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 ІНЖЕНЕРНОЇ СИСТЕМИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ»**

Виконав: студент 4 курсу, група 6.1923-мім-з
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі»
ЛОБАЧ ДЕНИС ОЛЕКСАНДРОВИЧ

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

Рецензент: професор кафедри міського будівництва і архітектури, доктор архітектури Г.О. Осиченко

Запоріжжя
2025

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 _____
«26» 12 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лобачу Денису Олександровичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка інженерної системи транспортування води
затверджено наказом ЗНУ від «26» грудня 2024 року № 2028-с
2. Строк подання роботи: *25.05.2025*

3. Вихідні дані до роботи: *генплан міста (додаток 1 до завдання), характеристики житлової забудови та підприємст, (додаток 2 до завдання).*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1.Аналіз проблем транспортування води міськими мережами. 1.1 Технічний стан і надійність водопровідних мереж. 1.2. Гідравлічні та якісні характеристики транспортування води. 1.3. Економічні та екологічні аспекти експлуатації міських водопровідних мереж.2. Розрахунок продуктивності мережі транспортування води. 2.1Визначення добових розрахункових витрат води міста. 2.2 Розробка режиму водоспоживання міст. 2.3 Визначення сумарного водоспоживання міста.3. Розрахунок міської мережі транспортування води.3.1 Визначення шляхових та вузлових витрат. 3.2 Схеми початкового потокорозподілу для гідравлічних режимів роботи мережі. 3.3 Гідравлічний розрахунок мережі. 3.4 Визначення п'єзометричних позначок та вузлових тисків. 3.5 Аналіз п'єзометричних карт. 4 Розрахунок насосної станції другого підйому. 4.1 Визначення розрахункової подачі насосної станції. 4.2 Вибір режиму роботи насосної станції. 4.3 Визначення діаметрів всмоктувальних і напірних водоводів. 4.4 Визначення розрахункового

напору насосів. 4.5 Розрахунок режиму роботи насосної станції при пожежегасінні. 4.6 Підбір насосів та електродвигунів до них. 4.7 Визначення позначок вісі насосів і долу насосної станції. 4.8 Визначення висоти машинного залу та підбір вантажопідйомального обладнання. ВИСНОВКИ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Генплан міста, ситуаційний план. 2. П'єзометричні карти. 3. П'єзометричні лінії 4. Методи безтраншейної прокладки: порівняльний аналіз. 5. Методи реконструкції мереж.6. Насосна станція другого підйому.

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 10.02.2025 року

Календарний план

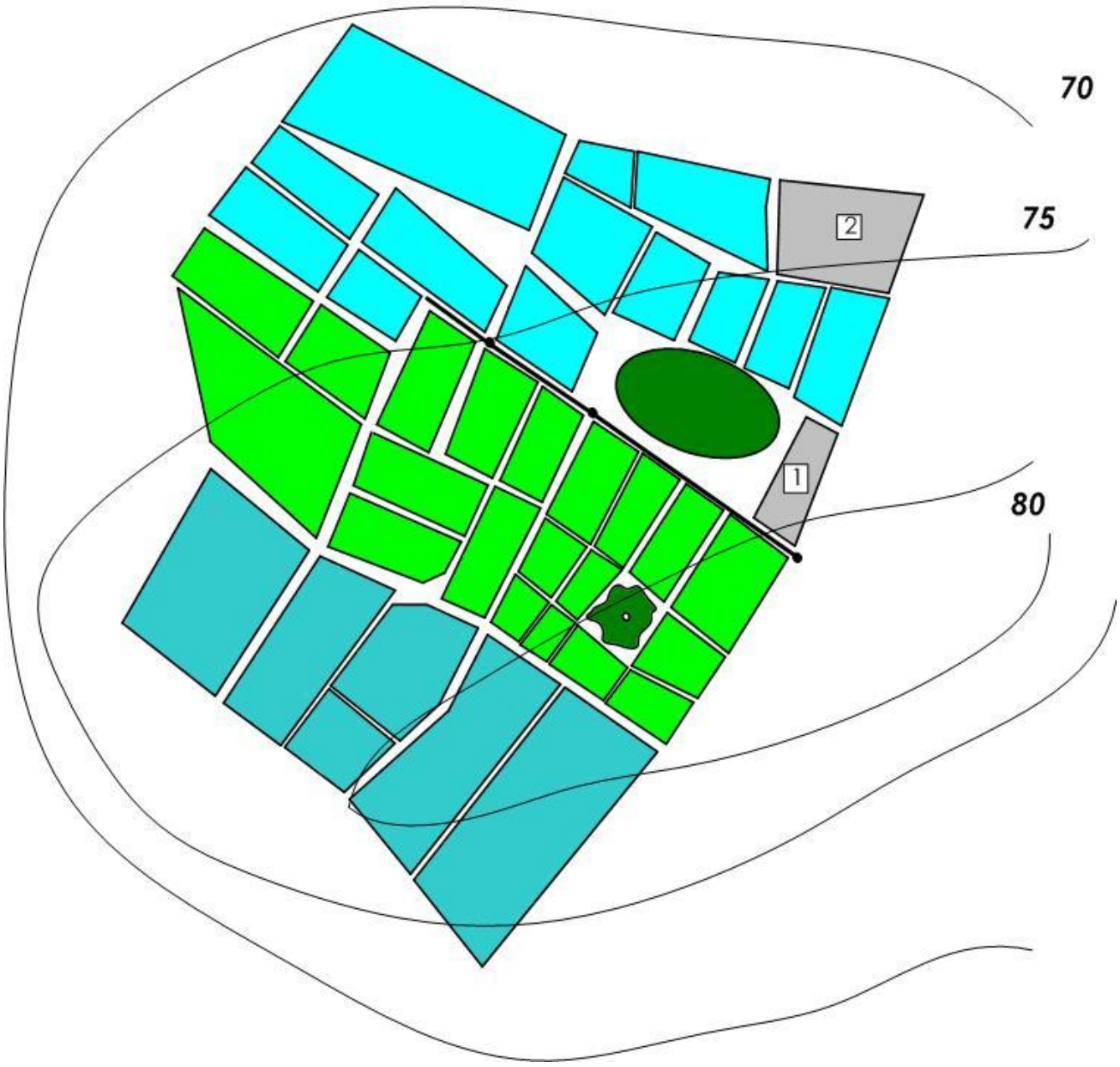
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Приміт ка
1	Розділ 1. Аналіз проблем транспортування води міськими мережами	25.03.25	
2	Листи 1-2.	14.04.25	
3	Розділ 2. Розрахунок продуктивності мережі транспортування води.	25.04.25	
4	Листи 3,4.	05.05.25	
5	Розділ 3. Розрахунок міської мережі транспортування води.	10.05.25	
6	Розділ 4. Розрахунок насосної станції другого підйому	15.05.25	
7	Листи 5-6. Оформлення роботи.	22.05.25	
8	Попередній захист.	25.05.25	

Студент _____ Д.О. Лобач
(підпис) (ініціали та прізвище)

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

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер _____ О.В. Гребенюк
(підпис) (ініціали та прізвище)

Генплан міста М1:20000 Додаток 1



Додаток 2

Таблиця 1 – Характеристика забудови

Район міста	Кількість поверхів	Щільність населення, чол/га	Ступінь благоустрою
Перший район	7	180	внутрішній водопровід, каналізація і централізоване гаряче водопостачання
Другий район	9	270	внутрішній водопровід, каналізація і централізоване гаряче водопостачання
Третій район	5	410	внутрішній водопровід, каналізація і ванни з місцевими водонагрівачами

Таблиця 2 – Характеристика підприємств

Назва підприємства	Питома витрата	Продуктивність	Витрата на виробництво	Кількість працівників			Категорія пожежної безпеки
	$М^3$ /т	т/доб	$м^3$/доб	1	2	3	
Підприємство №1(безалкогольні напої)	10	240	2400	700	650	-	I,II Б,В
Підприємство №2 (завод металоконструкцій)	30	200	6000	600	500	-	III Д

ЗМІСТ

Вступ……8
РОЗДІЛ 1.АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ МІСЬКИМИ МЕРЕЖАМИ…….10
1. 1 Технічний стан і надійність водопровідних мереж…….10
1.2. Гідравлічні та якісні характеристики транспортування води……13
1.3. Економічні та екологічні аспекти експлуатації міських водопровідних мереж……..16
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПРОДУКТИВНОСТІ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ……..20
2.1 Визначення добових розрахункових витрат води міста…….20
2.2 Розробка режиму водоспоживання міст……25
2.3 Визначення сумарного водоспоживання міста…….27
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК МІСЬКОЇ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ..30
3.1 Визначення шляхових та вузлових витрат…...…….....30
3.2 Схеми початкового потокорозподілу для гідравлічних режимів роботи мережі……..34
3.3 Гідравлічний розрахунок мережі……34
3.4 Визначення п'єзометричних позначок та вузлових тисків……...34
3.5 Аналіз п'єзометричних карт……39
РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНОК НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ДРУГОГО ПІДЙОМУ……..40
4.1 Визначення розрахункової подачі насосної станції…….41
4.2 Вибір режиму роботи насосної станції……..41
4.3 Визначення діаметрів всмоктувальних і напірних водоводів…….43
4.4 Визначення розрахункового напору насосів…….44
4.5 Розрахунок режиму роботи насосної станції при пожежегасінні……..….45
4.6 Підбір насосів та електродвигунів до них……..…46

4.7. Визначення позначок вісі насосів і долу насосної станції……..…47
4.8 Визначення висоти машинного залу та підбір вантажопіднімального обладнання……..48
ВИСНОВКИ……49
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ……50

ВСТУП

Забезпечення населення якісною питною водою є одним із ключових завдань інженерної інфраструктури сучасного міста. У зв'язку зі зростанням урбанізації, старінням інженерних мереж, руйнуванням інфраструктури в результаті проведення бойових дій, питання ефективного транспортування води набуває особливої актуальності. Надійна система водопостачання є основою сталого функціонування міських поселень, житлового фонду, підприємств і соціальної інфраструктури. Її безперебійна робота забезпечує комфорт, санітарно-гігієнічні умови та громадське здоров'я.

Актуальність теми зумовлена необхідністю модернізації існуючих водопровідних систем, впровадженням енергоефективних та екологічно безпечних технологій транспортування води, а також потребою у точному гідравлічному розрахунку для проєктування нових і реконструкції наявних мереж. У багатьох містах України спостерігається значний рівень втрат води, що часто перевищує 40% через витоки, корозію труб, неефективну роботу насосних станцій і відсутність автоматизованого контролю. Це вимагає комплексного інженерного підходу до побудови сучасної системи транспортування води.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка інженерної системи транспортування води для умов міської мережі, яка забезпечує необхідну продуктивність, гідравлічну ефективність і надійність експлуатації при оптимальних економічних та енергетичних витратах.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі завдання:

- провести аналіз технічного стану та надійності існуючих міських водопровідних мереж;
- оцінити економічні й екологічні аспекти експлуатації водопровідних систем;
- здійснити розрахунок продуктивності мережі транспортування води;

- розробити гідравлічну модель міської водопровідної мережі;
- провести інженерний розрахунок насосної станції другого підйому для забезпечення належного тиску в системі.

Кваліфікаційна робота складається з чотирьох основних розділів. У першому розділі проаналізовано проблеми транспортування води міськими мережами. Другий і третій розділи присвячені розрахункам продуктивності та побудові гідравлічної моделі системи. В четвертому розділі розглянуто параметри насосної станції другого підйому та обґрунтовано вибір обладнання.

Практичне значення роботи полягає в розробці проєктного рішення, яке може бути використано для модернізації або проєктування систем водопостачання в умовах реального міського середовища. Запропоновані технічні рішення спрямовані на відновлення зруйнованої інфраструктури, підвищення ефективності транспортування води, зменшення втрат, зниження енергоспоживання та покращення екологічної безпеки.

РОЗДІЛ 1.АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ МІСЬКИМИ МЕРЕЖАМИ

1. 1 Технічний стан і надійність водопровідних мереж

Міські водопровідні мережі – це розгалужена система трубопроводів, арматури, насосних станцій та обладнання, що забезпечує транспортування питної води від джерела до кінцевих споживачів. Якість та безпека водопостачання напряму залежать від технічного стану цих елементів, який, на жаль, у багатьох містах України не відповідає сучасним вимогам [1].

Матеріал трубопроводів – ключовий фактор, що визначає довговічність та надійність мереж. У таблиці наведено розширену інформацію щодо основних типів труб:

Таблиця 1. 1– Особливості експлуатації трубопроводів з різних матеріалів [2,3,4]

Матеріал труби	Термін служби\ років	Стійкість до корозії	Механічна міцність	Особливості монтажу	Вартість	Додаткові коментарі
Сталь	20-30	Низька	Висока	Вимагає зварювання	Середня	Швидко втрачає пропускну здатність
Чавун	30-50	Середня	Висока	Тяжкий монтаж	Висока	Крихкий, часто виходить з ладу в мороз
Азбестоцемент	30-40	Висока	Низька	Легкий монтаж, але крихкий	Низька	Заборонений у багатьох країнах через екологічні ризики
Поліетилен (ПЕ)	50-60	Висока	Середня	Гнучкий, зручний монтаж	Середня	Ідеальний для заміни старих труб
Полівінілхлорид	40-50	Висока	Середня	Простий монтаж, легко ріжеться	Низька	Не витримує високого тиску та температур

Більшість систем водопостачання були побудовані ще в радянський період, і їхній фізичний стан постійно погіршується через вік, корозію, зношення матеріалів та недостатню модернізацію. В умовах обмеженого фінансування технічне обслуговування мереж виконується не в повному обсязі, що призводить до зростання кількості аварій, втрат води та зниження рівня послуг.

Старі системи найчастіше складаються з чавунних та сталевих труб, які, з одного боку, мають добру міцність, а з іншого – дуже вразливі до впливу вологи, кислотності ґрунту та тиску. У багатьох містах понад 50% трубопроводів вже вичерпали свій нормативний строк служби, але продовжують використовуватись.

Спостерігаються наступні сновні види пошкоджень та їх наслідки:

- розриви труб через внутрішній тиск або зовнішній тиск ґрунту;
- прориви у місцях стиків та з’єднань;
- корозійні отвори та тріщини;
- нарости та відкладення, які зменшують діаметр труб і викликають додатковий опір потоку.

Ці пошкодження можуть спричинити значні втрати води, забруднення системи та навіть повне припинення водопостачання в окремих районах. При експлуатації мереж транспортування води виникають різні проблеми, які впливають на гідравлічні режими їх роботи.

Однією з основних гідравлічних проблем у водопровідних мережах є втрати тиску, які виникають через гідравлічний опір в трубопроводах. Ці втрати залежать від довжини труб, їх діаметру, шорсткості внутрішньої поверхні та кількості фітингів. Дослідження показують, що зміна діаметра трубопроводів може впливати на рівномірність розподілу рідини та втрати напору. [5]

Гідравлічний удар – це різке підвищення або зниження тиску в трубопроводі, яке виникає при раптовій зміні швидкості потоку, наприклад, при швидкому закритті клапанів або зупинці насосів. Це явище може призвести до пошкодження

трубопроводів та обладнання. Дослідження вказують на необхідність врахування гідравлічного удару при проєктуванні систем водопостачання та використання методів його запобігання. [6] .

Нерівномірність подачі води є особливістю експлуатації мереж транспортування води. Нерівномірність подачі води може бути спричинена змінами споживання протягом доби, що призводить до коливань тиску в мережі. Це може викликати проблеми з подачею води на верхні поверхи будівель та зниження якості води. Для вирішення цієї проблеми рекомендується використання регуляторів тиску та автоматизованих систем управління [7].

Гідравлічні проблеми, такі як втрати тиску, гідравлічний удар та нерівномірність подачі води, є серйозними викликами для міських водопровідних мереж. Їх вирішення вимагає комплексного підходу, включаючи модернізацію інфраструктури, впровадження сучасних технологій та ретельне планування систем водопостачання.

Вторинне забруднення води виникає після її очищення на водопровідних станціях, під час транспортування до споживачів. Основні причини наступні:

- зношеність трубопроводів: старі та корозійні труби можуть бути джерелом забруднення через потрапляння іржі та інших домішок у воду;.
- порушення герметичності системи: тріщини та витоки в трубах дозволяють зовнішнім забруднювачам проникати у водопровідну воду;
- біоплівки на внутрішніх стінках труб: накопичення мікроорганізмів може призвести до погіршення якості води та появи неприємного запаху;
- застій води: у ділянках мережі з низьким споживанням вода може застоюватися, що сприяє розвитку мікроорганізмів та погіршенню її якості [8].

Вторинне забруднення води може мати серйозні наслідки для здоров'я спживачів та середовища:

- захворювання: споживання забрудненої води може призвести до інфекційних хвороб, таких як дизентерія, холера, гепатит [9];
- накопичення токсичних речовин: важкі метали та хімічні сполуки можуть накопичуватися в організмі, викликаючи хронічні захворювання [10];
- погіршення екологічного стану: витоки з водопровідних мереж можуть забруднювати ґрунти та підземні води.

Розробка та впровадження наступних заходів дозволяють запобігати вторинному забрудненню:

- модернізація інфраструктури: заміна старих труб на нові з корозійностійких матеріалів;
- регулярний моніторинг: використання систем контролю якості води на різних етапах її транспортування;
- очищення та дезінфекція мереж: періодичне очищення трубопроводів від біоплівок та інших відкладень;.
- підвищення обізнаності населення: інформування громадськості про важливість правильного використання води та необхідність повідомляти про витоки [11].

1.2. Гідравлічні та якісні характеристики транспортування води

Системи водопостачання повинні не тільки забезпечувати подачу води в необхідному об'ємі, але й підтримувати її належну якість та стабільні гідравлічні характеристики впродовж усього циклу транспортування. Ефективність роботи водопровідної мережі залежить від балансу між тиском, швидкістю потоку, діаметром трубопроводів і гідравлічним опором. Порушення одного з цих параметрів може призвести до перебоїв у постачанні, втрат води або її забруднення.

Гідравлічні проблеми в водопровідних мережах включають втрати тиску, нерівномірність подачі та високий гідравлічний опір через відкладення на

внутрішніх стінках труб. Це призводить до зниження ефективності системи та підвищення енергоспоживання.

Забруднення води може відбуватися через вторинне погіршення якості під час транспортування, зокрема через контакт з корозійними відкладеннями та біоплівками всередині трубопроводів. Дослідження показують, що якість води, що надходить до споживачів, може змінюватися в розподільній мережі, що вимагає додаткових заходів контролю [12].

При транспортуванні води мережами в них виникають гідравлічні втрати, які впливають на тиск у системі. Гідравлічні втрати – це енерговитрати, що виникають через тертя рідини об стінки труб та через локальні опори (коліна, з'єднання, засувки, фітинги). Із збільшенням довжини труби або зменшенням її діаметра ці втрати зростають. В системах, що працюють десятиліттями без модернізації, ці показники значно перевищують допустимі норми. При цьому важливо дотримуватись нормативного тиску в точках розбору [20]:

- для одноповерхових будівель – 10÷15 м водяного стовпа (1÷1,5 бар);
- для п'ятиповерхівок – 25÷30 м (2,5÷3 бар);
- для висотних будівель – від 45 м і вище.

У випадках перевищення тиску відбувається зношення труб та арматури, а при недостатньому – незадоволення споживачів, зниження гігієнічних норм, особливо в системах циркуляції гарячої води [13].

На формування добового режиму роботи мережі впливає нерівномірність водоспоживання. так гідравлічний тиск у мережі коливається протягом доби в залежності від обсягів споживання. Як правило, спостерігається:

- ранковий пік (6:00÷9:00) – максимальне споживання;
- денне зниження – стабілізація;
- вечірній пік (18:00÷22:00) – зростання;
- нічне зменшення – мінімальні витрати.

Невідповідність пропускної здатності труб до цих пікових навантажень призводить до втрати напору, відсутності води на верхніх поверхах, надлишкового тиску в години спаду, що викликає гідравлічні удари [14].

Під час проходження через трубопроводи вода може зазнавати вторинного забруднення, навіть якщо на вході в систему вона відповідає всім нормативам через наступні фактори:

- внутрішню корозію труб – утворення частинок іржі;
- біологічне забруднення – мікроорганізми, що накопичуються в застарілих мережах;
- зворотне всмоктування – коли при зниженому тиску вода з ґрунту потрапляє в систему через нещільності;
- нестабільну дезінфекцію – втрата залишкового хлору в довгих або малопоточних ділянках мережі.

Це створює ризики не тільки для здоров’я споживачів, але й для самого обладнання, сприяючи прискореному зношенню арматури, фільтрів і насосів [15]. Для забезпечення належного гідравлічного режиму під час транспртування вди мережами застсовуються підвищувальні насосні станції, які регулюють тиск у зонах зі зниженим напором. Розділення систем на зони тиску дозволяє точно регулювати подачу, гідравлічне моделювання мережі дозволяє за допомогою спеціалізованого ПЗ (наприклад, EPANET), створювати цифрові моделі систем, які допомагають планувати модернізацію. Моніторинг в реальному часі шляхом впровадження SCADA-систем забезпечує контроль тиску, витрат і якості в автоматичному режимі. Використання сучасних матеріалів, а саме застосування полімерних труб, таких як поліетилен високої щільності (ПЕВЩ) та полівінілхлорид (ПВХ), які є легкими, гнучкими, корозійностійкими та мають довгий термін служби, забезпечують надійність транспортування води [16].

Контроль якості води передбачає використання аналізаторів хлору, датчиків мутності та кольоровості, зондів pH, біологічного тестування проб води.

1.3. Економічні та екологічні аспекти експлуатації міських водопровідних мереж

Ефективна експлуатація міських водопровідних мереж є важливим елементом сталого розвитку інфраструктури міста. Вона прямо впливає не лише на економічний стан підприємств водопостачання, але й на навколишнє середовище. Зношені мережі, втрати води, неефективне використання енергії та ресурсу обладнання стають причиною як фінансових, так і екологічних втрат.

Високий рівень зношеності водопровідних мереж призводить до значних витрат на ремонт та модернізацію систем водопостачання. Втрати води через витоки є суттєвою проблемою: за різними даними, вони коливаються в межах 25–50% від загального обсягу поданої в мережу води.

Основні витрати комунальних підприємств пов’язані з:

- аварійно-відновлювальними роботами;
- плановими ремонтами трубопроводів і запірної арматури;
- модернізацією насосного обладнання;
- витратами на електроенергію для перекачування води;
- закупівлею реагентів для дезінфекції та очистки.

У середньому, в Україні понад 40% водопровідних мереж перебувають в незадовільному або аварійному стані, що призводить до частих пошкоджень і додаткових витрат [17]. Модернізація мереж транспортування води – це насамперед:

- заміна сталевих та чавунних труб на поліетиленові;
- впровадження систем автоматичного керування насосними станціями;
- зонування системи з урахуванням висотності забудови;

- встановлення витратомірів для обліку води в режимі онлайн [18].

Втрати води в системах централізованого водопостачання – одна з найгостріших проблем сучасного водогосподарського комплексу. Зношеність водогонів, застарілі технології обліку, несвоєчасне виявлення пошкоджень і відсутність інвестицій у модернізацію призводять до значних обсягів втраченої води. За оцінками міжнародних організацій, у країнах, що розвиваються, витоки можуть становити від 30% до 70% від загального обсягу поданої води. В Україні, за даними Держводагентства, середній рівень втрат коливається на рівні 40–50%, а в окремих регіонах може перевищувати 60%.

Основними причинами таких втрат є фізичні витоки через пошкодження трубопроводів, а також комерційні втрати – через неточний облік, несанкціоновані врізки або крадіжки. Високий рівень втрат води негативно впливає не лише на економічні показники підприємств водопостачання, а й на екологічну ситуацію та якість життя населення. В умовах змін клімату та зростаючого дефіциту водних ресурсів ефективне управління втратами води набуває критичного значення.
Одна з головних економічних проблем – втрати води. Вони поділяються на:

- технічні – через пошкодження, витоки, дефекти труб;
- комерційні – через несанкціоноване підключення або неправильний облік.

За оцінками Світового банку, середній рівень втрат d системах централізованого водопостачання країн Східної Європи досягає 30–40%. У містах України ці втрати іноді перевищують 50%, що означає, що половина очищеної та поданої води не доходить до споживача.

За результатами аналізу інформації [18, 19, 20] стосовно витоків в мережах транспортування води наведено порівняльну таблицю для різних країн.

Для зниження втрат води під час її транспортування доцільно впроваджувати сучасні технічні рішення, які довели свою ефективність у міжнародній практиці.

Таблиця 1. 2– Аналіз витоків в мережах транспортування води

Країна	Середній рівень втрат %	Причини
Німеччина	6-8%	Високий рівень модернезації
Франція	18-22%	Старі мережі частково оновлені
Польша	20-25%	Перехідна модернезація
Україна	35-50%	Слабкий контроль та оновлення

Розділення водопровідної мережі на секції з окремими лічильниками (District Metered Areas, DMA) сприяє локалізації втрат і підвищенню точності обліку [19, 20]. Зокрема, встановлення датчиків протікання дозволяє оперативно виявляти аварійні ситуації та приховані витоки — подібні технології активно використовуються в системах дистанційного моніторингу водоканалів [21, 22]. Акустичні детектори витоків**,** які аналізують звукові сигнали в трубопроводах, застосовуються для виявлення невидимих пошкоджень труб у ґрунті та суттєво знижують обсяги неврахованої води [22].
Окрему роль відіграє впровадження SCADA-систем, що забезпечують автоматичний контроль за тиском, витратами та станом об’єктів у режимі реального часу, дозволяючи мінімізувати людський фактор та оперативно реагувати на відхилення [21, 23]. Погіршення стану водопровідної інфраструктури має і значний екологічний аспект:

- втрата води – невиправдане споживання природного ресурсу;
- забруднення ґрунтів та підземних вод при витоках;
- зростання викидів CO_2 через неефективну роботу насосів;
- надмірне хлорування через втрату залишкової концентрації.

До екологічних заходів належать:

- використання енергоефективного обладнання;

- відновлення гідроізоляції в проблемних ділянках;
- екологічний аудит підприємств водопостачання;
- просвітницькі кампанії серед населення з метою зменшення навантаження на систему.

Відмова від планової модернізації водопровідної мережі несе не лише фінансові ризики, а й екологічні наслідки, які в довгостроковій перспективі мають катастрофічні наслідки для довкілля [24].

Завдання кваліфікаційної роботи:

- здійснити аналіз технічного стану та рівня надійності існуючих міських водопровідних мереж;
- оцінити економічну ефективність та екологічну безпечність експлуатації систем водопостачання;
- виконати гідравлічний розрахунок продуктивності мережі транспортування води;
- побудувати гідравлічну модель міської водопровідної системи для оцінки її функціонування в різних режимах;
- провести інженерний розрахунок параметрів насосної станції другого підйому з метою забезпечення стабільного тиску в мережі.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПРОДУКТИВНОСТІ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ

2.1 Визначення добових розрахункових витрат води міста

За ступенем благоустрою та характером забудови територія міста може бути розділена на три райони. В першому і другому районах – відповідіно семи- та девятиповерхові будинки, обладнані внутрішнім водопроводом, каналізацією і централізованим гарячим водопостачанням, третій район має переважно 5-поверхову забудову з внутрішнім водопроводом, каналізацією та ваннами з місцевими водонагрівачами. У місті є два промислових підприємства, характеристики яких подаються в таблиці 1.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика підприємств

Назва підприємства	Питома витрата	Продуктивність	Витрата на виробництво	Кількість працівників			Категорія пожежної безпеки
	$М^3$ /т	т/доб	$м^3$/доб	1	2	3	
Підприємство №1(безалкогольні напої)	10	240	2400	700	650	-	I,II Б,В
Підприємство №2 (завод металоконструкцій)	30	200	6000	600	500	-	III Д

Кількість населення в кожному районі міста обчислено по формулі:

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

де P_i – густина населення, чол/га; F_i – площа і-го району. $N_1 = 95 \times 180 = 17100$ чол.; $N_2 = 115 \times 270 = 31050$ чол.; $N_3 = 130 \times 410 = 53300$

У місті передбачається витрата води на господарсько-питні потреби населення, полив вулиць та зелених насаджень, на потреби промислових підприємств. Для кожного із трьох районів витрата води на господарсько –питні потреби та на полив визначена окремо. Середньодобова витрата води і-го району розраховується за формулою, м^3/доб:

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

де q_i – питоме господарсько-питне водоспоживання на одного мешканця, л/доб [25, табл.1].

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

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

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

де $K_{доб.максі}$ $K_{доб.мініі}$ – відповідно максимальний і мінімальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання і-го району [25, 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 міста	Кількість мешканців	Питома витрата, л/меш	Добова витрата води на полив,м^3/доб		
			Всього	Двірниками, 40%	Машинами, 60%
Перший район	17100	65	1112	445	667
Другий район	31050	65	2018	807	1211
Третій район	53300	65	3465	1386	2079
Усього	101450		6595	2638	3957

На промислових підприємствах вода витрачається на господарсько-питні потреби робітників, прийом душу та виробничі потреби, які визначені з урахуванням технологічних вимог. Питоме водоспоживання для цехів з тепловидаленням більше 80 кдж (20 ккал) на 1 м^3/год (гарячі цехи) приймається на одну людину 45 л/зм, для інших цехів – 25 л/зм. Розрахунок витрат води на промпідприємствах представлено в таблиці 2.3.

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

Зміна	Кількість, чол.	Гарячі цеха			Холодні цеха			Загальна витрата, м^3
		Кількість, чол.	q, л/зм чол.	Витрата, М^3	Кількість, чол.	q, л/зм чол	Витрата, М^3	
Завод безалкогольних напоїв								
1	700	210	45	9,45	490	25	12,25	21,70
2	650	195		8,775	455		11,375	20,15
				18,225			23,625	41,85
Завод металоконструкцій								
1	600	180	45	8,1	420	25	10,5	18,6
2	500	150		6,75	350		8,75	15,5
Усього	1100	330		14,85	770		19,25	34,1

Витрата води на користування душем на промпідприємстві:

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

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 для і-ої санітарної характеристики виробничого процесу [26]. Розрахунки витрат на приймання душу зведені в таблицю 2.4.

Підприємство безалкогольних напоїв використовує 10 м^3 води на 1т продукції, виготовляє 240 т продукції за добу, таким чином, добова витрата води складає 2400 м^3. Завод металоконструкцій використовує 30 м^3 води на 1 т продукції, виготовляє 200т продукції за добу, таким чином, добова витрата води складає 6000 м^3. Населення міста більше100 тис. чол. і площа підприємства менше 150 га, тому загальна витрата на гасіння однієї зовнішньої пожежі дорівнює сумі необхідної витрати в населеному пункті та 50% витрати на підприємстві. Витрата на зовнішнє пожежегасіння в населеному пункті з кількістю населення більше 100 тис. чол. і поверховістю будинків більше 3 поверхів дорівнює 40 л/с з кількістю одночасних пожеж 3[1]. Витрата на зовнішнє пожежегасіння на безалкогольному комбінаті зі ступенем вогнестійкості будинків I,II і категорією виробництва за пожежною безпекою Б і В при об ємах будинків від 3 до 5 тис. м^3 складає 10 л/с; на заводі металоконструкцій зі ступенем вогнестійкості будинків III і категорією виробництва за пожежною безпекою Д при об'ємах будинків від 5 до 20 тис. м^3 – 15 л/с [25].

Загальна витрата на пожежегасіння визначається за формулою:

$$Q_n = \mathrm{n} \times (\mathrm{q}_{зов} + q_{вн}) + 0.5 \times q_{під}, \qquad (2.6)$$

де $n_п$ – кількість одночасних пожеж;

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

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

Таблиця 2.4 –Розрахунок витрат води на приймання душу

Назва	1	2	3	Група процесу	Кількість робітників на 1 сітку	Кількість сіток			Витрата води, куб. м		
Завод безалкогольних напоїв											
				Іб(викликає		1	2	3	1	2	3
Гарячий цех	210	195		забрудненя одягу та рук)	7	30	28		15	14	
Холодний цех	490	455		Іа(не викликає забрудненя одягу та рук)	15	33	31		16,5	15,5	
Усього	700	650							31,5	29,5	
Завод металоконструкцій											
Гарячий цех	180	150		Іб (викликає забрудненя одягу та рук)	7	26	22		13	11	
Холодний цех	420	350		Іа(не викликає забрудненя одягу та рук)	15	28	24		14	12	
Усього	600	500							27	23	

$q_{під}$- витрата на пожежегасіння на підприємстві.

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

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

$$W_{пож} = 3\times3600\times150/1000=1620 \text{ м}^3.$$

2.2 Розробка режиму водоспоживання міста

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

$$K_{год\,1}=\alpha_1\,\beta_1, \quad (2.7)$$

$$K_{год\,2}=\alpha_2\,\beta_2, \quad (2.8)$$

де α – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків, α_1=1,3; α_2=1,3, α_3=1,25 [25, п. 6.1.2];

β – коефіцієнт, що враховує число мешканців у відповідному районі, β_1=1,23; β_2=1,17, β_3 =1,14 [25, п. 6.1.2].

$$K_{год\,1}=1,3\times1.23=1,6;$$

$$K_{год\,2}=1,3\times1.17=1,52;$$

$$K_{год\,3}=1,25\times1.14=1,42.$$

Визначені коефіцієнти $K_{год}$ відрізняються від табличних коефіцієнтів [26]. Розподіл водоспоживання за годинами доби приймаємо для першого району – за коефіцієнтом $K_{год}$=1,5; для другого – $K_{год}$=1,5, для третього – $K_{год}$=1,4.

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

$$K_{год\,1}=1,3\times1.23=1,6;$$

$$K_{год\ 2}=1{,}3\times 1.17=1{,}52\ ;$$

$$K_{год\ 3}=1{,}25\times 1.14=1{,}42\ .$$

Визначені коефіцієнти $\boldsymbol{K_{год}}$ відрізняються від табличних коефіцієнтів [26]. Розподіл водоспоживання за годинами доби приймаємо для першого району – за коефіцієнтом $K_{год}$=1,5; для другого – $K_{год}$=1,5, для третього – $K_{год}$=1,4.

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

$$P_{ск} = K_i \times 4{,}17, \qquad (2.9)$$

$P_{скI}$ = 1.6 × 4.17 =6,67, $P_{скII}$ = 1.52 × 4.17 =6,33, $P_{скIII}$ = 1.42 × 4.17 =5,92.

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

$$Q_i = P_i \times Q_{iдоб\ макс}/100, \qquad (2.10)$$

де P_i – значення і-ї 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:

$$Q_{ч\ пол}=Q_{год\ пол}/T_{пол}, \qquad (2.11)$$

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

$T_{пол}$ – тривалість поливу, год.

2.3 Визначення сумарного водоспоживання міста

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 2.5.

Таблиця 2.5 – 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	76,95	1,5	139,7	2,5	398,4						
1-2	1,5	76,95	1,5	139,7	2,65	422,3						
2-3	1,5	76,95	1,5	139,7	2,2	350,6						
3-4	1,5	76,95	1,5	139,7	2,25	358,6						
4-5	2,5	128,25	2,5	232,8	3,2	510	44,5		80,7		138,6	
5-6	3,5	179,55	3,5	326	3,9	621,5	44,5		80,7		138,6	
6-7	4,5	230,85	4,5	419,2	4,5	717,2	44,5	47,6	80,7	86,5	138,6	148,5
7-8	5,5	282,15	5,5	512,3	5,1	812,8	44,5	47,6	80,7	86,5	138,6	148,5
8-9	6,67	342,17	6,33	589,7	5,35	852,7		47,6		86,5		148,5
9-10	**6,67**	**342,17**	**6,33**	**589,7**	**5,92**	**943,6**		**47,6**		**86,5**		**148,5**
10-11	6,67	342,17	6,33	589,6	5,35	852,6		47,6		86,5		148,5
11-12	6,67	342,17	6,33	589,6	5,18	825,6		47,6		86,5		148,5
12-13	5	256,50	5	465,8	4,6	733,2		47,6		86,5		148,5
13-14	5	256,50	5	465,8	4,4	701,2		47,6		86,5		148,5
14-15	4,7	241,11	5,5	512,3	4,6	733,2		47,7		86,5		148,5
15-16	6,00	307,80	6,00	558,9	4,6	733,1		47,7		86,5		148,5
16-17	5,22	267,79	6	558,9	4,9	780,9		47,7		86,5		148,5
17-18	5	256,50	5,5	512,3	4,8	765	44,5	47,7	80,7	86,5	138,6	148,5
18-19	6	307,80	5	465,7	4,7	749	44,5	47,7	80,7	86,5	138,6	148,5
19-20	4,10	210,33	4,50	419,3	4,5	717,2	44,5	47,7	80,7	86,5	138,6	148,5
20-21	4	205,20	3,68	342,8	4,4	701,2	44,5		80,7		138,6	
21-22	2,8	143,64	3	279,5	4,2	669	44,5		80,7		138,6	
22-23	2,1	107,73	2	186,3	3,6	573,7	44,5		80,7		138,6	
23-24	1,4	71,82	1,5	139,7	2,6	414,4						
Усього	100	5130,00	100	9315	100	15937	445	667	807	1211	1386	2079

продовження таблиці 2.5

Комбінат безалкогольних напоїв						Завод металоконструкцій						Усього	
Гарячий цех		Холодний цех		Душ, куб.м	Виробництво	Гарячий цех		Холодний цех		Душ, куб.м	Виробництво	куб.м	%
%	куб.м	%	куб.м			%	куб.м	%	куб.м				
				29,5	100					23	250	1017,55	2,23
					100						250	988,95	2,17
					100						250	917,25	2,01
					100						250	925,25	2,03
					100						250	1484,85	3,26
					100						250	1740,85	3,82
					100						250	2263,65	4,97
					100						250	2503,65	5,49
15,65	1,5	18,75	2,3		100	15,65	1,25	18,75	1,9		250	2424,12	5,32
12,05	**1,15**	**6,25**	**0,8**		**100**	**12,05**	**0,92**	**6,25**	**0,7**		**250**	**2511,64**	**5,51**
12,05	1,15	12,5	1,5		100	12,05	0,92	12,5	1,3		250	2421,84	5,32
12,05	1,15	12,5	1,5		100	12,05	0,92	12,5	1,3		250	2394,84	5,26
12,05	1,15	18,75	2,3		100	12,05	0,92	18,75	1,9		250	2094,37	4,59
12,05	1,15	6,25	0,8		100	12,05	0,92	6,25	0,7		250	2059,67	4,52
12,05	1,15	12,5	1,5		100	12,05	0,92	12,5	1,3		250	2124,18	4,67
12,05	1,15	12,5	1,58		100	12,05	0,92	12,5	1,3		250	2237,45	4,91
15,65	1,4	18,75	2,12	31,5	100	15,65	1,32	18,75	1,6	27	250	2305,23	5,06
12,05	1,1	6,25	0,72		100	12,05	0,82	6,25	0,6		250	2433,54	5,34
12,05	1,05	12,5	1,42		100	12,05	0,82	12,5	1,1		250	2423,39	5,32
12,05	1,05	12,5	1,41		100	12,05	0,85	12,5	1,1		250	2247,74	4,93
12,05	1,05	18,75	2,11		100	12,05	0,85	18,75	1,6		250	1868,61	4,1
12,05	1	6,25	0,72		100	12,05	0,85	6,25	0,7		250	1709,21	3,75
12,05	1	12,5	1,41		100	12,05	0,85	12,5	1,1		250	1485,89	3,26
12,05	1	12,5	1,41		100	12,05	0,85	12,5	1,1		250	980,28	2,16
200	18,2	200	23,6	61	2400	200	14,9	200	19,3	50	6000	45564,00	100,00

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК МІСЬКОЇ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ

3.1 Визначення шляхових та вузлових витрат

З урахуванням рельєфу місцевості водонапірна башта підключена до мережі у найвищому місці на позначці 80,0 м – з боку вузла приєднання водоводів до мережі. До розрахунку приймається схема з баштою на початку мережі. Водопровідна мережа розраховується на 2 режими - режим максимального водоспоживання та режим пожежегасіння в годину максимального водоспоживання. Розрахунок води на пожежегасіння виконується згідно [25, п. 6.2.2] і становить 147,5 л/с. (25, п. 6.2.2). Питома витрата для і-го району при максимальному водоспоживанні визначається за формулою:

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

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.

1-й район $q_{пит.1} = \dfrac{389.77 / 3{,}6}{5940} = 0{,}03 л / с \cdot м$;

2-й район $q_{пит2} = (676.2 / 3.6) / 3845 = 0{,}05 л / с \cdot м$;

3-й район $q_{пит2} = (1092.1 / 3.6) / 4970 = 0{,}06 л / с \cdot м$

Шляхові витрати ділянок визначені за формулою:

$$Q_{шл} = q_{пит.i} \times l_{діл}, \tag{3.2}$$

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

№ 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	5
1	1-2	8,91	14,31	7,16
	1-5	5,40		
2	1-2	5,40	29,43	14,72
	2-3	17,28		
	2-6	6,75		
3	2-3	6,75	37,53	18,77
	3-4	9,18		
	3-7	21,60		
4	3-4	9,18	22,68	11,34
	4-8	13,50		
5	1-5	8,91	40,61	20,31
	5-9	14,54		
	5-6	17,16		
6	5-6	14,54	80,81	40,41
	6-7	18,96		
	2-6	30,03		
	6-10	17,28		
7	6-7	18,96	96,98	48,49
	7-8	22,10		
	3-7	21,60		
	7-12	34,32		
8	4-8	22,10	52,76	26,38
	7-8	13,50		
	8-13	17,16		
9	5-9	17,16	81,13	40,57
	9-14	38,00		
	9-10	25,97		
10	6-10	38,00	90,03	45
	9-10	22,00		
	10-11	30,03		
11	10-11	22,00	86,40	43,2
	11-15	20,00		
	11-12	44,40		
12	11-12	20,00	166,32	83,16
	12-13	40,00		

	12-16	34,32		
	7-12	72,00		
13	12-13	72,00	96,16	48,08
	13-17	17,16		
	8-13	40,00		
14	14-15	39,00	49,97	25
	9-14	25,97		
1	2	3	4	5
15	15-16	24,00	89,40	44,7
	11-15	24,00		
	14-15	21,00		
16	15-16	21,00	109,20	54,6
	12-16	16,20		
	16-17	72,00		
17	17-13	16,20	55,20	27,6
	16-17	39,00		
Усього		39,00	1198,92	599,46

Сумарні шляхові витрати для режиму максимального водорозбору по двох районах становлять: $\sum Q_{шл}$ =599,46 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	5
1	1-2	8,91	14,31	7,16
	1-5	5,40		
2	1-2	5,40	29,43	14,72
	2-3	17,28		
	2-6	6,75		
3	2-3	6,75	37,53	18,77

4	3-4	9,18	22,68	11,34
	4-8	13,50		
5	1-5	8,91	40,61	20,31
	5-9	14,54		
	5-6	17,16		
6	5-6	14,54	80,81	40,41
	6-7	18,96		
	2-6	30,03		
	6-10	17,28		
7	6-7	18,96	96,98	48,49
	7-8	22,10		
	3-7	21,60		
	7-12	34,32		
8	4-8	22,10	52,76	26,38
	7-8	13,50		
	8-13	17,16		
9	5-9	17,16	81,13	40,57
	9-14	38,00		
	9-10	25,97		
10	6-10	38,00	90,03	45
	9-10	22,00		
	10-11	30,03		
11	10-11	22,00	86,40	43,2
	11-15	20,00		
	11-12	44,40		
12	11-12	20,00	166,32	83,16
	12-13	40,00		
	12-16	34,32		
	7-12	72,00		
13	12-13	72,00	96,16	48,08
	13-17	17,16		
	8-13	40,00		
14	14-15	39,00	49,97	25
	9-14	25,97		
15	15-16	24,00	89,40	44,7
	11-15	24,00		
	14-15	21,00		

16	15-16	21,00	109,20	54,6
	12-16	16,20		
	16-17	72,00		
17	17-13	16,20	55,20	27,6
	16-17	39,00		
Усього		39,00	1198,92	599,46

3.2 Схеми початкового потокорозподілу для гідравлічних режимів роботи мережі

Початковий потокорозподіл для випадку максимального водоспоживання показано на рис. 3.1, для випадку пожежі при максимальному водоспоживанні – на рис. 3.2.

3.3 Гідравлічний розрахунок мережі

У результаті проведеного гідравлічного розрахунку, відповідно до прийнятих діаметрів трубопроводів, визначено фактичні витрати води на окремих ділянках мережі, а також втрати напору під час транспортування води. Отримані значення втрат напору задовольняють умови другого закону Кірхгофа, що дозволяє обчислити п'єзометричні позначки та фактичні вільні напори у всіх вузлах системи. Це, своєю чергою, дає змогу визначити необхідний напір насосного обладнання, яке подає воду в мережу, а також розрахувати оптимальну висоту водонапірної башти. Результати гідравлічного розрахунку наведено в таблицях 3.3 та 3.4.

3.4 Визначення п'єзометричних позначок та вузлових тисків

Розрахункові п’єзометричні позначки визначені після встановлення невигідної точки – вузла мережі, який потребує найбільшої п’єзометричної

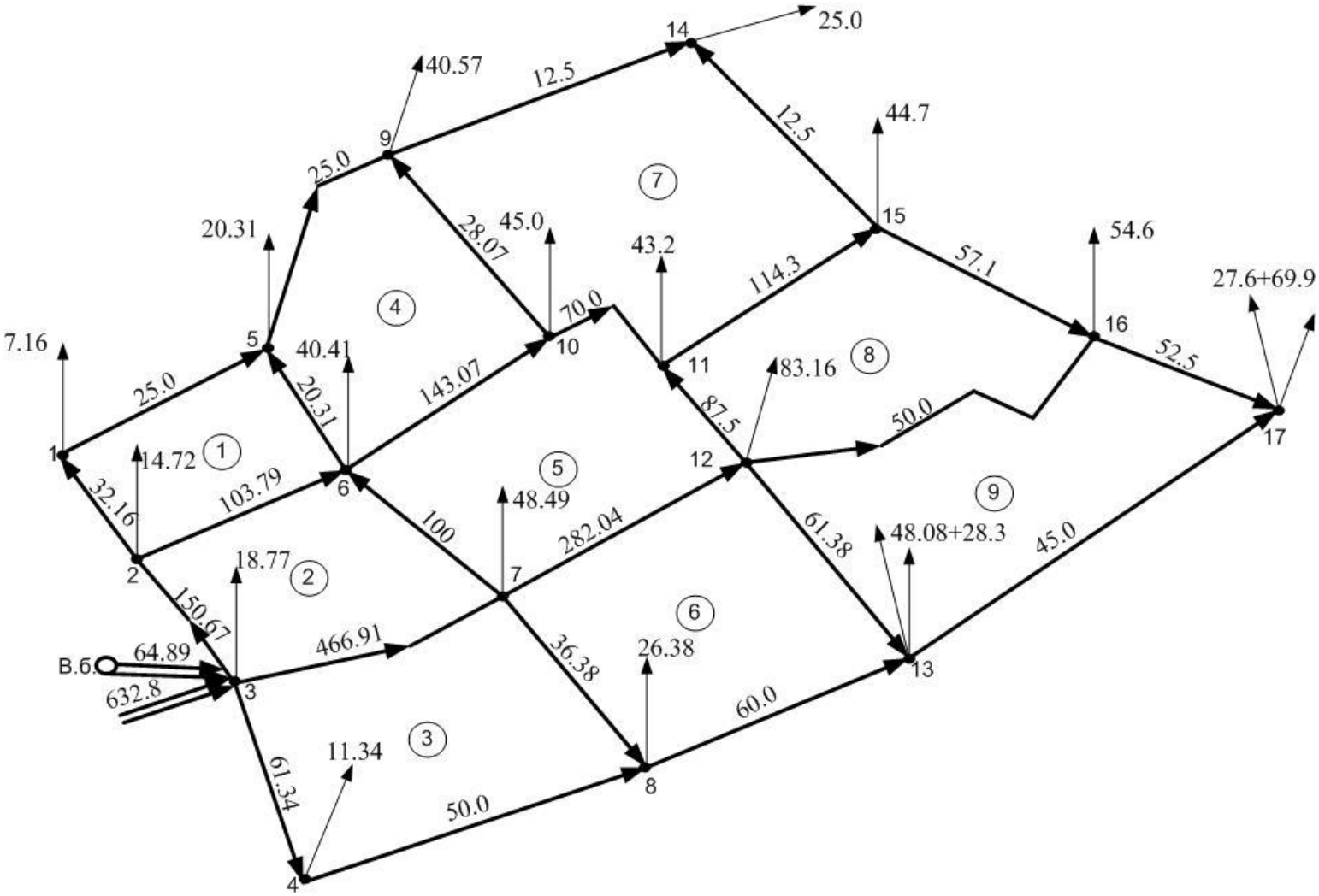


Рис. 3.1 – Схема початкового потокорозподілу для режиму максимального водоспоживання

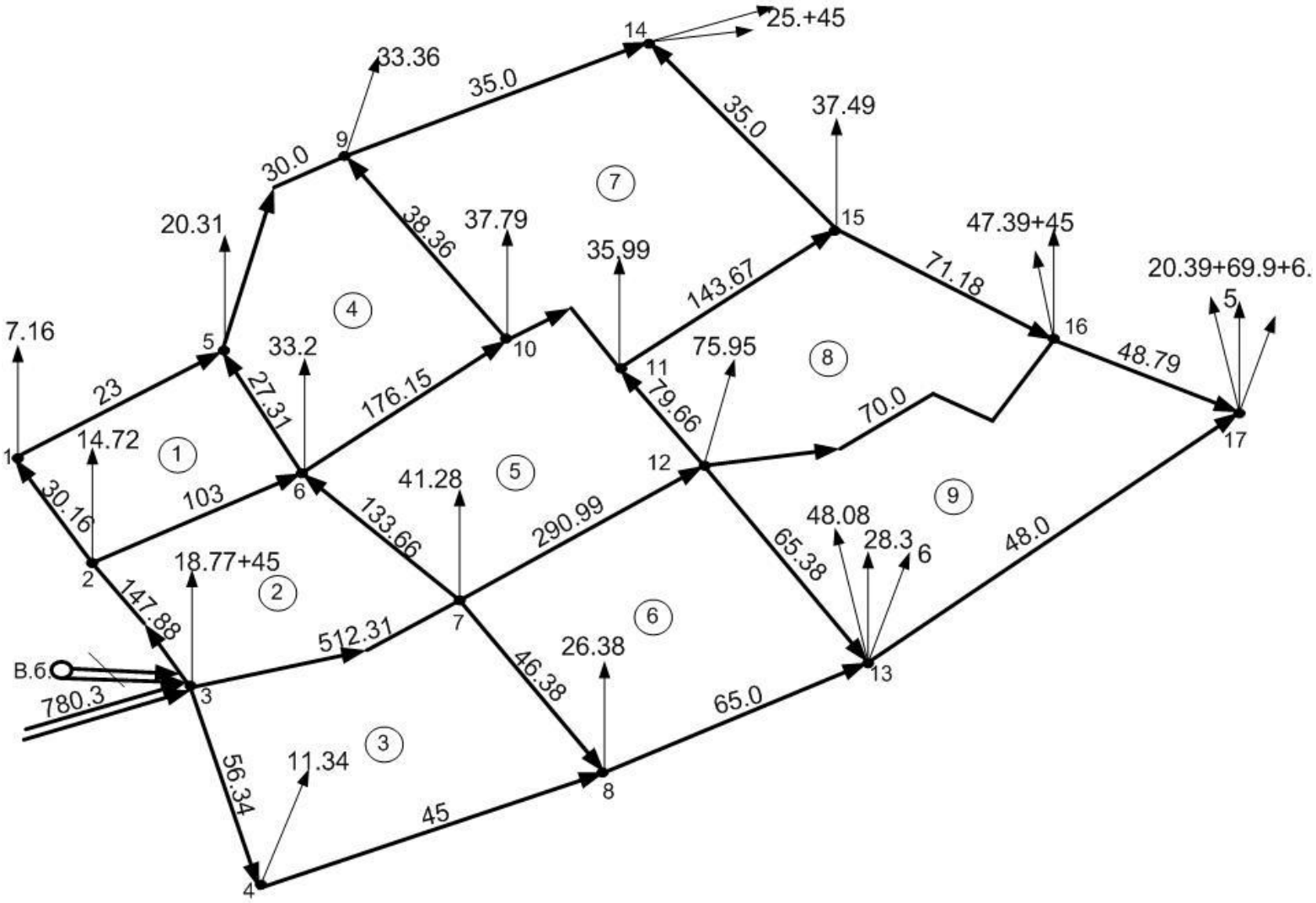


Рис. 3.2 – Схема початкового потокорозподілу при пожежогасінні

```
e=  .01000  nk=  9  ny= 25
                                        Вихідні дані
 ny   ly     q      dt    m  ny   ly     q      dt    m  ny   ly     q      dt    m
  1  400.00  32.16 200.00 c   2  500.00 150.67 450.00 ·   3  680.00  61.34 300.00 c
  4  460.00  20.31 150.00 c   5  600.00 100.00 400.00 c   6  700.00  36.38 250.00 c
  7  760.00  28.07 200.00 c   8  440.00  70.00 350.00 c   9  400.00  87.50 350.00 c
 10  800.00  61.38 300.00 c  11  800.00  12.50 250.00 c  12  700.00  57.10 300.00 c
 13  540.00  52.50 250.00 ·  14 1000.00  50.00 250.00 ·  15  800.00 466.91 800.00 ·
 16  640.00 103.79 350.00 ·  17  660.00  25.00 200.00 ·  18  800.00  60.00 300.00 ·
 19  800.00 282.04 600.00 ·  20  700.00 143.07 450.00 ·  21  800.00  25.00 200.00 ·
 22 1300.00  45.00 250.00 ·  23 1200.00  50.00 300.00 ·  24  740.00 114.30 400.00 ·
 25  900.00  12.50 150.00 ·  26     .00    .00    .00    27     .00    .00    .00
```

Таблиця 3.3 - Результати розрахунку при максимальному водоспоживанні

№	код	D, ·	L , ·	Q, · ·	V, · ·	H, ·
1	0- 1	200.00	400.00	28.67	.91	3.01
2	0- 2	450.00	500.00	121.45	.76	.94
3	3- 0	300.00	680.00	45.05	.64	1.56
4	1- 4	150.00	460.00	14.36	.81	4.06
5	2- 5	400.00	600.00	106.35	.85	1.60
6	6- 3	250.00	700.00	43.14	.88	3.68
7	4- 7	200.00	760.00	25.27	.80	4.53
8	7- 5	350.00	440.00	59.36	.62	.78
9	5- 8	350.00	400.00	97.79	1.02	1.78
10	9- 6	300.00	800.00	67.36	.95	3.85
11	7- 0	250.00	800.00	24.74	.50	1.52
12	0- 8	300.00	700.00	44.51	.63	1.57
13	0- 9	250.00	540.00	56.04	1.14	4.62
14	3- 0	250.00	1000.00	33.71	.69	3.34
15	2- 3	800.00	800.00	512.42	1.02	1.22
16	1- 2	350.00	640.00	78.05	.81	1.87
17	0- 1	200.00	660.00	21.51	.68	2.93
18	6- 0	300.00	800.00	50.48	.71	2.26
19	5- 6	600.00	800.00	314.44	1.11	2.09
20	4- 5	450.00	700.00	129.63	.82	1.49
21	0- 4	200.00	800.00	15.56	.50	1.97
22	9- 0	250.00	1300.00	41.46	.84	6.34
23	8- 9	300.00	1200.00	66.13	.94	5.58
24	7- 8	400.00	740.00	113.95	.91	2.24
25	0- 7	150.00	900.00	.26	.01	.01

```
e=  .01000  nk=  9  ny= 25
                              Вихідні дані
 ny   ly     q      dt    m  ny   ly     q      dt    m  ny   ly     q      dt    m
  1  400.00  30.16 200.00 c   2  500.00 147.88 450.00 c   3  680.00  56.34 300.00 c
  4  460.00  27.31 150.00 c   5  600.00 133.66 400.00 c   6  700.00  46.38 250.00 c
  7  760.00  38.36 200.00 c   8  440.00 100.00 350.00 c   9  400.00  79.66 350.00 c
 10  800.00  65.38 300.00 c  11  800.00  35.00 250.00 c  12  700.00  71.18 300.00 c
 13  540.00  48.79 250.00 c  14 1000.00  45.00 250.00 c  15  800.00 512.31 800.00 c
 16  640.00 103.00 350.00 c  17  660.00  23.00 200.00 c  18  800.00  65.00 300.00 c
 19  800.00 290.99 600.00 c  20  700.00 176.15 450.00 c  21  800.00  30.00 200.00 c
 22 1300.00  48.00 250.00 c  23 1200.00  70.00 300.00 c  24  740.00 143.67 400.00 c
 25  900.00  35.00 150.00 c  26     .00    .00    .00    27     .00    .00    .00
```

Таблиця 3.4 - Результати гідравлічного розрахунку при пожежогасінні

№	Код	D,мм	L , м	Q, л/с	V, м/с	H, м
1	0- 1	200.00	400.00	30.33	.97	3.34
2	0- 2	450.00	500.00	126.71	.80	1.02
3	3- 0	300.00	680.00	47.63	.67	1.73
4	1- 4	150.00	460.00	15.46	.87	4.66
5	2- 5	400.00	600.00	110.04	.88	1.70
6	6- 3	250.00	700.00	46.30	.94	4.19
7	4- 7	200.00	760.00	28.08	.89	5.51
8	7- 5	350.00	440.00	77.17	.80	1.26
9	5- 8	350.00	400.00	111.64	1.16	2.28
10	9- 6	300.00	800.00	73.03	1.03	4.48
11	7- 0	250.00	800.00	56.95	1.16	7.05
12	0- 8	300.00	700.00	58.37	.83	2.59
13	0- 9	250.00	540.00	49.94	1.02	3.72
14	3- 0	250.00	1000.00	36.29	.74	3.82
15	2- 3	800.00	800.00	542.19	1.08	1.36
16	1- 2	350.00	640.00	81.66	.85	2.04
17	0- 1	200.00	660.00	23.17	.74	3.35
18	6- 0	300.00	800.00	56.20	.80	2.76
19	5- 6	600.00	800.00	344.57	1.22	2.47
20	4- 5	450.00	700.00	143.04	.90	1.79
21	0- 4	200.00	800.00	18.32	.58	2.65
22	9- 0	250.00	1300.00	46.85	.95	7.96
23	8- 9	300.00	1200.00	83.96	1.19	8.71
24	7- 8	400.00	740.00	152.82	1.22	3.85
25	0- 7	150.00	900.00	13.05	.74	6.67

пзначки в точці підключення водоводів до мережі. Для режимf максимального водоспоживання це вузол №13, для режиму пожежогасіння в годину максимального водоспоживання – вузол №17. Отримані фактичні вільні напори у вузлах відповідають наступній умові:

$$H_{віл.потр.і} = 6 + 4n, \qquad (3.3)$$

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

3.5 Аналіз п'єзометричних карт

Для житлових кварталів першого та другого районів при $n = 9$ $H_{віл.потр.і}$=42 м, для житлових кварталів третього району при $n = 5$ $H_{віл.потр.і}$=26 м. При пожежі необхідний напір у невигідній точці $H_{віл.потр.і}$ = 10 м. П’єзометричні позначки та вільні напори у вузлах для всіх режимів наведені на п’єзометричних картах (лист №2 графічної частини роботи). За п’єзометричними позначками побудовані п’єзометричні лінії (лист№ 3 графічної частини роботи).

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ДРУГОГО ПІДЙОМУ

4.1 Визначення розрахункової подачі насосної станції

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

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

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

Для першого ступеня:

$$Q_1=45564\times 2,5/100=1139,1 м^3/год=316,4\ л/с;$$

для другого ступеня:

$$Q_2=45564\times 5/100=2278,2 м^3/год=632,8\ л/с$$

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

Для цього випадку подача одного насосу приймається:

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

$Q_н=0,55\times 1139,1=626,5$ $м^3$/год.

4.2 Вибір режиму роботи насосної станції

Режим роботи насосної станції другого підйому прийнято з урахуванням графіку водоспоживання міста, режиму роботи станції та максимально наближено до режиму водоспоживання населенням (табл. 2.6). Приймається два ступеня роботи насосної станції другого підйому: перший з 0^{00} до 5^{00} год та з 22^{00} до24^{00} год, другий - з 6^{00} до 22^{00}. Результати розрахунку приводяться в таблиці 4.1.

Повна місткість водонапірного баку:

$$W_б = W_{рег} + W_{н.з.}, \quad (4.3)$$

Таблиця 4.1 – Вибір режиму роботи насосної станції другого підйому та розрахунок регулювальні місткості

Години доби	Водоспоживання міста,%	Подача насосів,%	Витрата з баку,%	Подача в бак,%	Залишок,%
1	2	3	4	5	6
0-1	2,23	2,5		0,27	-0,27
1-2	2,17	2,5		0,33	-0,6
2-3	2,01	2,5		0,49	-1,09
3-4	2,03	2,5		0,47	-1,56
4-5	3,26	2,5	0,76		-0,8
5-6	3,82	5		1,18	-1,98
6-7	4,97	5		0,03	-2,01
7-8	5,49	5	0,49		-1,52
8-9	5,32	5	0,32		-1,2
9-10	**5,51**	**5**	**0,51**		**-0,69**
10-11	5,32	5	0,32		-0,37
11-12	5,26	5	0,26		-0,11
12-13	4,59	5		0,41	-0,52
13 -14	4,52	5		0,48	-1
14-15	4,67	5		0,33	-1,33
15-16	4,91	5		0,09	-1,42
16-17	5,06	5	0,06		-1,36
17-18	5,34	5	0,34		-1,02
18-19	5,32	5	0,32		-0,7
19-20	4,93	5		0,07	-0,77
20-21	4,1	5		0,9	-1,67
21-22	3,75	2,5	1,25		-0,42
22-23	3,26	2,5	0,76		0,34
23-24	2,16	2,5		0,34	0
Усього	100,00	100	5,39	5,39	

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

$W_{рег} = |0.34| + |-2.01| = 2.35\%$

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

$$W_{н.з..} = 0{,}6\ \left(q_{н} + q_{вн}{}_{,}\right), \tag{4.4}$$

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

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

$$\mathrm{W_{рег}} = \mathrm{W} \times \mathrm{Q_{заг}} / 100,$$

$$W_{рег} = 2.35 \times 45564/100 = 1070{,}8 \text{ м}^3,$$

$$W_{б} = 1070.8 + 27 = 1097.8 \text{ м}^3$$

Діаметр баку водонапірної башти:

$$D_{б} = \sqrt[3]{W_{б} / 0{,}55}, \tag{4.5}$$

$$\mathrm{D_{б}} = \sqrt[3]{1097.8 / 0{,}55} = 12.6 м.$$

Висота шару води в баці:

$$H_{б} = 4W_{б} / (\pi D_{б}^{2}), \tag{4.6}$$

$$H_{б} = 4 \times 1097.8 / (3{,}14 \times 12{,}6^{2}) = 8.8 м.$$

З огляду на необхідний будівельний запас загальна висота баку приймається 9,0 м.

4.3 Визначення діаметрів всмоктувальних і напірних водоводів

Відпвідно до[25, п.11.5] 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. Всмоктувальні лінії виконуються із сталевих труб.

Розрахункова витрат кожного із всмоктувальних водоводів визначається за формулою:

$$Q_{вс.в}=Q_{макс.\ н.\ ст.}/(n_{вс}-1), \quad (4.7)$$

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

$n_{вс}$ – кількість всмоктувальних водоводів

$$Q_{вс.в}=632,8/(2-1)=632,8 \text{ л/с}.$$

Приймаються водоводи діаметром Д=800 мм, v=1,24 м/с, 1000i=2,21, що відповідає вимогам [1].

Число напірних водоводів приймається рівним 2 [25. п.11.6]. Розрахункова витрата води по кожному із водоводів:

$$Q_{н.в}=Q_{макс.\ н.\ ст.}/n_{н}, \quad (4.8)$$

де $n_н$ – кількість напірних водоводів.

$$Q_{н.в}= 928 /2=464 \text{ л/с}$$

Приймаються сталеві напірні водоводи діаметром Дн=600 мм, v=1,06 м/с, 1000i=2,3, що відповідає вимогам [25, п.11.9, табл. 34].

4.4 Визначення розрахункового напору насосів

Для попереднього розрахунку необхідний напір насосів визначається за формулою:

$$H = H_{ст} + h_{в.в} + h_{н.с.} + h_{вдм} + h_{н.в.} + h_{м}, \quad (4.9)$$

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 напір:

$$H_{ст} = Z_2 - Z_1, \quad (4.10)$$

де Z_2 – абсолютна максимальна позначка підйому води, м;

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

$$H_г = 129.16 - 68.1 = 61.06 м$$

Втрати напору у всмоктувальних водоводах при максимальному водоспоживанні:

$$h_{в.в} = 1,1 \times i \times l, \quad (4.11)$$

де i – питомі втрати напору;

l – довжина водоводу.

$h_{в.в}$=1,1×0,00221×45=0,11 м;

Втрати напору у напірних водоводах при максимальному водоспоживанні:

$h_{н.в}$ =1,1×0,0023×2700=6,8 м;

$$H = 61.06 + 0.11 + 2.0 + 1.5 + 6.8 = 71.5м .$$

Для першого ступеня

$Q_1 = 2.5 \times 45564 / 100 = 1139.1м^3 / год = 316,4л / с$

$h_{н.в.} = 1,1 \times 0,65 \times 10^{-3} \times 2700 = 1,93м$

$H_1 = 67м$

4.5 Розрахунок режиму роботи насосної станції при пожежегасінні

Розрахункова подача насосної станції при пожежі:

$$Q^{/}_{н.ст} = Q_{н.ст.} + Q_п \qquad (4.12)$$

де $Q_{н.ст.}$ – розрахункова подача насосної станції для години максимального споживання, =632,8 л/с;

$Q_п$ – розрахункова витрата на пожежегасіння, = 150 л/с.

$Q_{н.ст.}$ =632,8+147,5=780,3 л/с.

Напір насосів при пожежогасінні:

$$H_п = Zн.т. + Hв + hв.п + hм.п. - Zр \qquad (4.13)$$

де $Z_{н.т}$ – абсолютна позначка невігідної точки при пожежі, $Zн.т$=75,0 м;

$H_в$ – вільний напір в невигідній точці при пожежі, $Hсв$=10 м;

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

$$hв.п = 1,1 \times 0,00355 \times 2700 = 10,5 м;$$

$h_{м.п}$ – втрати напору в мережі від невигідної точки до точки підключення водоводів до мережі, $h_{м.п}$=16,27 м;

$Z_р$ – абсолютна позначка дна резервуару, $Z_р$=68.5 м.

$H_{п}$ =75,0+10+10,5+16,27-68.5=43.3 м.

$H \geq Hn$, то режим роботи насосної станції у випадку пожежі може бути забезпечений насосами, підібраними для випадку максимального водоспоживання за рахунок зниження їх напору.

4.6 Підбір насосів та електродвигунів до них

Подача першого та другого ступеня Q_1 , Q_2 та напори $H'_р$, $H''_р$ забезпечуються роботою на I ступені двох, а на II ступені паралельною роботою чотирьох насосів марки Д630-90 (n=1450 об/хв).

В машинному залі насосної станції встановлюється 4 робочих та два резервних насоси марки Д630-90.

Потужність, необхідна для приводу насосу, визначається за формулою:

$$p_н = \kappa \times \rho \times q \times Q \times H / (1000 \times \eta_H \times \eta_п), \quad (4.14)$$

де κ – коефіцієнт запасу, рівний 1.1;

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

Q – подача насосу, $Q = \kappa_м Q_H$ м^3/с[4],

$Q = \kappa_м Q_H$ =1,25×0,18=0,225 $м^3/с$;

H – напір насосу, що відповідає Q,, H=73м. ;

η_H – ККД насосу, що відповідає Q , η_H =0,74;

η_n – ККД передачі, η_n =1.

$$p_н = 1{,}1 \times 1000 \times 9{,}8 \times 0{,}225 \times 73/(1000 \times 0{,}74 \times 1) = 239.3 кВт.$$

Приймається електродвигун марки А4-355-L4 У3, Т3 потужністю N-250 кВт.

4.7 Визначення позначок вісі насосів і долу насосної станції

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

Позначка верха насосу:

$$Zв.н = Zпож. - 0{,}5, \qquad (4.15)$$

де Zпож – позначка пожежного рівню у РЧВ, м, Zпож=68,1 м;

Zв.н=69.6-0,5=69.1 м.

Позначка вісі насосу:

$$Zвс = Zв.н. - A, \qquad (4.16)$$

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

$$Zвс = 69.1 - 0{,}42 = 68.7 м$$

Позначка верха фундаменту:

$$Zф = Zвс - Ал, \qquad (4.17)$$

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

$$Zф = 68.7 - 0{,}63 = 68.1 м.$$

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

$$Zn=68.1-0,5=67.6м.$$

Мінімальне заглиблення насосної станції повинно складати:

$$h=71-67.6=3.4\ м.$$

В роботі заглиблення насосної станції приймається 3,6 м.

4.8 Визначення висоти машинного залу та підбір вантажопідйомного обладнання

Мінімальна висота машинного залу визначається за формулою:

$$H=h_1+h_2+h_3+h_4+h_5+0,5, \quad (4.19)$$

де h_1 – висота монорельсу, h_1 =0,38 м, 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 =3,29м;

h_5 – максимальна висота встановленого обладнання, h_5 =1,75м.

$$H=0,38+0,755+1+3,29+1,75+0,5=7,7\ м$$

Відповідно до рекомендацій [26] висота машинного залу приймається 8,4 м.

З урахуванням того, що головна маса встановленого обладнання знаходиться в межах m=1000-5000кг, в якості підіймального обладнання приймається кран-балка з ручним електроприводом.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз сучасного стану міських водопровідних мереж, виявлено основні проблеми, зокрема високі втрати води, зношеність трубопроводів та недостатню енергоефективність насосного обладнання.
2. Оцінено економічні та екологічні наслідки нераціональної експлуатації систем водопостачання, що підкреслює необхідність модернізації інженерної інфраструктури.
3. Здійснено гідравлічний розрахунок продуктивності мережі з урахуванням режимів максимального споживання та пожежогасіння, визначено ключові гідравлічні параметри — витрати, втрати напору, п’єзометричні позначки та вільні напори.
4. Побудовано гідравлічну модель системи транспортування води з урахуванням топології мережі, характеристик споживачів та експлуатаційних режимів.
5. Проведено розрахунок насосної станції другого підйому, визначено необхідні технічні характеристики обладнання та обґрунтовано його вибір для забезпечення надійного тиску в системі.

Отримані результати можуть бути використані для модернізації наявних водопровідних мереж або під час проєктування нових систем міського водопостачання. Запропоновані технічні рішення спрямовані на зниження втрат води, підвищення енергоефективності та забезпечення безперебійного водопостачання населених пунктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гіпп Т.Р. Технічний стан систем централізованого водопостачання та водовідведення. URL: https://cleanwater.org.ua/tehnichnyj-stan-system-tsentralizovanoho-vodopostachannya-ta-vodovidvedennya/?utm_source=chatgpt.com

2. Правильний вибір каналізаційніх елементів. URL: https://teploradost.com.ua/ua/pravylnyj-vybir-kanalizacijnyh-elementiv

3. З чого роблять азбестоцементні труби? URL: https://beregbud.com.ua/z-chogo-roblyat-azbestocementni-trubi/

4. Поліетиленові труби – найкращі для забезпечення довговічності та надійності систем. URL: https://www.blitz.if.ua/news/polietilenovi-trubi-naykrashchi-dlya-zabezpechennya-dovgovichnosti-ta-nadiynosti-sistem

5. T. Sydor, V. Orel. Variation of hydraulic resistance in pressure pipelines of an open-type hydraulic system. *Energy Engineering and Control Systems*, 2024, Vol. 10, No. 1, pp. 13 – 18. https://doi.org/10.23939/jeecs2024.01.013

6. Гідравлічний удар в трубах: і шкода, і користь. URL: https://etp.com.ua/ua/articles/gidravlicheskij-udar-v-trubah-i-vred-i-polza?utm_source=chatgpt.com

7. Гідравлічний удар: причини, наслідки та способи запобігання. URL: https://admiralzavod.com/gidravlichnyj-udar-prychyny-naslidky-ta-sposoby-zapobigannya/?utm_source=chatgpt.com

8. Забруднення води: види, джерела, наслідки. URL: https://akvantis.com.ua/stati-i-obzory/tipy-zagryazneniya-vody-i-ih-posledstviya-ua

9. Захворювання, пов’язані з водою, в Україні.
URL: https://uozter.gov.ua/ua/pages/291
10. Вплив хімічних речовин на здоров`я. URL: https://bhealthyclinic.com.ua/news/vliyanie-khimicheskikh-veshchestv-na-zdorove/
11. Як зменшити забруднення води? URL:https://buvrtysa.gov.ua/newsite/?p=12724
12.Мацієвська О. О. Дослідження якості води у розподільній мережі системи централізованого водопостачання м. Львів DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56225
13. Загальні поняття про втрати напору. URL: https://yak.koshachek.com/articles/zagalni-ponjattja-pro-vtrati-naporu.html
14. Норми споживання води. URL: https://kyiv.poverka.net.ua/normy-spozhyvannya-vody-ukrayina/
15. Павлов Є., Ліфанов О. Зміна якості питної води і опору трубопроводу при транспортуванні її по водопровідних трубах. DOI: https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.38.50-54URL: http://wateruse.org.ua/article/view/254292
16. Труби для водопостачання: сучасні тенденції та нові розробки в галузі.
URL : https://www.gammaplast.kiev.ua/truby-dlia-vodopostachannia-suchasni-tendentsii-ta-novi-rozrobky-v-haluzi/?utm_source=chatgpt.com
17. Критичний стан водопровідно-каналізаційної галузі України в умовах невизначеності джерел фінансування підприємств.
URL : https://www.ukrinform.ua/rubric-presshall/3846861-kriticnij-stan-vodoprovidnokanalizacijnoi-galuzi-ukraini-v-umovah-neviznacenosti-dzerel-finansuvanna-pidpriemstv.html
18. Проєктування та встановлення напірних поліетиленових труб: Ключові аспекти для успішної реалізації проєкту.

URL : https://www.gammaplast.kiev.ua/proektuvannia-ta-vstanovlennia-napirnykh-polietylenovykh-trub-kliuchovi-aspekty-dlia-uspishnoi-realizatsii-proektu/

19. Pressure Management: a cost tffective water loss strategy/. URL : https://iwa-network.org/pressure-management-a-cost-effective-water-loss-strategy/

20. Tsitsifli Stavroula. Reducing non-revenue water in urban water distribution networks using DSS tools. URL : https://www.researchgate.net/publication/322988892_Reducing_non-revenue_water_in_urban_water_distribution_networks_using_DSS_toolsSiemens

21. Matthew Benjamin. Enhancing Water Supply Systems with PLC & SCADA: A Smart Automation Approach. URL : https://www.researchgate.net/publication/388837182_Enhancing_Water_Supply_Systems_with_PLC_SCADA_A_Smart_Automation_Approach

22. Stefan Ziemendorff . Smart Water Management. Digital applications to reduce non-revenue water and increase the energy efficiency of water utilities in countries with emerging markets and developing economies. 2nd Edition. URL : DOI:10.5281/zenodo.6625804

23. Water loss control. URL : https://www.awwa.org/resource/water-loss-control/

24. Втрати питної води та як їх уникнути. URL : https://sebakmt.com/uk/trinkwasserverlusten-und-deren-vermeidung/

25. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація). URL: https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2018/08/1084_DBN_V.2.5-74_2013-DREAMDIM.pdf

26. Добровольська О. Г. Насосні та повітродувні станції : конспект лекцій для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. 91 с.