.36	.70	2.68
35	10- 0	150.00	500.00	6.93	.39	1.17

Вихідні дані

10	920.00	3.00	150.00	с	11	1000.00	15.00	150.00	с	12	1300.00	40.00	250.00	с
13	640.00	318.86	500.00	с	14	800.00	100.00	350.00	с	15	600.00	250.38	450.00	с
16	900.00	62.20	150.00	с	17	900.00	40.97	300.00	с	18	1000.00	38.00	200.00	с
19	800.00	22.46	200.00	с	20	420.00	806.03	800.00	с	21	500.00	471.17	600.00	с
22	300.00	198.61	500.00	с	23	500.00	15.99	200.00	с	24	400.00	200.00	400.00	с
25	420.00	344.06	500.00	с	26	200.00	261.14	400.00	с	27	900.00	163.08	350.00	с
28	420.00	23.12	150.00	с	29	360.00	100.00	350.00	с	30	380.00	127.69	350.00	с
31	420.00	40.00	150.00	с	32	900.00	42.78	200.00	с	33	1000.00	30.92	200.00	с
34	400.00	22.00	150.00	с	35	500.00	10.00	150.00	с	36	.00	.00	.00	

Таблиця А.2 - Результати гідравлічного розрахунку при пожежі

№	Код	D,мм	L , м	Q, л/с	V, м/с	H, м:
1	0- 9	150.00	500.00	11.62	.66	2.99
2	0- 3	300.00	1300.00	78.65	1.11	8.35
3	2- 0	450.00	1400.00	194.43	1.22	6.32
4	1- 0	350.00	1500.00	103.47	1.08	7.40
5	3- 9	150.00	900.00	7.69	.44	2.55
6	12- 8	350.00	540.00	172.06	1.79	7.24
7	8-11	200.00	380.00	22.87	.73	1.89
8	11-10	300.00	1000.00	107.44	1.52	11.83
9	0-10	150.00	460.00	10.35	.59	2.23
10	9- 0	150.00	920.00	-4.34	.25	.94
11	12- 0	150.00	1000.00	-14.76	.84	9.28
12	0-11	250.00	1300.00	51.36	1.05	9.44
13	5- 2	500.00	640.00	291.79	1.49	3.72
14	4- 2	350.00	800.00	119.86	1.25	5.20
15	8- 5	450.00	600.00	198.92	1.25	2.84
16	7- 4	150.00	900.00	11.35	.64	5.16
17	10- 7	300.00	900.00	80.63	1.14	6.06
18	6- 1	200.00	1000.00	28.68	.91	7.53
19	10- 6	200.00	800.00	32.44	1.03	7.58
20	3- 2	800.00	420.00	786.33	1.56	1.47
21	3- 5	600.00	500.00	478.55	1.69	2.98
22	3- 8	500.00	300.00	257.45	1.31	1.36
23	9-12	200.00	500.00	38.40	1.22	6.48
24	5- 4	400.00	400.00	153.07	1.22	2.09
25	8- 7	500.00	420.00	296.51	1.51	2.52
26	8-10	400.00	200.00	173.94	1.38	1.35
27	12-11	350.00	900.00	144.69	1.50	8.53
28	2- 1	150.00	420.00	15.12	.86	4.08
29	4- 1	350.00	360.00	111.85	1.16	2.06
30	7- 1	350.00	380.00	88.70	.92	1.41
31	7- 6	150.00	420.00	10.32	.58	2.02
32	11- 0	200.00	900.00	31.42	1.00	8.03
33	1- 0	200.00	1000.00	28.97	.92	7.68
34	6- 0	150.00	400.00	10.74	.61	2.07
35	10- 0	150.00	500.00	8.71	.49	1.77