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: **«Комплексне проєктування мережі водопостачання з урахуванням сучасних технологій моніторингу»**

Виконала: бакалавр 4 курсу, група 6.1922-мім-з
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Водопостачання та водовідведення»
О.В. ШТОГРІНА

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

Рецензент: професор кафедри промислового та
цивільного будівництва, докт. техн. наук В.А. 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 В.А. Банах
«01» 03 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Штогріній Ользі Валеріївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) *Комплексне проєктування мережі водопостачання з урахуванням сучасних технологій моніторингу*
затверджено наказом ЗНУ від «23» грудня 2025 року № 1832-с
2. Строк подання студентом роботи: *15.05.2026*
3. Вихідні дані до роботи: *генплан населеного пункту (додаток 1) та характеристика забудови і підприємств*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *1. Технологічні основи проєктування мереж водопостачання в умовах повоєнної відбудови. 1.1 Сучасний стан та проблеми водопостачання в міських населених пунктах. 1.2 Нормативно-правова база та принципи комплексного проєктування водопровідних мереж. 1.3 Технології моніторингу за станом інженерних мереж. 1.4 Особливості та завдання реконструкції й модернізації водопровідних мереж у повоєнний період. 2. Вихідні дані для проєктування мережі. 2.1 Коротка характеристика міста та умов водоспоживання. 2.2 Визначення добових розрахункових витрат води. 2.3 Режим водоспоживання міста. 3. Проєктування мережі водопостачання. 3.1 Визначення місткостей регулювальних резервуарів. 3.2 Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі. 3.2.1 Визначення питомих, шляхових та вузлових витрат. 3.2.2 Початковий потокорозподіл та вихідні розрахункові схеми мережі. 3.2.3 Гідравлічнаий розрахунок водопровідної мережі для режиму максимального водоспоживання. 3.2.4 Визначення п'єзометричних позначок і вільних напорів у вузлах мережі. 3.3 Зонування мережі. 3.3.1 Розрахунок питомих, шляхових та вузлових витрат при зонуванні мережі. 3.3.2 Розробка розрахункової схеми мережі при зонуванні. 3.3.3 Гідравлічний розрахунок мережі з урахуванням*

зонування. 4. Технологічні параметри насосної станції. 4.1 Насосна станція другого підйому централізованій мережі міста. 4.1.1 Визначення розрахункової подачі насосів. 4.1.2 Визначення діаметрів всмоктувальних та напірних водоводів. 4.1.3 Визначення розрахункового напору насосів. 4.1.4 Підбір насосів та електродвигунів до них. 4.2 Насосна станція другого підйому при паралельній схемі зонування. 4.2.1 Умови забору та подачі води. 4.2.2 Визначення розрахункового напору насосів. 4.2.3 Вибір насного обладнання та електродвигунів. ВИКО

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *1,1 міста. 2,3. П'єзометричні карти та п'єзометричні лінії для розрахункових режимів мере П'єзометричні карти та п'єзометричні лінії при зонуванні мережі. 6. Регулювальні міс*

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	Примі
№	**Вид роботи**		
1	Розділ 1. Технологічні основи проєктування мереж водопостачання в умовах повоєнної відбудови	08.03.26	
2	Листи 1-2.	30.03.26	
3	Розділ 2. Вихідні дані для проєктування мережі	10.04.26	
4	Листи 3,4.	15.04.26	
5	Розділ 3. Проєктування мережі водопостачання	25.04.26	
6	Розділ 4. Технологічні параметри насосної станції	05.05.26	
7	Листи 5, 6.	15.05.26	
8	Презентація. підготовка доповіді.	19.05.26	
9	Попередній захист	20.05.26	

Студентка _____ О.В. Штогріна
(підпис) (ініціали та прізвище)

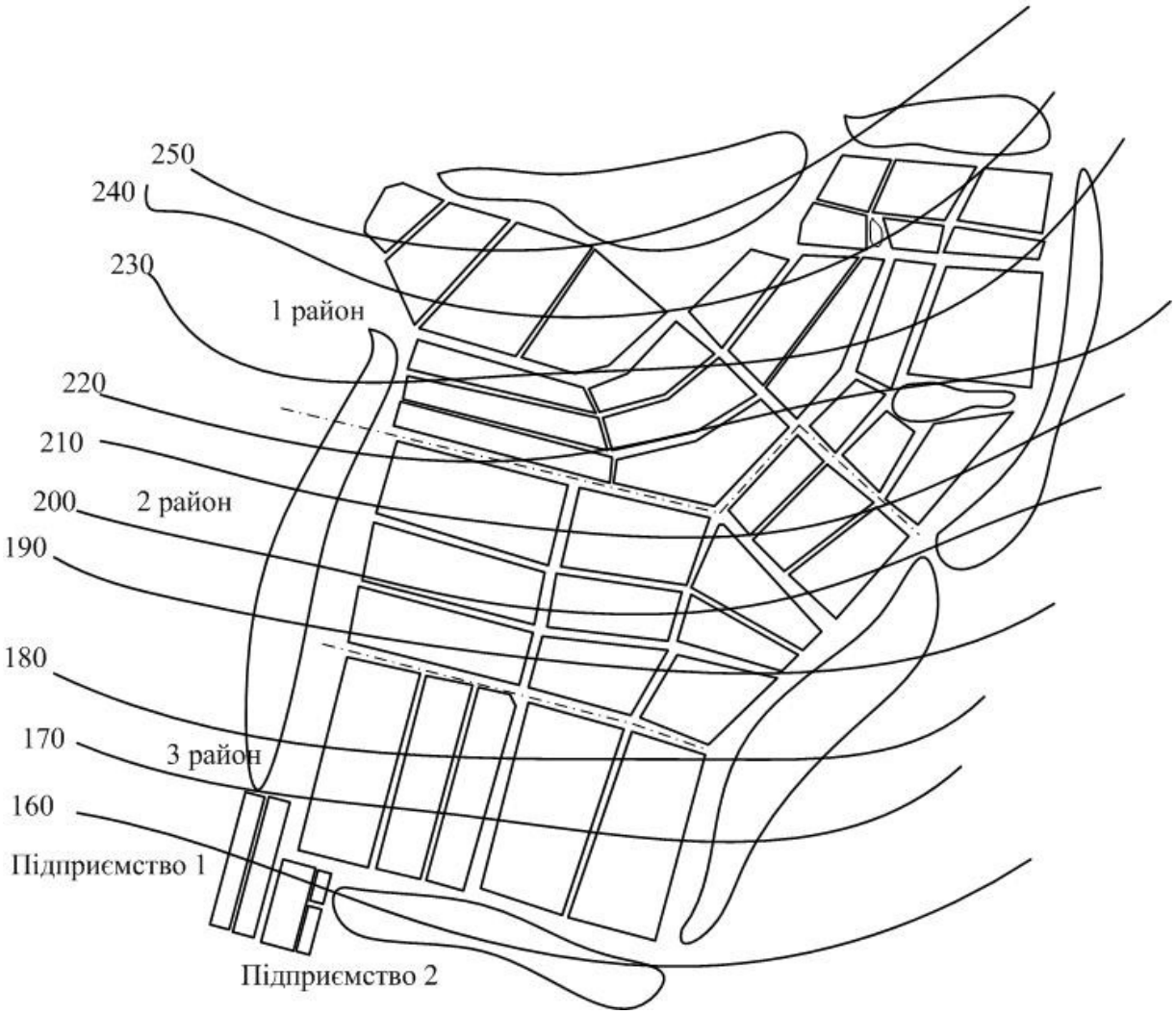
Керівник роботи _____ О.Г. Добровольська
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

Додаток 1

ГЕНЕРАЛЬНИЙ ПЛАН М 1:10000



Додаток 2

Таблиця 1 – Характеристика забудови

Район міста	Кількість поверхів	Щільність населення, чол/га	Ступінь благоустрою
Перший район	4	300	внутрішній водопровід, каналізація та централізоване гаряче водопостачання
Другий район	6	400	внутрішній водопровід, каналізація та централізоване гаряче водопостачання
Третій район	9	480	внутрішній водопровід, каналізація та централізоване гаряче водопостачання
Усього			

Таблиця 2 – Особливсті підприємств

№ підпр.	Кількість працюючих по змінах	Кількість працюючих в гар. цехах, %	Характеристика технологічного процесу	Витрати води на промислов і потреби, $м^3$/доб	Об'єм найбільшої будівлі	Ступінь вогнестійкості конструкцій
№ 1	800 400 600	20%	Іб, Іа	8000	25	II категорія В
№ 2	600 400	35%	IIг, IIв	5000	25	II категорія Б

ЗМІСТ

ВСТУП …...……8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖ ВОДОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ…….……9
1.1 Аналіз сучасного стану та основних проблем функціонування мереж транспортування води у міських населених пунктах 9
1.2 Нормативно-правові засади та підходи до комплексного проєктування мереж водопостачання 11
1.3 Сучасні методи контролю та моніторингу технічного стану інженерних мереж …….....14
1.4 Особливості відновлення, реконструкції та модернізації водопровідних мереж у період повоєнної відбудови 19
РОЗДІЛ 2. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ …….…...23
2.1 Коротка характеристика міста та умов водоспоживання ……..……..23
2.2 Визначення добових розрахункових витрат води …… 24
2.3 Режим водоспоживання міста ...…… 28
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ ВОДОПОСТАЧАННЯ ……30
3.1 Визначення місткостей регулювальних резервуарів …… 30
3.2 Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі …… 36
3.2.1 Визначення питомих, шляхових та вузлових витрат ……36
3.2.2 Початковий потокорозподіл та вихідні розрахункові схеми мережі ……... 39
3.2.3 Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі для режиму максимального водоспоживання ……..... 42
3.2.4 Визначення п’єзометричних позначок і вільних напорів у вузлах мережі …. 44
3.3 Зонування мережі…… 45

3.3.1 Розрахунок питомих, шляхових та вузлових витрат при зонуванні мережі .. 46
3.3.2 Розробка розрахункової схеми мережі при зонуванні …….....47
3.3.3 Гідравлічний розрахунок мережі з урахуванням зонування ……48
РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ……67
4.1 Насосна станція другого підйому при централізованій мережі міста ……67
4.1.1 Визначення розрахункової подачі насосів ……67
4.1.2 Визначення діаметрів всмоктувальних та напірних водоводів ……...69
4.1.3 Визначення розрахункового напору насосів …….....70
4.1.4 Підбір насосів та електродвигунів до них ……72
4.2 Насосна станція другого підйому при паралельній схемі зонування ……74
4.2.1 Умови забору та подачи води …….74
4.2.2 Визначення розрахункового напору насосів ……...75
4.2.3 Вибір насосного обладнання та електродвигунів ……..77
ВИСНОВКИ……...77
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ ……80
ДОДАТКИ ……82

ВСТУП

Актуальність кваліфікаційної роботи полягає у необхідності забезпечення ефективного та надійного функціонування систем водопостачання в умовах нерівномірного водоспоживання, зростання вимог до якості послуг і раціонального використання ресурсів. Особливого значення набуває виконання точних гідравлічних розрахунків і зонування мережі водопостачання, що дозволяє забезпечити стабільний тиск у системі, підвищити надійність її роботи та знизити експлуатаційні витрати. Додатково сучасні засоби моніторингу можуть використовуватись для контролю технічного стану мереж і оперативного виявлення можливих відхилень у роботі системи

Метою кваліфікаційної роботи є комплексне проєктування мережі водопостачання з виконанням гідравлічних розрахунків та обґрунтуванням оптимального зонування системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:** проаналізувати сучасний стан систем водопостачання; визначити розрахункові витрати води та режим водоспоживання міста; виконати гідравлічний розрахунок водопровідної мережі; визначити місткість регулювальних резервуарів; виконати зонування водопровідної мережі; визначити параметри насосної станції та підібрати насосне обладнання; розглянути можливість організації моніторингу тиску у вузлах мережі.

Об’єкт дослідження – мережа водопостачання міського населеного пункту.

Предмет дослідження – процес проєктування та функціонування водопровідної мережі.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів під час проєктування нових та реконструкції наявних мереж водопостачання міських населених пунктів.

РОЗДІЛ 1. . ТЕОРЕТИЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖ ВОДОПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ ПОВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ

1.1 Аналіз сучасного стану та основних проблем функціонування мереж транспортування води у міських населених пунктах

Водопостачання є однією з базових інфраструктурних систем життєзабезпечення міст і значною мірою визначає якість життя населення, економічну активність та санітарно-гігієнічні умови. У сучасних умовах міські системи водопостачання зазнають суттєвих навантажень через зростання населення, урбанізацію, зміни клімату та погіршення стану інженерних мереж.

Системи централізованого водопостачання функціонують у більшості великих міст України та забезпечують питною водою значну частину населення. За даними Міністерства розвитку громад та територій України, загальна довжина водопровідних мереж у містах України перевищує 67 тис. км, при цьому понад 35–40 % трубопроводів перебувають у незадовільному технічному стані та потребують реконструкції або заміни [15, с. 18]. Значна частина мереж була прокладена у 1960–1980 роках і на сьогодні перевищила нормативний строк експлуатації.

До повоєнного періоду багато українських міст уже мали застарілі водопровідні та водоочисні споруди, збудовані ще в XX сторіччі. Трубопроводи з металевих і азбестоцементних матеріалів мають високий рівень корозії та втрат води. Часті пориви, протікання, інфільтрації ґрунтових вод в мережі та невпорядковані перепідключення призводять до значних технічних і економічних втрат води. За даними профільних досліджень, у деяких містах втрати в мережі сягають понад 30–40 % від поданої води.

В умовах великих промислових міст проблема зношеності мереж є особливо актуальною. Зокрема, у місті Запоріжжі загальна протяжність водопровідних мереж становить понад 2 500 км, з яких значна частина експлуатується понад 30–40 років. Це призводить до підвищеної аварійності, втрат води та зростання витрат на експлуатацію системи водопостачання [2, с. 24].

Повномасштабна війна 2022–2025 років значно ускладнила ситуацію. Інфраструктурні об’єкти водопостачання були пошкоджені або зруйновані внаслідок бойових дій, обстрілів і мінування. Руйнування водозаборів, насосних станцій, резервуарів і магістральних водопроводів призвели до тривалого перебоїв у подачі питної води в багатьох містах і селищах. У критичних випадках мешканці були змушені користуватися привозною водою з ємностей, що створює додаткові логістичні та санітарні ризики.

Серед основних проблем, які наразі стоять перед системами водопостачання в міських умовах, можна виділити такі:

1. Фізичне зношення мереж і обладнання – велика частина трубопроводів та насосних агрегатів експлуатується понад проєктний термін, що підвищує ризик аварій і зменшує надійність подачі води.

2. Високі втрати води в мережі - через протікання, несанкціоновані підключення та недостатній контроль тиску, що призводить до економічних збитків і перевитрат енергоресурсів.

3. Нерівномірність тиску в системі - відсутність автоматичного регулювання тиску призводить до дефіциту подачі на верхніх поверхах будинків та надмірного тиску в низьких точках мережі.

4. Проблеми якості води - недостатній рівень очистки, руйнування захисних покриттів на трубах та інфільтрація забруднень можуть спричиняти погіршення якості питної води, що становить ризик для здоров'я населення.

5. Логістичні складнощі повоєнного періоду – руйнування транспортної інфраструктури, обмеження доступу до джерел води, дефіцит матеріалів і обладнання ускладнюють відновлення та реконструкцію мереж.

Водночас, процеси повоєнної відбудови відкривають можливості для модернізації систем водопостачання з використанням сучасних технологій: встановлення автоматизованих систем дистанційного моніторингу та управління, застосування полімерних і композитних матеріалів для трубопроводів, модернізація водоочисних споруд з підвищенням ефективності фільтрації та дезінфекції.

Комплексне вирішення цих проблем необхідне для забезпечення сталого, безпечного і ефективного водопостачання населення в умовах відбудови, підвищення рівня благоустрою та економічної активності в містах.

1.2 Нормативно-правові засади та підходи до комплексного проєктування мереж водопостачання

Ефективне проєктування, будівництво та експлуатація мереж водопостачання в Україні здійснюється на основі чіткої нормативно-правової бази, яка встановлює вимоги до якості питної води, технічних характеристик систем, санітарних норм, а також правил безпеки та охорони навколишнього середовища. Така база дозволяє забезпечувати сталу роботу інженерних систем, захищати здоров’я населення та сприяти інтегрованому управлінню водними ресурсами.

Основними правовими та нормативними документами, що регулюють проєктування та експлуатацію водопровідних мереж, є:

1. Закон України «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення», який закріплює правові засади забезпечення населення якісною питною водою та встановлює вимоги до функціонування систем водопостачання.

• Державні санітарні норми та правила (ДСН):ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Питна вода. Гігієнічні вимоги до якості води питного водопостачання» є основним документом, що визначає гранично допустимі показники забруднення води, вимоги до її мінералізації, органолептичні властивості тощо. Інші санітарні норми регулюють умови експлуатації споруд, зони санітарної охорони водозаборів та захист джерел води від забруднення.

2. Державні будівельні норми (ДБН) Встановлюють технічні вимоги до проєктування, розташування, експлуатації та реконструкції водопровідних мереж та споруд. До них належать:

• ДБН В.2.5-39:2011 «Мережі та споруди водопровідні. Основні положення проєктування», в яких викладені вимоги до проєктних рішень, матеріалів, параметрів гідравлічних систем.

• ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди» – визначає вимоги до проєктування водопровідних систем населених пунктів, розрахунку витрат води, вибору діаметрів трубопроводів та гідравлічних параметрів системи [1, с.15].Інші ДБН регулюють умови будівництва в різних географічних та кліматичних умовах.

3. Правила технічної експлуатації та безпеки. До цих документів слід віднести міжгалузеві та галузеві стандарти щодо технічного обслуговування обладнання, вимоги до безпеки праці персоналу, охорони праці при виконанні будівельно-монтажних робіт.

4. Європейські та міжнародні стандарти. При реалізації проєктів модернізації та інвестиційних програм все частіше застосовуються стандарти ЄС і міжнародні

керівні документи (наприклад, рекомендації ВООЗ щодо якості питної води або стандарти ISO), що сприяє підвищенню технічного рівня систем.

Принципи комплексного проєктування водопровідних мереж – це, насамперед, інтегрований підхід, що враховує не лише технічні параметри систем, а й екологічні, соціальні та економічні аспекти. Основні принципи такого проєктування:

1. Комплексність та системність : тобто проєктування повинно охоплювати всі елементи водопостачання — від джерел води до кінцевих споживачів, включаючи водоочищення, резервуари, насосні станції, внутрішню мережу та контроль якості води.

2. Впровадження стійкості і адаптивності проєктів має забезпечувати стабільну роботу систем у різних умовах експлуатації, враховувати можливі зовнішні впливи (кліматичні зміни, надзвичайні ситуації, військові ризики) та бути здатним до оперативної адаптації.

3. Енергоефективність та ресурсозбереження передбачають раціональний вибір обладнання, режимів роботи та матеріалів має забезпечувати мінімізацію енергоспоживання, втрат води, компенсацію гідравлічних навантажень та оптимальне використання природних ресурсів.

4. Санітарна безпека та охорона здоров’я забезпечуються шляхом впровадження проєктних рішень, які гарантують відповідність якості води вимогам ДСанПіН, а також передбачають створення зон санітарної охорони джерел водопостачання.

5. Економічна ефективність визначається доцільністю прийнятих технічних рішень і вибору матеріалів з урахуванням аналізу життєвого циклу об’єкта, експлуатаційних витрат, строків окупності та можливостей місцевого бюджету.

6. Інтеграція з місцевим середовищем і соціальними потребами полягає у врахуванні особливостей території, потреб населення , забезпеченні доступності і надійності систем водопостачання, а також впливу на навколишнє середовище.

7. Модернізація та інновації сприяють підвищенню надійності та довговічності мереж за допомогою використання сучасних технологій, а саме автоматизованих мереж управління, сенсорних систем контролю витрат та тиску, сучасних матеріалів труб та фітингів.

1.3 Сучасні методи контролю та моніторингу технічного стану інженерних мереж

Ефективне функціонування систем водопостачання в умовах повоєнної відбудови неможливе без впровадження сучасних технологій моніторингу технічного стану інженерних мереж. Постійний контроль дозволяє своєчасно виявляти аварійні ділянки, зменшувати втрати води, підвищувати надійність та продовжувати строк служби трубопроводів і обладнання.

Основними цілями моніторингу водопровідних мереж є:

- виявлення витоків і прихованих пошкоджень трубопроводів;
- контроль тиску та витрат води в реальному часі;
- оцінка технічного стану насосного обладнання;
- контроль якості питної води;
- прогнозування аварій та планування ремонтів.

Системний підхід до моніторингу дозволяє переходити від аварійного ремонту до превентивного (планового) обслуговування мереж.

Гідравлічний моніторинг є одним із ключових напрямів та являє собою:

- встановлення датчиків тиску
- встановлення витратомірів

- зонування мережі на окремі ділянки (DMA-зони) (Рис. 1.1)

Аналіз змін тиску дозволяє оперативно визначати місця можливих проривів або несанкціонованих підключень. Застосування автоматизованих систем диспетчерського управління (SCADA) (Рис. 1.2) дає змогу відстежувати показники у режимі реального часу. Автоматизовані системи диспетчерського управління SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) дозволяють здійснювати збір, передачу та аналіз технологічних параметрів роботи мережі у режимі реального часу [14, с. 42].

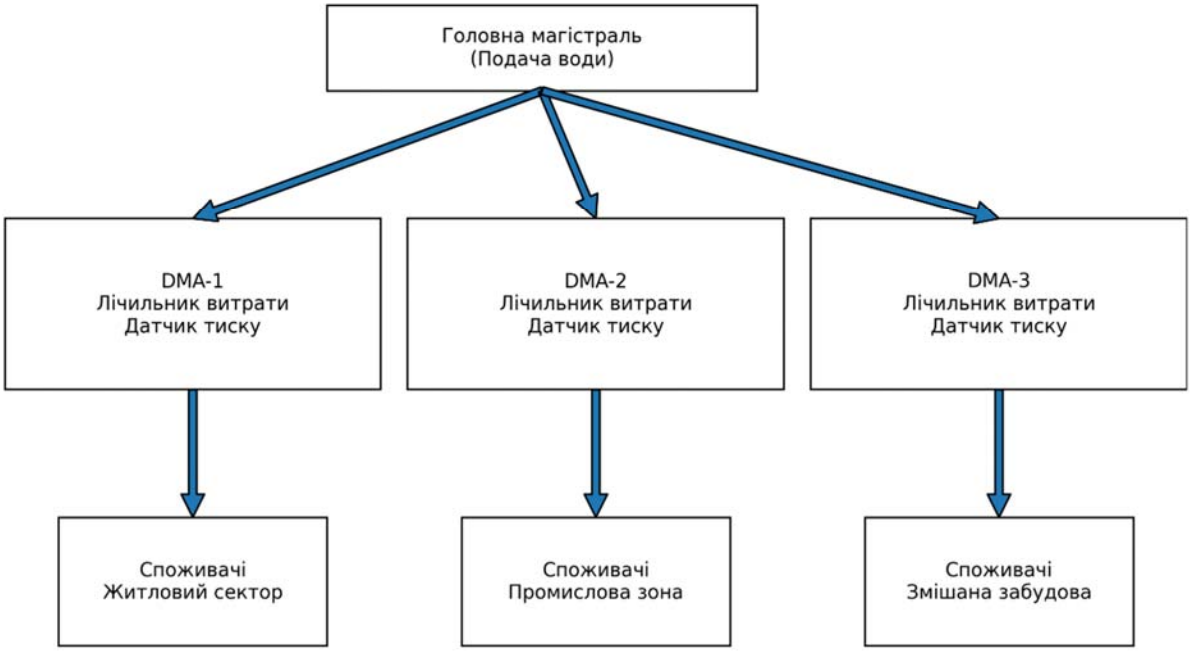


Рис. 1.1 Зонування водопровідної мережі (DMA) для контролю тиску та витрат

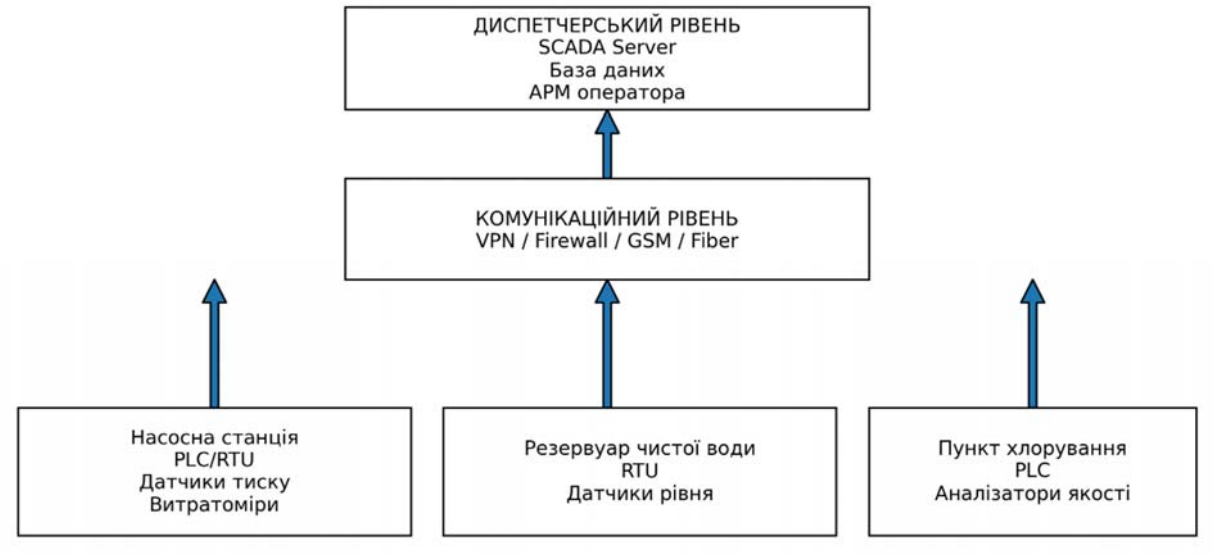


Рис. 1.2 Структурна схема системи моніторингу SCADA

Для виявлення прихованих пошкоджень використовуються:

- акустичні датчики
- корелятори шуму
- геофони
- логери шуму

Метод ґрунтується на фіксації шуму, що виникає при витоку води під тиском. Сучасні цифрові прилади дозволяють точно локалізувати місце пошкодження навіть без розкриття ґрунту.

Відеоінспекція та діагностика трубопроводів проводиться для оцінки внутрішнього стану труб, для чого застосовують:

- телеінспекційні камери
- роботизовані комплекси
- внутрішньотрубні діагностичні пристрої

Вони дозволяють виявити:

- корозійні ушкодження

- відкладення та засмічення
- тріщини та деформації труб

Ці технології особливо актуальні для старих мереж із великим строком експлуатації.

Контроль якості води здійснюється шляхом:

- автоматичних станцій аналізу
- датчиків мутності, pH, залишкового хлору
- лабораторних досліджень

В умовах підвищених ризиків (зокрема воєнних) важливим є оперативний контроль санітарних показників для запобігання епідеміологічним загрозам.

Цифровізація та GIS-технології є сучасними системами моніторингу та інтегруються з:

- геоінформаційними системами (GIS)
- цифровими картами мереж
- базами технічної документації

Це дозволяє:

- вести облік аварій
- планувати ремонти
- аналізувати технічний стан по районах міста
- прогнозувати зони підвищеного ризику

У період відновлення інфраструктури моніторинг має особливе значення, оскільки:

- дозволяє оперативно виявляти пошкодження, спричинені бойовими діями
- зменшує втрати води в умовах обмежених ресурсів
- підвищує енергоефективність системи

- сприяє раціональному використанню фінансування відновлювальних робіт

В Україні впровадження SCADA та DMA перебуває на етапі активного розвитку, тоді як у провідних країнах світу ці технології вже є стандартом функціонування систем водопостачання.

Приклади впровадження SCADA та DMA в Україні :

- Львів. КП «Львівводоканал» активно використовує SCADA та впроваджує DMA. Місто є одним із лідерів у зменшенні втрат води.
- Київ. У Київводоканал впроваджено SCADA-системи для моніторингу насосних станцій і мереж.
- Вінниця. Один із найуспішніших прикладів DMA в Україні — місто практично повністю зоноване.
- Дніпро. Використовується SCADA для контролю основних об’єктів водопостачання.
- Івано-Франківськ. Активно впроваджують зонування DMA та сучасні системи обліку води.
- Запоріжжя. У КП«Водоканал» системи SCADA впровадженні частково,концепція DMA ще не набула широкого практичного застосування.

Світовий досвід використання SCADA та DMA :

Європа:

- Париж — підприємство Eau de Paris застосовує SCADA для повного контролю мережі та якості води.
- Лондон — компанія Thames Water активно використовує DMA для зменшення витоків.

- Берлін — Berliner Wasserbetriebe впроваджує SCADA разом із гідравлічним моделюванням.

США:

- Нью-Йорк — одна з найбільших SCADA-систем для управління водопостачанням (контроль резервуарів, тунелів, насосних станцій).
- Лос-Анджелес — впроваджено комплекс SCADA + DMA для управління водними ресурсами в умовах дефіциту води.

Азія:

- Сінгапур — компанія PUB Singapore використовує SCADA, IoT і DMA як частину концепції “Smart Water Grid”.
- Токіо — високий рівень автоматизації мереж із мінімальними втратами води (менше 5%).

Отримані результати аналізу можуть бути використані як основа для обгрунтування доцільності впровадження зазначених технологій у проєктованій системі.

Інтеграція сучасних технологій моніторингу є одним із ключових напрямів модернізації систем водопостачання та формування стійкої міської інфраструктури.

1.4 Особливості відновлення, реконструкції та модернізації водопровідних мереж у період повоєнної відбудови

Повоєнний період характеризується необхідністю швидкого відновлення критичної інфраструктури, зокрема систем водопостачання, що забезпечують базові потреби населення. Руйнування інженерних мереж унаслідок бойових дій, тривала експлуатація без належного оновлення та обмежені фінансові ресурси формують специфічні умови реконструкції та модернізації водопровідних систем.

Після початку повномасштабної війни значна частина об'єктів водопостачання України зазнала пошкоджень або руйнувань. За оцінками міжнародних організацій, відновлення водної інфраструктури потребує значних інвестицій та довгострокових програм модернізації [5, с. 12].

Особливості відновлення водопровідних мереж

1. Наявність локальних та масштабних пошкоджень**.** Внаслідок воєнних дій можуть бути пошкоджені як окремі ділянки трубопроводів, так і магістральні водоводи, насосні станції, резервуари чистої води та електроживлення об’єктів.

2. Потреба у швидкому відновленні подачі води. Вода є критично необхідним ресурсом для населення, лікарень, шкіл, об’єктів оборонного та соціального призначення, тому першочерговим завданням є оперативне відновлення мінімально необхідного рівня водопостачання.

3. Обмеженість матеріальних та фінансових ресурсів. Відбудова часто здійснюється за рахунок державних програм, міжнародної допомоги та місцевих бюджетів, що потребує оптимізації технічних рішень.

4. Підвищені вимоги до надійності та безпеки. Нові проєктні рішення мають враховувати можливі ризики повторних пошкоджень, перебоїв електропостачання та надзвичайних ситуацій.

5. Необхідність інтеграції сучасних технологій. Повоєнна відбудова є можливістю перейти від застарілих систем до енергоефективних, автоматизованих і цифровізованих мереж.

Основні завдання реконструкції

1. Оцінка технічного стану мереж. Проведення інвентаризації та діагностики пошкоджених і зношених ділянок трубопроводів, насосних станцій та водоочисних споруд.

2. Локалізація та заміна аварійних ділянок. Демонтаж пошкоджених труб і встановлення нових з використанням сучасних матеріалів (поліетиленових, поліпропіленових, композитних труб), що мають більшу довговічність і стійкість до корозії.

3. Зменшення втрат води. Оптимізація гідравлічного режиму роботи системи, впровадження зонування мережі та систем контролю тиску.

4. Модернізація насосного обладнання. Встановлення енергоефективних насосів із частотним регулюванням, що дозволяє зменшити споживання електроенергії та підвищити стабільність подачі води.

5. Автоматизація управління. Впровадження систем дистанційного моніторингу (SCADA), датчиків тиску та витрат, інтеграція з GIS-системами.

6. Підвищення якості води. Реконстрція очисних споруд, модернізація систем знезараження, впровадження сучасних методів фільтрації.

Принципи модернізації в умовах відбудови :

- поетапність реалізації – відновлення здійснюється з урахуванням пріоритетності об’єктів;
- комплексність – реконструкція мереж повинна поєднуватися з модернізацією споруд водопідготовки та систем електропостачання;
- стійкість до надзвичайних ситуацій – створення резервних схем живлення та альтернативних джерел водопостачання;
- енергоефективність – зниження витрат на транспортування та підйом води;
- довгострокова економічна доцільність – врахування вартості життєвого циклу мереж.

Повоєнна реконструкція створює передумови для формування сучасних, надійних і технологічно розвинених систем водопостачання, які відповідатимуть європейським стандартам якості та безпеки. Модернізовані мережі дозволять

зменшити аварійність, скоротити втрати води, підвищити енергоефективність та забезпечити стабільне водопостачання населення.

Таким чином, реконструкція і модернізація водопровідних мереж у повоєнний період є не лише відновлювальним процесом, а й стратегічним етапом переходу до інноваційної та сталої системи міської інфраструктури.

РОЗДІЛ 2. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ

2.1 Коротка характеристика міста та умов водоспоживання

Характеристика міста, для якого проектується дана мережа водопостачання вказана в таблиці 2.1:

Таблиця 2.1 – Характеристика міста

№ району	Площа, га	Кількість поверхів забудови	Щільність населення, чол./га	Кількість населення, чол.	Ступінь благоустрою:
1	108	4	300	32 400	Внутрішній водопровід, каналізація та централізоване гаряче та холодне водопостачання
2	122	6	400	48 800	
3	200	9	480	96 000	
Σ	430			177 200	

На території першого та третього району знаходяться промислові підприємства. Характеристика промислових підприємств вказана в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристика промислових підприємств

№ підпр.	Кількість працюючих по змінах	Кількість працюючих в гар. цехах, %	Характеристика технологічного процесу	Витрати води на промислові потреби, $м^3$/доб	Об'єм найбільшої будівлі	Ступінь вогнестійкості конструкцій
№ 1	800	20%	Іб, Іа	8000	25	II категорія В
	400					
	600					
№ 2	600	35%	IIг, IIв	5000	25	II категорія Б
	400					

Кількість населення в кожному районі міста визначаємо за формулою:

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

де P_i – щільність населення, люд./га (за завданням);

F_I – площа і-го району міста, га ;

2.2 Визначення добових розрахункових витрат води

Витрата води на господарсько-питні потреби міста, поливку вулиць та зелених насаджень, господарсько-питні та інші потреби промислових підприємств, на пожежогасіння визначаємо для кожного району окремо.

Середньодобова витрата води і-го району, м^3/доб.:

$$Q_{доб.i} = \frac{Ni \times qi}{1000}, \quad (2.2)$$

де q_i – питоме господарсько-питне водоспоживання на одного мешканця, л/доб;

N_i – кількість населення у відповідному районі міста.

Розрахункові витрати води для окремих районів в добу найбільшого та найменшого водоспоживання:

$$Q_{доб.макс.i} = K_{доб.макс.i.} \times Q_{сер.доб.i,} \quad (2.3)$$

$$Q_{доб.мін.i} = K_{доб.мін.i.} \times Q_{сер.доб.i,} \quad (2.4)$$

де $K_{доб.макс.i}$, $K_{доб.мін.i}$ – відповідно максимальний та мінімальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання і-го району міста згідно з [1]:

$К_{доб.макс,1}$=1,18; $К_{доб.макс.2}$=1,15; $К_{доб.макс.3}$=1.1; $К_{доб.мін.1}$=0,54; $К_{доб.мін.2}$=0,6; $К_{доб.мін.3}$=0.7.

Розрахунки по визначенню добових витрат води зведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Добові витрати води на господарсько-питні потреби населення міста

Район міста	Розрахункова кількість мешканців, люд.	Добові витрати на господарсько-питні потреби населення міста					
		Питоме середньодобове водоспоживання, л/доб(год)	Коефіцієнт добової нерівномірності		Добові витрати води, м³/доб.		
			$К_{доб.макс.і}$	$К_{доб.мін.і}$	$Q_{сер.\ і}$	$Q_{доб.макс.\ і}$	$Q_{доб.мін.\ і}$
I	32 400	320	1,18	0,54	10 368	12 234	5 599
II	48 800	320	1,15	0,60	15 616	17 958	9 370
III	96 000	320	1,10	0,70	30 720	33 792	21 504
Σ	177 200				56 704	63 984	36 473

Розрахунки водоспоживання на поливку вулиць та зелених насаджень в залежності від прийнятого виду питомої витрати води зведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Добові витрати води на поливку вулиць та зелених насаджень

Район міста	Добові витрати на поливку вулиць та зелених насадженнь			
	Питома сердньодобова витрата на поливання, л/доб.люд	Добові витрати води на поливання, м³/доб.		
		всього по району Q і пол., м³/доб	двірниками Q і пол., м³/доб	поливальними машинами Q і пол., м³/доб
I	70	2 268	907	1 361
II	70	3 416	1 366	2 050
III	70	6 720	2 688	4 032
Всього		12 404	4 961	7 443

Витрати води на промислових підприємствах складаються з витрат на

господарсько-питні потреби робітників, прийняття душа та виробничі потреби. Витрату води на господарсько-питні потреби робітників, зайнятих на виробництві, визначаємо за формулою:

$$Q_з = \frac{q3 \times \boldsymbol{N}\text{гц} + q4 \times N\text{хц}}{1000}, м^3/добу \quad (2.5)$$

Загальну кількість працюючих за видами цехів (гарячі та холодні) розподіляють на підставі вказаного в завданні відсотка працюючих в гарячих цехах. Питоме водоспоживання для цехів з тепловиділенням більше ніж 80 кДж / (м^3×год) ≈ 20 ккал / (м^3×год) приймається на одну людину 45 л/зміну, для холодних цехів - 25 л/зміну,результати розрахунків приведені в таблиі 2.5.

Таблиця 2.5 – Витрата води на господарчо-питні потреби робітників промислового підприємства №1 та №2

№ п/п	Зміна	Кількість робочих N_i ,люд.	Гарячі цехи			Холодні цехи			Загальна витрата $Q_в$, $м^3$
			Кількість робочих $N_г$,люд	Питома витрата води на 1 люд. л/зміну	Витрата води $Q_г$, $м^3$	Кількість робочих Nх ,люд.	Питома витрата води на 1 люд. л/зміну	Витрата води $Q_х$, $м^3$	
№ 1	I	800	160	45,0	7,2	640,0	25,0	16,0	23,2
	II	400	80		3,6	320,0		8,0	11,6
	III	600	120		5,4	480,0		12,0	17,4
	Σ	1800	360		16,2	1440,0		36,0	52,2
№ 2	I	600	210		9,5	136,0		3,4	12,9
	II	400	140		6,3	91,0		2,3	8,6
	Σ	1 000	350		15,8	227,0		5,7	21,5

Витрата води на користування душем на промислових підприємствах:

$$Q_{душ} = 0{,}5 \sum \frac{\mathrm{N_i}}{\mathrm{n}_i},$$

(2.6)

де *Ni* – кількість робочих в цехах з і-ою санітарною характеристикою виробничого процесу;

ni – розрахункова кількість робочих на одну душову сітку для *і-ої* характеристики виробничого процесу;

0,5 – годинна витрата води на одну душову сітку м^3.

Витрата на одну душову сітку приймається рівною qдуш = 500л. Кількість працюючих, які користуються однією душовою сіткою, приймається відповідно з групою виробничих процесів: гарячі цехи - 3 робочих, холодні цехи - 7 робочих.

Розрахунки по визначенню витрат води на використання душу зводяться в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Витрата води на використання душу п/п

№ п/п	Зміна	Кількість робочих N_i,люд.	Група виробничого процесу та санітарна характеристика		Гарячі цехи		Холодні цехи		Загальна витрата $Q_в$, м^3
			Гар.	Хол.	Кількість людей на одну душову сітку	Витрата води по змінах, м^3	Кількість людей на одну душову сітку	Витрата води по змінах, м^3	
№1	I	800	1б	1а	7	11,4	15,0	21,3	32,8
	II	400				5,7		10,7	16,4
	III	600				8,6		16,0	24,6
	Σ	1 800				25,7		48,0	73,7
№2	I	600	2г	2в	3	35,0	7,0	9,8	44,8
	II	400				23,3		6,5	29,8
	Σ	1 000				58,3		16,3	74,6

Загальна витрата води на пожежогасіння міста:

$$Q_{пож} = n \times (q_{пож} + q`_{пож} + n`) + 0,5q_{пр} \quad (2.7)$$

де $q_{пож}$ – витрата води на гасіння однієї зовнішньої пожежі, пож 40 л/с;

n – кількість розрахункових зовнішніх пожеж, n = 3;

$q'_{пож}$ – втрата води на один струмінь для внутрішнього пожежогасіння (приймаємо 2,5 л/с);

n' – розрахункова кількість струменів (п' = 2);

$q_{пр}$ – витрата води на гасіння пожежі на промисловому підприємстві.

$$Q_{пож} = 3 \times (40 + 2{,}5 \times 2) + 0.5 \times (10 + 10) = 145\ л/с.$$

Норми витрати води на пожежогасіння для промислових підприємств приймаю по [3] , Витрата води на 1 пожежу -10 л/с. Розрахункове число одночасних пожеж - 2 пожежі (один на підприємстві і дві у населеному пункті). Розрахункова тривалість пожежі у всіх випадках (у населеному пункті чи на підприємстві) приймається три години . Подача повної розрахункової витрати води на гасіння пожежі повинна бути забезпечена при найбільшій годинній витраті води. При цьому витрати води на поливання території, приймання душу, миття підлог у виробничих спорудах і мийка технологічного устаткування не враховуються.

2.3 Режим водоспоживання міста

Для призначення режиму споживання води на господарсько-питні потреби кожного району міста визначаємо максимальний та мінімальний коефіцієнти годинної нерівномірності:

$$K_{i\ г.макс.} = \beta_{i\ макс.} \times \alpha_{i\ макс} \qquad (2.8)$$

$$K_{i\ г.мін.} = \beta_{i\ мін.} \times \alpha_{i\ мін} \qquad (2.9)$$

де $\alpha_{імакс.}$, $\alpha_{імін}$ - коефіцієнт, який враховує ступінь благоустрою будівель, режим роботи підприємств та інші місцеві умови, $a_{імакс.}$ =1,2-1,4; $a_{імін}$=0,4-0,6 [1];

$\beta_{імакс}$ - коефіцієнт , який враховує чисельність мешканців в районі [1];

$$K_{1г.макс} = 1,3 \times 1,18 = 1,53$$

$$K_{2г.макс} = 1,3 \times 1,15 = 1,495$$

$$K_{3г.макс} = 1,3 \times 1,1 = 1,43$$

$$K_{1г.макс} = 0,5 \times 0,54 = 0,27$$

$$K_{2г.макс} = 0,5 \times 0,4 = 0,2$$

$$K_{3г.макс} = 0,5 \times 1,18 = 0,25$$

За відсотковим розподілом добових витрат визначаємо витрату води для кожної години, м^3:

$$Q_{iг.в.} = P_{iг.в.} \times Q_{i.доб.макс}/100, \quad (2.10)$$

де $P_{iг.в}$ – значення *i* -ої годинної витрати ,%;

$Q_{i.доб.макс}$– максимальна витрата для і-го району міста, м^3/доб.

Режим споживання води на поливку

$$Q_{г.пол.} = Q_{доб.пол.} / T_{пол,} \quad (2.11)$$

Таблиця сумарного водоспоживання А.1 наведена у додатку А.

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ МЕРЕЖІ ВОДОПОСТАЧАННЯ

3.1 Визначення місткостей регулювальних резервуарів

Регулювальні резервуари в системі водопостачання призначені для вирівнювання нерівномірності водоспоживання протягом доби, забезпечення стабільної роботи насосних станцій, а також створення необхідного запасу води для пожежогасіння та аварійних ситуацій.

Режим роботи насосної станції II підйому визначаємо по побудованому диференціальному графіку сумарного водоспоживання (рис.3.1). Кількість ступенів приймаємо 2.

Сумісний графік водоспоживання та подачі НС II підйому

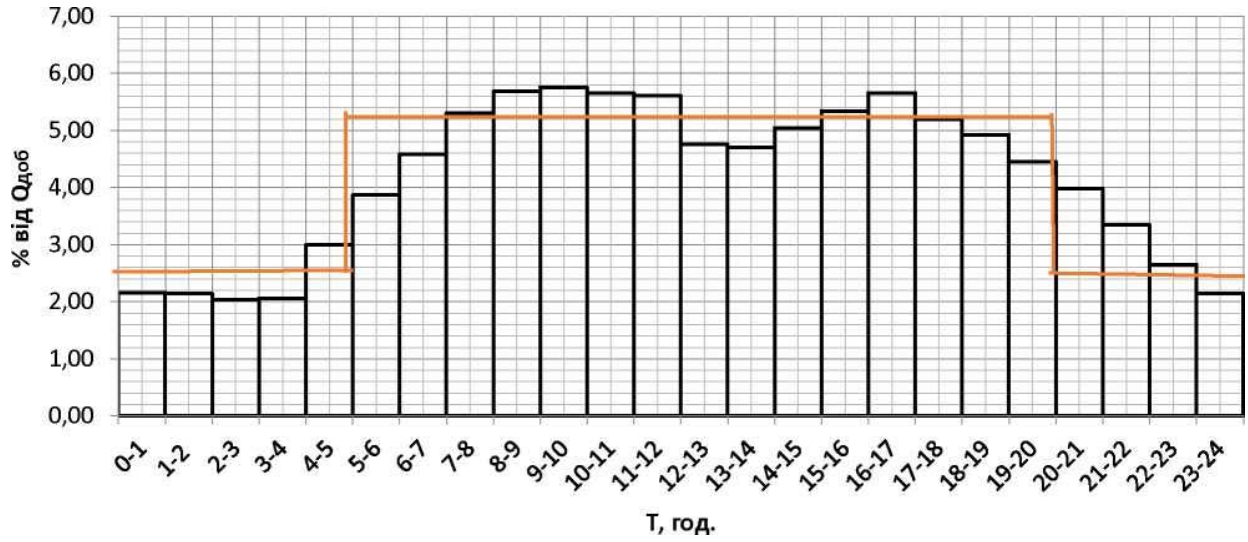


Рисунок 3.1 – Режим водоспоживання міста та подачі насосної станції

Прийняті продуктивності ступенів роботи насосної станції:

- I-а ступень - 2,61 % - 9 год.;
- II-а ступень - 5,10 % - 15 год.

Виходячи з прийнятого відсоткового значення ступенів роботи насосної станції II-го підйому приймаємо, що Q_1 = 2.61 % = 578 л/с, а $Q_г$; = 5,1 % = 1129 л/с.

Далі визначаємо ємність бака водонапірної башти і резервуарів чистої води. Регулюючий об'єм обох резервуарів визначені табличним методом. Розрахунки наведені в таблицях 3.1 та 3.2.

Об'єм регулювальної місткості:

$$W_{рег} = \frac{W` \text{рег} \times Q\text{доб}}{100}\ , \tag{3.1}$$

$$W`_{рег} = W_{макс.зал} - W_{мін.зал}\ , \tag{3.2}$$

Визначаємо об'єм регулюючої ємності водонапірної башти:

$$W_{рег.в.в.} = \frac{(1{,}74-(-0{,}47))\times 79681}{100} = 1760 \text{ м}^3$$

Визначаємо об'єм резервуара чистої води:

$$W_{рег.РЧВ.} = \frac{(7{,}75-(-6{,}20))\times 79681}{100} = 11115 \text{ м}^3$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок об'єму бака водонапірної башти

Годинний проміжок	Витрата води містом, %	Подача води насосами, %	Надходження в бак, %	Витрата з баку, %	Залишок в баці, %
0-1	2,16	2,61	0,45		0,45
1-2	2,14	2,61	0,47		0,92
2-3	2,04	2,61	0,58		1,50
3-4	2,06	2,61	0,55		2,05
4-5	2,99	2,61		0,38	1,67
5-6	3,87	5,10	1,23		2,90
6-7	4,58	5,10	0,52		3,42
7-8	5,30	5,10		0,20	3,22
8-9	5,68	5,10		0,58	2,64
9-10	5,75	5,10		0,65	1,99
10-11	5,65	5,10		0,55	1,44
11-12	5,60	5,10		0,50	0,94
12-13	4,75	5,10	0,35		1,28
13-14	4,70	5,10	0,39		1,68
14-15	5,04	5,10	0,06		1,74
15-16	5,34	5,10		0,24	1,50
16-17	5,65	5,10		0,55	0,94
17-18	5,20	5,10		0,10	0,84
18-19	4,92	5,10	0,18		1,02
19-20	4,45	5,10	0,65		1,67
20-21	3,98	2,61		1,37	0,30
21-22	3,35	2,61		0,73	-0,43
22-23	2,65	2,61		0,04	-0,47
23-24	2,14	2,61	0,47		0,00
Всього	100	100,00	5,90	5,90	

Таблиця 3.2 – Розрахунок об'єму РЧВ

Годинний проміжок	Надходження з оч.станції, %	Відбір води насосами, %	Надходжен ня в РЧВ, %	Витрата з РЧВ, %	Залишок в РЧВ, %
1	2	3	4	5	6
0-1	4,16	2,61	1,55		1,55
1-2	4,16	2,61	1,55		3,10
2-3	4,16	2,61	1,55		4,65
3-4	4,16	2,61	1,55		6,20
4-5	4,16	2,61	1,55		7,75
5-6	4,17	5,10		0,93	6,82
6-7	4,17	5,10		0,93	5,89
7-8	4,17	5,10		0,93	4,96
8-9	4,17	5,10		0,93	4,03
9-10	4,17	5,10		0,93	3,10
10-11	4,17	5,10		0,93	2,17
11-12	4,17	5,10		0,93	1,24
12-13	4,17	5,10		0,93	0,31
13-14	4,17	5,10		0,93	-0,62
14-15	4,17	5,10		0,93	-1,55
15-16	4,17	5,10		0,93	-2,48
16-17	4,17	5,10		0,93	-3,41
17-18	4,17	5,10		0,93	-4,34
18-19	4,17	5,10		0,93	-5,27
19-20	4,17	5,10		0,93	-6,20
20-21	4,17	2,61	1,56		-4,64
21-22	4,16	2,61	1,55		-3,09

22-23	4,16	2,61	1,55		-1,55
23-24	4,16	2,61	1,55		0,00
Всього	100	100	14,0	13,9	

Повний об’єм водонапірної башти визначаємо за формулою:

$$W_б = W_{рег} + W_{нз}, \quad (3.3)$$

$W_{рег}$ – регулюючий об’єм бака;

$W_{нз}$ – запас води в баці, який дорівнює 10-хвилинній тривалості гасіння однієї зовнішньої та однієї внутрішньої пожеж.

$$W_{нз} = 40\times600+2,5\times600 = 25,5 \text{ м}^3;$$

$$W_б = 1760 + 25,5 = 1786 \text{ м}^3.$$

Розраховуємо діаметр бака за формулою:

$$Dб = \sqrt[3]{Wб / 0,55}, \quad (3.4)$$

$$D_б = \sqrt[3]{1786/0.55} = 14,8 \text{ м};$$

Повний об’єм резервуарів чистої води (РЧВ):

$$W_{РЧВ} = W'_{рег} + W_{вп} + W_п, \quad (3.5)$$

Де $W'_{рег}$ – регулюючий об’єм РЧВ;

$W_{вп}$ – запас води на власні потреби станції водопідготовки, $W_{еп}\approx1000$ м^3;

$W_п$ – запас води на пожежогасіння:

(3.6)

$$W_n = 3{,}6 Q_н t + \sum Q_{см} - (4{,}17 Q_{сут.макс.} t)/100,$$

де $Q_н$ – повна розрахункова витрата води на пожежогасіння, л/с;

t – тривалість гасіння пожежі, год. (приймаємо 3 години);

Σ $Q_{см}$ – витрата води за t суміжних годин макс. водоспоживання, м^3;

$Q_{сут.макс.}$ – витрата води в добу максимального водоспоживання;

$W_П$ = 3,6×145×3 + (4525+ 4583+ 4499) - (4,17× 79681×3/100) = 5203 м^3;

$$W_{РЧВ} = 11115 + 1000 + 5023 = 17318 \text{ м}^3.$$

Приймаємо 4 резервуари чистої води, об’єм кожного 4330 м^3.

Приймаємо висоту в баці 2,7 м, тоді площа РЧВ буде дорівнювати:

$$S_{РЧВ} = 4330 / 2{,}7 = 1603 \text{ м}^2.$$

Виходячи з розрахованої площі баків, приймаємо стандартні блочні баки розмірами 40×40 та висотою 3 м.

Знаходимо пожежну висоту в баці:

$$h_{пож} = \frac{Q_{пож}}{n \times S_{РЧВ}}, \quad (3.7)$$

де $Q_{пож}$ – загальна витрата на гасіння пожежі міста, за 3 години м^3;

n – кількість РЧВ;

$$h_{пож} = \frac{1566}{4 \times 1600} = 0.24 \text{ м}^3.$$

3.2 Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі

3.2.1 Визначення питомих, шляхових та вузлових витрат

Питомі та шляхові витрати визначаємо для випадку максимального водоспоживання, вузлові - для кожного з намічених режимів роботи водопровідної

мережі. Питома витрата для і-го району при максимальному водоспоживанні:

$$Q_{пит.і} = \frac{Q_i}{\sum L_i}, \quad (3.8)$$

де Q_i – витрата води, яка відбирається з мережі тільки містом при максимальному водоспоживанні, л/с, вираховуємо виходячи з таблиці А1дод.А;

ΣLi – загальна розрахункова довжина магістральних ліній і-го району,м;

Шляхові витрати ділянок:

$$Q_{шл} = q_{пит.і} \times L_{діл}, \quad (3.9)$$

де $L_{діл}$ – розрахунком довжина ділянки, яка розглядається (дорівнює повній або половинній довжині ділянки).

Розрахунок шляхових витрат для випадку максимального водоспоживання зводяться у таблиці 3.3.

Вузлова витрата для випадку максимального водоспоживання (табл.3.3):

$$Q_{вузл.п} = 0{,}5(\sum Q_{шл})_{вузл} \quad (3.10)$$

де $\Sigma Q_{шл.вузл}$ – сума шляхових витрат ділянок, які примикають до і-го вузла.

Таблиця 3.3 – Визначення шляхових та вузлових витрат при $Q_{макс\cdot год}$

№ вузла	1 район				2 район				3 район				$Q_{вузл.}$
	№ діл	довж.м	$q_{пит}$	$Q_{шл}$	№ діл	довж.м	$q_{пит}$	$Q_{шл}$	№ діл	довж.м	$q_{пит}$	$Q_{шл}$	
1			0,03006				0,03049		1-2	741	0,02961	21,9	**26,24**
									1-20	145		4,3	
2									2-1	741		21,9	**68,67**
									2-16	392		11,6	
									2-15	385		11,4	
									2-3	801		23,7	
3					3-6	271		8,3	3-2	801		23,7	**72,11**
					3-4	370		11,3	3-6	271		8,0	
									3-4	370		11,0	
									3-7	333		9,9	
4					4-5	373		11,4	4-9	449		13,3	**46,97**
					4-3	370		11,4	4-3	370		11,0	
5					5-4	289		8,8					**43,91**
					5-6	745		22,7					
					5-25	407		12,4					
6					6-3	271		8,3	6-3	271		8,0	**60,26**
					6-5	745		22,7	6-22	354		10,5	
					6-22	354		10,8					
7									7-3	333		9,9	**27,45**
									7-8	594		17,6	
8									8-7	594		17,6	**53,30**
									8-14	462		13,7	
									8-10	744		22,0	
9									9-10	289		8,5	**21,84**
									9-4	449		13,3	

Продовження таблиці 3.3

№ вузла	1 район				2 район				3 район				$Q_{вузл.}$
	№ діл	довж.м	$q_{пит}$	$Q_{шл}$	№ діл	довж.м	$q_{пит}$	$Q_{шл}$	№ діл	довж.м	$q_{пит}$	$Q_{шл}$	
23	23-24	437	0,03006	13,1	23-24	437	0,03049	13,3			0,02961		**57,10**
	23-28	486		14,6	23-21	527		16,1					
24	24-23	218		6,6	24-22	1054		32,1					**99,84**
	24-25	466		14,0	24-23	109		3,3					
	24-27	967		29,1	24-25	484		14,7					
	25-24	466		14,0	25-24	466		14,2					
	25-26	472		14,2	25-5	407		12,4					
	26-25	472		14,2									
	26-27	463		13,9									
	27-26	463		13,9									
	27-24	967		29,1									
	27-28	442		13,3									
	28-27	442		13,3									
	28-23	486		14,6									
		724				1049				19715			
16			0,03006				0,03049		16-2	392	0,02961	11,6	**15,90**
									16-17	145		4,3	
17									17-16	145		4,3	**29,58**
									17-18	854		25,3	
18									18-17	854		25,3	**38,19**
									18-21	237		7,0	
									18-19	199		5,9	
19									19-18	199		5,9	**8,38**
									19-20	84		2,5	
20									20-19	84		2,5	**6,78**
									20-1	145		4,3	
21					21-22	441		13,4	21-18	237		7,0	**49,57**
					21-23	527		16,1	21-22	441		13,1	
22					22-21	441		13,4	22-21	441		13,1	**79,90**
					22-6	354		10,8	22-6	354		10,5	
					22-24	1054		32,1					

3.2.2 Початковий потокорозподіл та вихідні розрахункові схеми мережі

Вода від насосної станції подається до водопровідної мережі по двом водоводам. До магістральної мережі водоводі примикають в точці 1, від якої магістральна мережа трасується у вигляді 10 кілець.

Підключення підприємств передбачаємо в двох точках від різних магістралей, але як розрахункову приймаємо одну найбільш невигідну вузлову точку з повною витратою води на підприємство. Друга точка підключення - резервна.

Попереднє визначенні розрахункових витрат по кожній ділянці мережі починаємо з точок сходу потоків в мережі. Витрату води у вузлі сходу розподіляємо по ділянках водопровідної мережі, які підходять до вузла, довільно, але з дотримуванням умови:

$$q_{i\text{-}k}-Q_{вуз}=0, \tag{3.11}$$

де $q_{i\text{-}k}$ сума витрат води на ділянках, які примикають до вузла, що розглядається;

$Q_{вуз}$ – відбір води з вузла, який розглядається.

Розрахункові витрати решти ділянок визначаємо аналогічно. Ці витрати розраховуємо, переходячи послідовно від ділянки до ділянки проти руху води, починаючи з точки сходу до точки підключеній водоводів.

Для визначення діаметрів ділянок водопровідної мережі,спочатку визначаємо значення економічного фактору Э:

$$Э=\frac{24\times365}{102}\times10^3\times\frac{\delta}{\alpha\eta}\times\frac{\gamma к m}{b(\frac{1}{T}+\frac{R}{100})}, \tag{3.12}$$

де δ – вартість 1 кВт-ч електроенергії;

η – ККД насосної станції;

$к, m$ – коефіцієнт і показник у формулі для визначення ухилу лінії;

T – строк окупаємості систем водопостачання;

R – сума амортизаційних відрахувань;

γ – коефіцієнт нерівномірності використання електроенергії, який визначаємо за формулою:

$$\gamma = 1/(\text{Ко} \times \text{Ксут} \times \text{Кч})^{\beta+1} \quad , \qquad (3.13)$$

де K_o – коефіцієнт який враховує можливість росту водоспоживання по містам на протязі розрахункового періоду дії водопроводу, приймаємий рівним 1,01-1,03;

$K_{сут}$ і $K_ч$ – відповідно коефіцієнти добової та годинної нерівномірності водоспоживання;

β - коефіцієнт для визначення вартості одного метра водопровідної мережі;

$$\gamma = 1/(1{,}02 \times 1{,}2 \times 1{,}4)^{2+1} = 0{,}1987,$$

$$Э = \frac{24\times365}{102} \times 10^3 \times \frac{0{,}01}{1{,}6\text{x}0{,}7} \times \frac{0{,}1987\text{x}0{,}001735\text{x}5{,}3}{107\left(\frac{1}{7}+\frac{3{,}3}{100}\right)} = 0{,}63\ ,$$

В даному випадку $Э \neq Э_{табл}$, тому діаметр ділянки визначаємо за найближчим $Э_{табл}$.

За розрахункові витрати, згідно з якими визначають діаметри окремих ділянок, приймаємо розрахункові витрати цих ділянок для випадку максимального водорозбору з мережі.

Розрахунки на схемах мережі рис. 3.2 і в таблиці 3.4.

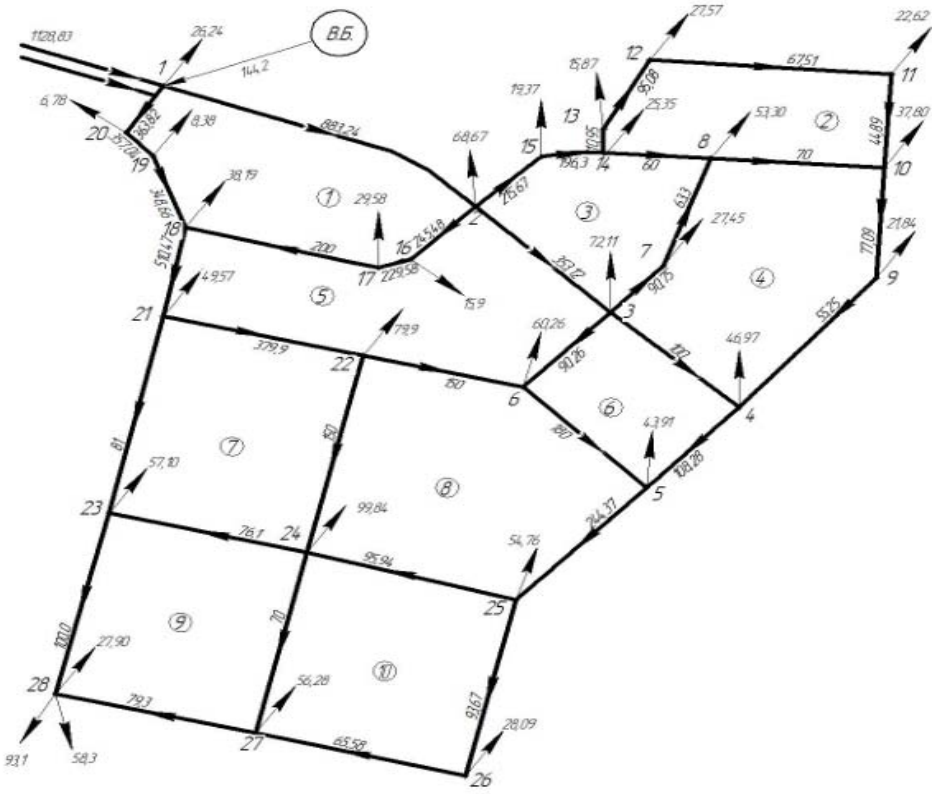


Рисунок 3.2 – Початковий потокрозподіл в годину максимального водоспоживання

Таблиця 3.4 – Призначені діаметри ділянок і швидкості на них

№	$Q_{макс}$,л/с	D, мм	L, м	$U_{макс}$, м/с
1	2	3	4	5
1-2	883,24	900	1482	1,39
2-3	353,12	600	801	1,25
3-4	100	350	740	1,04
4-9	55,25	250	898	1,13
9-10	77,09	300	577	1,09
10-11	44,89	200	488	1,43
11-12	67,51	250	1040	1,38
12-13	95,08	300	411	1,35
13-14	110,95	300	125	1,57
14-15	196,3	400	269	1,56
15-2	215,67	500	385	1,10
3-7	90,75	300	333	1,28
7-8	63,3	250	594	1,29
8-14	60	250	462	1,22
8-10	70	250	744	1,43
1-20	883,24	800	290	1,76

20-19	357,04	600	168	1,26
19-18	348,66	600	398	1,23
18-17	200	500	854	1,02
17-16	229,58	500	145	1,17
16-2	248,48	500	392	1,27
21-18	510,47	700	473	1,33
21-22	379,9	600	882	1,34
22-6	150	350	707	1,56
6-3	90,26	300	542	1,28
6-5	180	400	745	1,43
5-4	108,28	350	577	1,13
22-6	150	400	707	1,19
21-23	81	300	1053	1,15
24-22	150	400	1054	1,19
25-5	244,37	500	813	1,25
24-25	95,94	350	931	1,00
23-24	76,1	250	873	1,55
28-27	79,3	300	884	1,12
27-26	65,58	250	926	1,34
28-23	100	300	972	1,42
27-24	65,58	250	967	1,34
26-25	93,67	300	943	1,33
28-27	79,3	300	884	1,12
27-26	65,58	250	926	1,34
28-23	100	300	972	1,42
27-24	65,58	250	967	1,34
26-25	93,67	300	943	1,33
28-27	79,3	300	884	1,12
27-26	65,58	250	926	1,34

3.2.3 Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі для режиму максимального водоспоживання

Враховуючи наведені вище розрахункові витрати води для всіх ділянок, необхідно виконати власне гідравлічний розрахунок (“ув’язку”) мережі, тобто визначити величини дійсних витрат по лініях мережі при прийнятих діаметрах.

Ув’язка необхідна тому, що попередній розподіл витрат, а отже, і діаметрів проводився без дотримання умови $\Delta h_k = 0$. Після оформлення схеми перевіряємо умову:

$$\sum q_{узл.} = 0\,;\ \sum h_k \le 0{,}01\,.$$

Ув’язку виконуємо тільки для режиму максимального водоспоживання в он-лайн програмі PLUMBING.WEB 3.20 за методом Ньютона.

Таблиця 3.5 – Результати ув’язки для режиму максимального водоспоживання

№ п/п	Номер ділянки	Витрата, л/с	Швидкість м/с	Витрати, м	Направлення	Діаметр, мм
1	2	3	4	5	6	7
1	1-2	651,7	1.02	1,58	(1) → (2)	900
2	2-3	348,6	0,89	0,90	(2) → (3)	700
3	3-4	184,9	0,88	1,20	(3) → (4)	500
4	4-9	24,23	0,70	2,81	(9) ← (4)	200
5	9-10	2,39	0,12	0,10	(9) ← (10)	150
6	10-11	10,2	0,51	1,20	(11) ← (10)	150
7	11-12	12,42	0,63	3,71	(11) ← (12)	150
8	12-13	39,99	0,75	1,12	(12) ← (13)	250
9	13-14	55,86	0,74	0,27	(13) ← (14)	300
10	14-15	178,6	0,85	0,41	(14) ← (15)	500
11	15-2	197,9	0,95	0,71	(15) ← (2)	500
12	3-7	29,01	0,84	1,47	(3) → (7)	200
13	7-8	1,56	0,08	0,05	(8) ← (7)	150
14	8-14	97,34	0,94	1,3	(8) ← (14)	350
15	8-10	45,6	0,85	2,6	(8) → (10)	250
16	1-20	595,1	0,93	0,26	(1) → (20)	900
17	20-19	588,3	1,16	0,26	(20) → (19)	800
18	19-18	579,9	1,14	0,62	(19) → (18)	800
19	18-17	9,02	0,45	0,78	(18) → (17)	150
20	17-16	20,56	0,59	0,33	(17) ← (16)	200
21	16-2	36,46	0,68	0.89	(16) ← (2)	250
22	21-18	532,7	1,05	0,62	(21) ← (18)	800
23	21-22	204,8	0,98	1,74	(21) → (22)	500
24	22-6	4,69	0,24	0,42	(22) → (6)	150
25	21-23	278,3	0,93	1,53	(21) → (23)	600
26	24-22	120,2	0,90	2,34	(24) ← (22)	400
27	25-5	76,84	0,74	1,46	(25) ← (5)	350
28	24-25	4,22	0,22	0,45	(25) ← (25)	150
29	23-24	11,17	0,56	2,55	(24) ← (23)	150
30	28-27	30,73	0,89	4,35	(27) ← (28)	200

31	27-26	1,78	0,09	0,09	(26) ← (27)	150
32	28-23	210	1,00	2,01	(28) ← (23)	500
33	27-24	27,33	0,79	3,81	(27) ← (24)	200
34	26-25	26,31	0,76	3,45	(26) ← (25)	200
35	6-3	62,61	0,82	1,43	(6) ← (3)	300
36	6-5	7,04	0,35	1,43	(6) → (5)	150
37	5-4	113,7	0,85	1,15	(5) ← (4)	400

3.2.4 Визначення п’єзометричних позначок і вільних напорів у вузлах мережі

Визначення розрахункових позначок починаємо з визначення місця знаходження невигідної точки мережі, тобто точки, яка в місці підключення водоводів до мережі вимагає найбільшої п’єзометричної позначки.

Вибираємо вузол 15 в якості невигідної точки. Необхідний напір в цьому вузлі визначаємо за формулою:

$$H_{св.необх}=6+4n, \quad (3.14)$$

де n – кількість поверхів будівель (n = 9 для вузла 15).

$$H_{необх} = 6 + 4 \cdot 9 = 42\text{м}.$$

Визначаємо п’єзометричну позначку за формулою:

$$П_{н.т.} = H_{св.необх} + Z_{н.т.} \quad (3.15)$$

де $Z_{н.т}$ – позначка поверхні землі в невигідній точці, $Z_{н.т.}$ =250,0 м.

$$П_{н.т.} = 250 + 42 = 292 \text{ м}.$$

Виходячи з визначеної п’єзометричної позначки невигідної точки, знаходимо наступні позначки всіх інших вузлів мережі в залежності від втрат напору. Визначаємо вільні напори в кожному з вузлів мережі.

Ці розрахунки приведені в таблиці 3.7 та в графічній частині відповідно для режиму максимального водоспоживання і режиму пожежогасіння в годину максимального водоспоживання.

Таблиця 3.6 – П’єзометричні позначки і вільні напори у вузлах мережі

№ вузла	Необхідний напір, м	Вільний напір, м	ДН, м
1	2	3	4
1	42	42,28	0,28
2	42	44,71	2,71
3	42	63,81	21,81
4	42	67,61	25,61
5	30	71,45	41,45
6	42	59,38	17,38
7	42	59,34	17,34
8	42	51,29	9,29
9	42	64,79	22,79
10	42	59,69	17,69
11	42	48,49	6,49
12	42	42,2	0,2
13	42	43,32	1,32
14	42	43,59	1,59
15	42	42	0
16	42	53,81	11,81
17	42	53,47	11,47
18	42	47,15	5,15
19	42	43,76	1,76
20	42	42,02	0,02
21	42	57,53	15,53
22	42	57,79	15,79
23	30	78	48
24	30	75,45	45,45
25	30	79	49
26	22	92,55	70,55
27	22	95,64	73,64
28	22	98,99	76,99

3.3 Зонування мережі

При паралельному зонуванні всі зони, які виділяються з загальної мережі, гідравлічно повністю автономні. Вода подається в мережу кожної зони окремо своїми групами насосів, які встановлені на одній насосній станції, але вони мають різні водоводи і різні напори. Подачі цих груп можуть бути однаковими. За рахунок зонування напір в зонах знижується. В нижній зоні повинна бути своя водонапірна башта.

3.3.1 Розрахунок питомих, шляхових та вузлових витрат при зонуванні мережі

Визначаємо в таблиці 3.7 погодинне водоспоживання за максимальної доби кожної зони на основі таблиці А.1.Додаток А.

Витрата води на виробничі потреби промислових підприємств розрахована в таблиці А.2. Додаток А.

Витрата води на зовнішнє пожежогасіння для об'єднаних господарсько-питних та протипожежних систем водопостачання визначають у відповідності з [1, п. 6.2.1]. При цьому витрату води на зовнішнє пожежогасіння в місті розраховують в залежності від кількості мешканців та характеру забудови. Витрату води на потреби пожежогасіння на промислових підприємствах визначаємо, виходячи із ступеня вогнестійкості будівлі, категорії виробництва по пожежній небезпеці та об'єму виробничої будівлі, наведених в завданні на проектування, згідно з [1, п. 6.2]. Спеціальні системи пожежогасіння на промислових підприємствах через відсутність точної характеристики виробництв та заводських будівель в даному проекті не враховують.

Визначаємо витрату води на пожежогасіння для кожної зони за формулою (2.7):

$$Q\text{пож}_1 = 2 \times (25 + 2{,}5 \times 2) + 0 = 60 \text{ л/с},$$

$$Q\text{пож}_2 = 2 \times (35 + 2{,}5 \times 2) + 0.5 \times 20 = 90 \text{ л/с}.$$

Таблиця 3.7 – Погодинне водоспоживання міста по двом зонам за максимальної доби

Годинний проміжок	Сумарна витрата води 1 зони		Сумарна витрата води 2 зони	
	%	м^3	%	м^3
1	2	3	4	5
0-1	1,92	676	2,34	1044
1-2	2,02	710	2,24	996
2-3	1,78	625	2,24	997
3-4	1,83	642	2,24	997

4-5	2,93	1030	3,04	1356
5-6	3,91	1374	3,83	1705
6-7	4,68	1645	4,51	2008
7-8	5,45	1915	5,18	2310
8-9	5,74	2017	5,63	2508
9-10	5,98	2102	5,57	2481
10-11	5,74	2017	5,57	2482
11-12	5,65	1983	5,57	2482
12-13	4,78	1679	4,73	2105
13-14	4,68	1646	4,72	2103
14-15	5,02	1764	5,06	2255
15-16	5,26	1848	5,40	2406
16-17	5,60	1966	5,70	2540
17-18	5,21	1831	5,18	2310
18-19	5,02	1763	4,85	2159
19-20	4,52	1588	4,40	1960
20-21	4,04	1419	3,93	1752
21-22	3,46	1217	3,25	1449
22-23	2,74	963	2,58	1148
23-24	2,02	710	2,24	997
∑	100,00	35129	100,00	44552

3.3.2 Розробка розрахункові схеми мережі при зонуванні

Трасування магістральної водопровідної мережі представляє собою 2 окремі кільцеві мережі. Мережа 1 зони охоплює III район, складається з п’яти суміжних кілець. Мережа другої зони охоплює I та II район, представляє собою також 5 суміжніх кільця.В залежності від рельєфу місцевості та обраній схемі визначаємо положення в мережах водонапірної башти. Враховуючи, що висота напірної башти повинна бути мінімальною, її необхідно розташувати на самій високій точці місцевості. Ці точки знаходиться на початку мереж, тому вибираємо схеми с баштою на початку мережі.

Для обраної схеми розрахунковим режимом є режим максимального водоспоживання.

3.3.3 Гідравлічний розрахунок мережі з урахуванням зонування

3.3.3.1 Визначення місткостей регулювальних резервуарів

Режим роботи насосної станції II підйому визначаємо по побудованим диференціальним графікам сумарного водоспоживання (рис.3.2, рис. 3.3). Кількість ступенів приймаємо 2.

Прийняті продуктивності ступенів роботи групи насосів 1 зони:

- I-а ступень – 2,2 % - 9 год.;

- II-а ступень – 5,35 % - 15 год.

Прийняті продуктивності ступенів роботи групи насосів 2 зони:

- I-а ступень – 2,46 % - 9 год.;

- II-а ступень – 5,19 % - 15 год.

Далі визначаємо ємність баків водонапірних башт для кожного району і резервуарів чистої води. Регулюючий об'єм обох резервуарів визначені табличним методом. Розрахунки наведені в таблицях 3.7, 3.8, 3.9 та 3.10.

Визначаємо об`єм ємності водонапірної башти 1 зони за формулою (3.1):

$$W_{рег} = \frac{(1{,}62 - (-2{,}36)) \times 35129}{100} = 1398\, м^3.$$

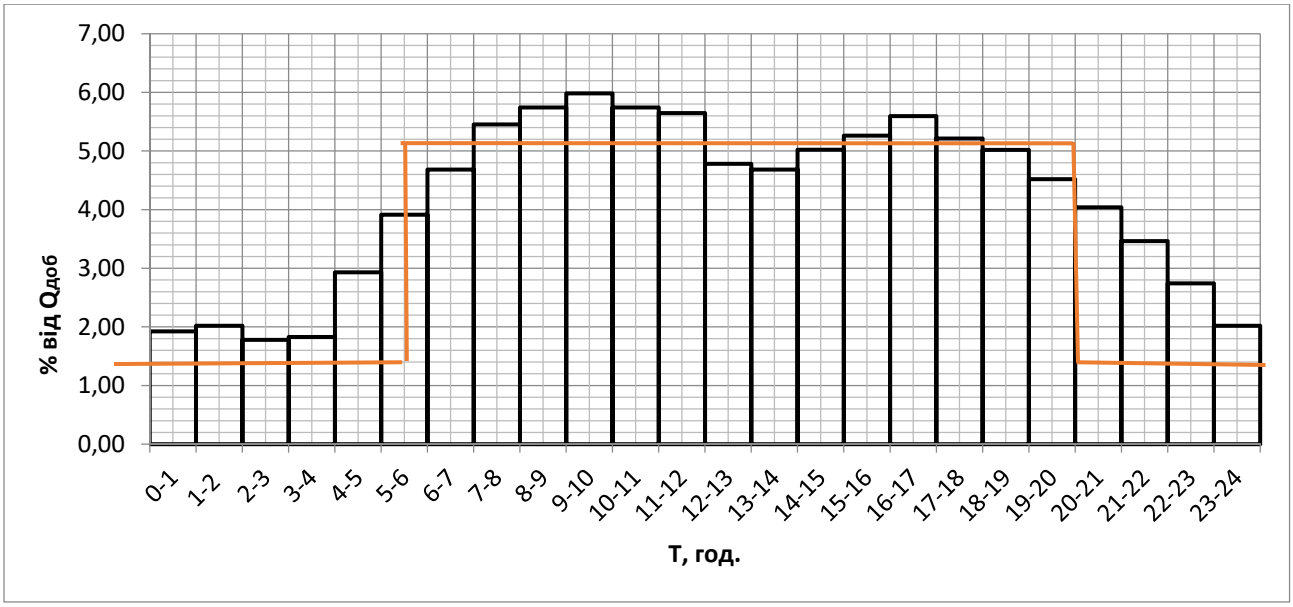


Рисунок 3.2 – Сумісний графік водоспоживання та подачі НС II підйому 1 зони

Таблиця 3.8 – Розрахунок регулювальної місткості башти 1 зони

Годинний проміжок	Витрата води містом, %	Подача води насосами, %	Надходження в бак, %	Витрата з баку, %	Залишок в баці, %
0-1	1,92	2,20	0,28		0,28
1-2	2,02	2,20	0,18		0,46
2-3	1,78	2,20	0,42		0,88
3-4	1,83	2,20	0,37		1,25
4-5	2,93	2,20		0,73	0,52
5-6	3,91	2,20		1,71	-1,20
6-7	4,68	5,35	0,66		-0,53
7-8	5,45	5,35		0,11	-0,64
8-9	5,74	5,35		0,40	-1,03
9-10	5,98	5,35		0,64	-1,67
10-11	5,74	5,35		0,40	-2,06
11-12	5,65	5,35		0,30	-2,36
12-13	4,78	5,35	0,57		-1,80

13-14	4,68	5,35	0,66		-1,14
14-15	5,02	5,35	0,33		-0,81
15-16	5,26	5,35	0,09		-0,73
16-17	5,60	5,35		0,25	-0,97
17-18	5,21	5,35	0,14		-0,84
18-19	5,02	5,35	0,33		-0,51
19-20	4,52	5,35	0,83		0,32
20-21	4,04	5,35	1,31		1,62
21-22	3,46	2,20		1,26	0,36
22-23	2,74	2,20		0,54	-0,18
23-24	2,02	2,20	0,18		0,00
Всього	100	100	6,33	6,33	

Повний об’єм водонапірної башти 1 зони визначаємо за формулою (3.3):

$$W_{нз} = 25\times600+2,5\times600 = 16,5 \text{ м}^3;$$

$$W_б = 1398 + 16,5 = 1414,5 \text{ м}^3.$$

Розраховуємо діаметр бака за формулою (3.4):

$$D_б = \sqrt[3]{1414,5/0.55} = 13,7 \text{ м};$$

Запас води на пожежогасіння, формула (3.6):

$$W_п = 2\times(3,6\times60\times3) + (2017+2102+2017) – (4,17\times35129\times3/100) = 3038 \text{ м}^3;$$

Повний об’єм водонапірної башти 2 зони визначаємо за формулою (3.1):

$$W_{рег} = \frac{(0,79 - (-2,05)) \times 44552}{100} = 1265 \, м^3;$$

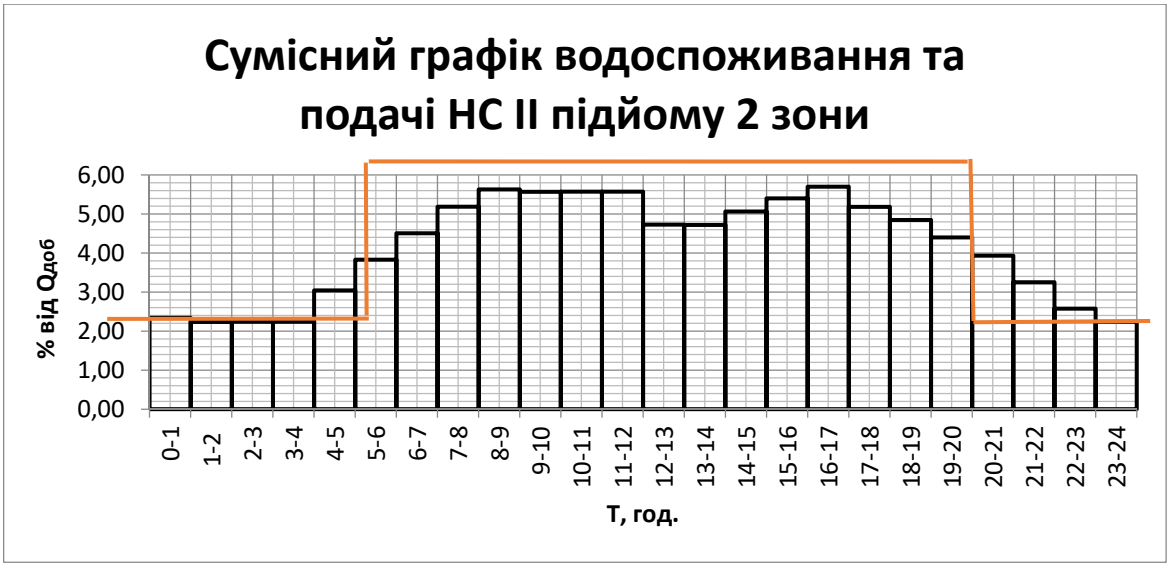


Рисунок 3.3 – Сумісний графік водоспоживання та подачі НС II підйому 2 зони

Запас води в баці, який дорівнює 10-хвилинній тривалості гасіння однієї зовнішньої та однієї внутрішньої пожеж:

$$W_{нз} = 35\times600+2,5\times600 = 22,5 \text{ м}^3;$$

Повний об'єм водонапірної башти визначаємо за формулою (3.3):

$$W_б = 1265 + 22,5 = 1287,5 \text{ м}^3.$$

Розраховуємо діаметр бака за формулою (3.4):

$$D_б = \sqrt[3]{1287,5/0.55} = 13,3 \text{ м};$$

Запас води на пожежогасіння, формула (3.6):

$$Wn = 2\times(3,6\times90\times3) + (2508+2481+24823) – (4,17\times44552\times3/100) = 3841 \text{ м3};$$

Таблиця 3.9– Розрахунок регулювальної місткості баку 2 зони

Годинний проміжок	Витрата води містом, %	Подача води насосами, %	Надходження в бак, %	Витрата з баку, %	Залишок в баці, %
1	2	3	4	5	6
0-1	2,62	2,46		0,16	-0,16

1-2	2,59	2,46		0,13	-0,29
2-3	2,42	2,46	0,04		-0,25
3-4	2,45	2,46	0,01		-0,24
4-5	3,26	2,46		0,80	-1,03
5-6	3,97	2,46		1,50	-2,54
6-7	4,53	5,19	0,66		-1,87
7-8	5,09	5,19	0,10		-1,77
8-9	5,36	5,19		0,17	-1,94
9-10	5,47	5,19		0,28	-2,22
10-11	5,30	5,19		0,11	-2,33
11-12	5,23	5,19		0,04	-2,37
12-13	4,60	5,19	0,59		-1,79
13-14	4,53	5,19	0,66		-1,13
14-15	4,78	5,19	0,41		-0,72
15-16	4,95	5,19	0,24		-0,48
16-17	5,35	5,19		0,16	-0,64
17-18	4,91	5,19	0,28		-0,36
18-19	4,77	5,19	0,42		0,06
19-20	4,41	5,19	0,78		0,84
20-21	4,06	5,19	1,13		1,97
21-22	3,64	2,46		1,18	0,79
22-23	3,12	2,46		0,66	0,13
23-24	2,59	2,46		0,13	0,00
Всього	100	100,00	5,32	5,32	

Таблиця 3.10 – Розрахунок об`єму РЧВ

Годинний проміжок	Надходження з оч.станції, %	Відбір води насосами, %	Надходження в РЧВ, %	Витрата з РЧВ, %	Залишок в РЧВ, %
0-1	4,16	2,33	1,83		1,83
1-2	4,16	2,33	1,83		3,66
2-3	4,16	2,33	1,83		5,49
3-4	4,16	2,33	1,83		7,32
4-5	4,16	2,33	1,83		9,15
5-6	4,17	2,33	1,84		10,99
6-7	4,17	5,27		1,10	9,89
7-8	4,17	5,27		1,10	8,79
8-9	4,17	5,27		1,10	7,69
9-10	4,17	5,27		1,10	6,59
10-11	4,17	5,27		1,10	5,50
11-12	4,17	5,27		1,10	4,40
12-13	4,17	5,27		1,10	3,30
13-14	4,17	5,27		1,10	2,20
14-15	4,17	5,27		1,10	1,10
15-16	4,17	5,27		1,10	0,00
16-17	4,17	5,27		1,10	-1,09
17-18	4,17	5,27		1,10	-2,19
18-19	4,17	5,27		1,10	-3,29
19-20	4,17	5,27		1,10	-4,39
20-21	4,17	5,27		1,10	-5,49
21-22	4,16	2,33	1,83		-3,66
22-23	4,16	2,33	1,83		-1,83
23-24	4,16	2,33	1,83		0,00
Всього	100	100	16,5	16,5	

Визначаємо об`єм резервуара чистої води за формулою (3.1):

$$W_{рег} = \frac{(10{,}99 — (-5{,}49)) \times 79681}{100} = 13\ 131\ м^3.$$

Повний об’єм резервуарів чистої води (РЧВ), формула (3.5):

$$W_{РЧВ} = 13131 + 1000 + (2248+2291) = 18\ 670\ м^3.$$

Приймаємо 4 резервуари чистої води, об’єм кожного 5000 м^3.

Приймаємо висоту в баці 5 м, тоді площа РЧВ буде дорівнювати:

$$S_{РЧВ} = 5000 / 5 = 1000\ м^2.$$

Виходячи з розрахованої площі баків, приймаємо стандартні блочні баки розмірами 25×40 та висотою 5 м.

3.3.3.2 Визначення питомих, шляхових та вузлових витрат

Питомі і шляхові витрати визначаємо для випадку максимального водоспоживання, вузлові – для кожного з прийнятих режимів роботи водопровідної мережі.

При відомих величинах в окремих районах питомих витрат визначаємо шляхові та вузлові витрати за формулами (2.10) та (2.11).

Розрахунок шляхових витрат для випадку максимального водоспоживання зведені у таблицях 3.11 –3.12.

Таблиця 3.11 – Визначення шляхових та вузлових витрат при $Q_{макс.год}$ *1* зони:

№ вузла	3 район				$Q_{вузл}$
	№діл	Довжина	$q_{пит}$	$Q_{шл}$	
1	1-2	741	0,02961	21,9	**21,94**
	1-20	145		4,3	
2	2-1	741		21,9	**68,67**
	2-16	392		11,6	
	2-15	385		11,4	
	2-3	801		23,7	
3	3-2	801		23,7	**52,56**
	3-6	271		8,0	
	3-4	370		11,0	
	3-7	333		9,9	
4	4-9	449		13,3	**24,25**
	4-3	370		11,0	
6	6-3	271		8,0	**31,55**
	6-21	795		23,5	
7	7-3	333		9,9	**27,45**
	7-8	594		17,6	
8	8-7	594		17,6	**53,30**
	8-14	462		13,7	
	8-10	744		22,0	
9	9-10	289		8,5	**21,84**
	9-4	449		13,3	
10	10-9	289		8,5	**37,80**
	10-8	744		22,0	
	10-11	244		7,2	

№ вузла	3 район				$Q_{вузл}$
	№діл	Довжина	$q_{пит}$	$Q_{шл}$	
11	11-10	244		7,2	**22,62**
	11-12	520		15,4	
12	12-11	520		15,4	**27,57**
	12-13	411		12,2	
13	13-12	411		12,2	**15,87**
	13-14	125		3,7	
14	14-13	125		3,7	**25,35**
	14-15	269		8,0	
	14-8	462		13,7	
15	15-14	269		8,0	**19,37**
	15-2	385		11,4	
16	16-2	392		11,6	**15,90**
	16-17	145		4,3	
17	17-16	145		4,3	**29,58**
	17-18	854		25,3	
18	18-17	854		25,3	**38,19**
	18-21	237		7,0	
	18-19	199		5,9	
19	19-18	199		5,9	**8,38**
	19-20	84		2,5	
20	20-19	84		2,5	**6,78**
	20-1	145		4,3	
21	21-6	795		23,5	**30,53**
	21-18	237		7,0	
∑		**19715**			**580**

Таблиця 3.12 – Визначення шляхових витрат при $Q_{макс.год}$ 2 зони:

№ вузла	1 район				2 район				$Q_{вузл}$
	№ діл	Довжина, м	$Q_{пит}$	$Q_{шл}$	№діл	Довжина, м	$q_{пит}$	$Q_{шл}$	
3'			0,03006		3'-6'	271	0,03049	8,3	**19,55**
					3'-4'	370		11,3	
4'					4'-5	373		11,4	**22,72**
					4'-3'	370		11,4	
5					5-4'	289		8,8	**43,91**
					5-6'	745		22,7	
					5-25	407		12,4	
6'					6'-3'	271		8,3	**41,76**
					6'-5	745		22,7	
					6'-22	354		10,8	
21'					21'-22	441		13,4	**29,50**
					21'-23	527		16,1	
22					22-21	441		13,4	**56,37**
					22-6'	354		10,8	
					22-24	1054		32,1	
23	23-24	437		13,1	23-24	437		13,3	**57,10**
	23-28	486		14,6	23-21	527		16,1	
24	24-23	218		6,6	24-22	1054		32,1	**99,84**
	24-25	466		14,0	24-23	109		3,3	
	24-27	967		29,1	24-25	484		14,7	
25	25-24	466		14,0	25-24	466		14,2	**54,76**
	25-26	472		14,2	25-5	407		12,4	

№ вузла	1 район				2 район				$Q_{вузл}$
	№ діл	Довжина, м	$Q_{пит}$	$Q_{шл}$	№діл	Довжина, м	$q_{пит}$	$Q_{шл}$	
26	26-25	472		14,2					**28,09**
	26-27	463		13,9					
27	27-26	463		13,9					**56,28**
	27-24	967		29,1					
	27-28	442		13,3					
28	28-27	442		13,3					**27,90**
	28-23	486		14,6					
∑		**7245**				**10491**			**538**

3.3.3.3 Початковий потокорозділ і вихідні розрахункові схеми мережі

При визначенні початкового потокорозділу для всіх розрахункових режимів схему мережі креслимо без масштабу, але дотримуючись схеми, на яку нанесемо значення всіх вузлових і зосереджених витрат. Місто розділено на 2 окремих зони. Вода подається від однієї насосної станції, але різною групою насосів для кожної зони. До магістральної мережі 1 зони водоводи примикають в точці 1, та другій – в точці 21'. Розрахункові точки пожежогасіння приймаємо точки 6, 11 та 26, 5' та на п/п №1, 2 в другій зоні.

Всі вище приведені вказівки і розрахунки враховані на схемах мережі (рис.3.4) і в табл. 3.13, 3.14.,

Таблиця 3.13– Призначені діаметри ділянок 1зони і швидкості на них

№	$Q_{макс}$,л/с	D, мм	L, м	$U_{макс}$
1-2	379,57	600	1482	1,34
2-3	80	300	801	1,13
3-4	14,25	150	740	0,81
4-9	10	150	898	0,57
9-10	31,84	200	577	1,01
10-11	39,64	200	488	1,26
11-12	62,26	250	1040	1,27
12-13	89,83	300	411	1,27
13-14	105,7	300	125	1,50
14-15	181,05	400	269	1,44
15-2	200,42	450	385	1,26
3-7	60,75	250	333	1,24
7-8	33,3	200	594	1,06
8-14	50	250	462	1,02
8-10	30	200	744	0,96
1-20	177,99	500	290	0,91
20-19	171,21	500	168	0,87
19-18	162,83	500	398	0,83
18-17	15	150	854	0,85
17-16	14,58	150	145	0,83
16-2	30,48	200	392	0,97
21-18	109,64	350	473	1,14
21-6	79,11	300	1589	1,12
6-3	47,56	250	542	0,97

Таблиця 3.14 – Призначені діаметри ділянок 2 зони і швидкості на них

№	$Q_{макс}$,л/с	D, мм	L, м	$U_{макс}$
6'-5'	50	350	745	0,52
22-6'	177,94	400	707	1,42
21'-22	384,31	600	882	1,36
21'-23	275,37	500	1053	1,40
24-22'	118,27	350	1054	1,23
25-5	50	250	813	1,02
24-25	88,43	300	931	1,25
23-24	118,27	350	873	1,23
28-27	79,3	300	884	1,12
27-26	55,58	250	926	1,13
28-23	100	300	972	1,42
27-24	80	300	967	1,13
26-25	83,67	300	943	1,18
6'-3'	86,18	300	542	1,22
3'-4'	66,63	250	740	1,36
4'-5	43,91	200	577	1,40

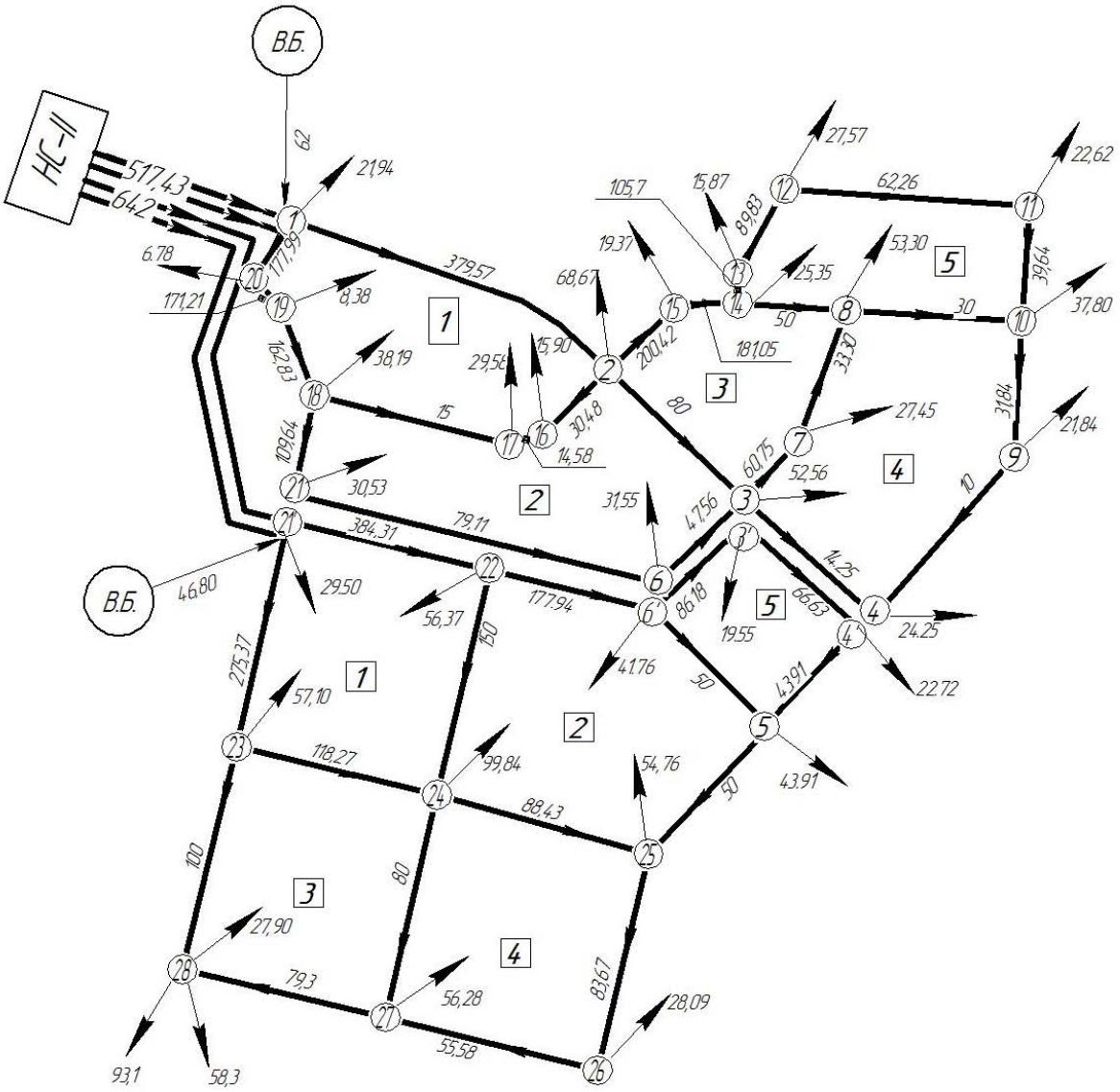


Рисунок 3.4 – Початковий потокорозподіл в годину максимального водоспоживання при паралельній схемі зонування

3.3.3.4 Гідравлічна ув’язка на ЕОМ водопровідної мережі для години максимального водоспоживання і пожежогасіння в годину максимального водоспоживання

Враховуючи наведені вище розрахункові витрати води для всіх ділянок, необхідно виконати власне гідравлічний розрахунок (“ув’язку”) мережі, тобто визначити величини дійсних витрат по лініях мережі при прийнятих діаметрах.

Ув’язка необхідна тому, що попередній розподіл витрат, а отже, і діаметрів проводився без дотримання умови $\Delta h_k = 0$. Після оформлення схеми перевіряємо умову:

$$\sum q_{узл.} = 0\,;\ \sum h_k \le 0{,}01\,.$$

Ув’язку виконуємо тільки для режиму максимального водоспоживання в он-лайн програмі PLUMBING.WEB 3.20 за методом Ньютона.

Таблиця 3.15 – Результати ув’язки для режиму максимального водоспоживання 1 зони

№ п/п	Номер ділянки	Витрата, л/с	Швидкість м/с	Витрати, м	Направлення	Діаметр, мм
1	1-2	420,6	2,011	11,69	(1)→(2)	500
2	2-3	125,8	0,94	1,94	(2)→(3)	400
3	3-4	34,9	0,65	1,56	(3)→(4)	250
4	4-9	10,65	0,54	2,40	(9)←(4)	150
5	9-10	11,19	11,19	0,56	(9)←(10)	150
6	10-11	11,46	0,58	1,50	(11)←(10)	150
7	11-12	11,16	0,56	3,04	(11)←(12)	150
8	12-13	38,73	0,72	1,05	(12)←(13)	250
9	13-14	54,6	0,72	0,26	(13)←(14)	300
10	14-15	199,1	0,95	0,50	(14)←(15)	500

№ п/п	Номер ділянки	Витрата, л/с	Швидкість м/с	Витрати, м	Направлення	Діаметр, мм
11	15-2	218,5	1,04	0,82	(15)←(2)	500
12	3-7	22,03	0,64	0,87	(3)→(7)	200
13	7-8	5,424	0,27	0,45	(7)←(8)	150
14	8-14	119,2	0,89	1,01	(8)←(14)	400
15	8-10	60,45	0,79	1,84	(8)→(10)	300
16	1-20	136,9	0,82	0,26	(1)→(20)	400
17	20-19	130,1	1,26	0,82	(20)→(19)	350
18	19-18	121,8	1,60	3,76	(19)→(18)	300
19	18-17	37,82	1,09	6,24	(18)→(17)	200
20	17-16	8,23	0,24	0,06	(16)←(17)	200
21	16-2	7,66	0,1	0.02	(16)←(2)	300
22	21-18	45,76	0,60	0,69	(21)←(18)	300
23	21-6	15,23	0,77	8,34	(21)→(6)	150
34	6-3	16,32	0,47	0,81	(6)←(3)	200

Таблиця 3.16 – Результати ув’язки для режиму максимального водоспоживання 2 зони

№ п/п	Номер ділянки	Витрата, л/с	Швидкість, м/с	Витрати, м	Направлення	Діаметр, мм
1	3’-4’	38.25	0,71	1,84	(3’)→(4’)	250
2	21’-22	395.2	1.89	6.16	(21’)→(22)	500
3	22-6’	138	1.33	3.88	(22)→(6’)	350
4	21’-23	264.5	1.98	10.66	(21’)→(23)	400
5	24-22	200.8	1.51	6.25	(24)←(22)	400
6	25-5	10.08	0.30	0.49	(25)←(5)	200
7	24-25	77.96	1.03	3.73	(25)←(24)	300

№ п/п	Номер ділянки	Витрата, л/с	Швидкість, м/с	Витрати, м	Направлення	Діаметр, мм
8	23-24	54.4	0,72	1.77	(24)←(23)	300
9	28-27	26.33	0,76	3.28	(28)←(27)	200
10	27-26	5.19	0.15	0,17	(27)←(26)	200
11	28-23	153	2.01	14.32	(28)←(23)	300
12	27-24	77.42	1.45	9.29	(27)←(24)	250
13	26-25	33.28	0.96	5.39	(26)←(25)	200
14	6’-3’	57.8	1.05	2.97	(3’)←(6’)	250
15	6’-5’	38.46	1.11	5.61	(6’)→(5’)	200
16	5-4’	15.53	0.45	0.78	(5)←(4’)	200

3.3.3.5 Визначення п’єзометричних позначок і вільних напорів у вузлах мережі

Визначення розрахункових позначок починаємо з визначення місця знаходження невигідної точки мережі, тобто точки, яка в місці підключення водоводів до мережі вимагає найбільшої п’єзометричної позначки.

Вибираємо вузол 15 в якості невигідної точки 1 зони та вузол 6’ для друої зони. Необхідний напір в цих вузлах визначаємо за формулою (3.14):

$$Н_{необх1зона} = 6 + 4х9 = 42м;$$

$$Н_{необх2зона} = 6 + 4х6 = 30м;$$

Визначаємо п’єзометричні позначки за формулою (3.15):

$$П_{н.т.} = 252 + 42 = 294{,}0 \text{ м};$$

$$П_{н.т.} = 233 + 30 = 263{,}0 \text{ м}.$$

Виходячи з визначеної п’єзометричної позначки невигідної точки, знаходимо наступні позначки всіх інших вузлів мережі в залежності від втрат напору. Визначаємо вільні напори в кожному з вузлів мережі.

Ці розрахунки приведені в графічній частині відповідно для режиму максимального водоспоживання.

При режимі максимального водоспоживання вільний напір в деяких вузлах перевищує припустимий (45 м вод. ст.). Тому, в цих вузлах встановлюємо арматуру для пониження тисків.

Проектується насосна станція другого підйому, продуктивністю 79681 м^3/доб, яка подає питну воду населенню міста. Станція має 2 групи насосів, які подають воду до кожної зони окремими групами насосів.

Насосна станція II підйому належить до 1 категорії надійності, тобто допускається перерва в подачі води на час (не більше 10 хв.), необхідний для для вимкнення пошкоджених та включення резервних елементів (обладнання, арматури, трубопроводів), та зниження подачі води на господарсько-питні потреби не більше 30% розрахункової витрати та на промислові потреби до межі, встановленій аварійним графіком роботи підприємств, при тривалості зниження не більше 3 діб. Вода подається в місто по двом напірним водоводам довжиною 2000 м з резервуарів чистої води РЧВ.

Розташована насосна станція на позначці 260,0 м.

3.3.3.6 Визначення розрахункової подачі насосів

Згідно з розрахунками в пункті 3.3.3.1, продуктивність насосів 1 групи:

Для першого ступеню годинна подача:

$$Q_1 = 772{,}85 \text{ м}^3/\text{год} = 214{,}68 \text{ л/с};$$

Для другого:

$$Q_2 = 2381{,}95 \text{м}^3/\text{год} = 661{,}65 \text{ л/с}.$$

Продуктивність насосів 2 групи:

$$Q_1 = 1096{,}41 \text{ м}^3/\text{год} = 304{,}56 \text{ л/с};$$

Q_2 = 2312,22 м^3/год = 642,28 л/с.

3.3.3.7 Визначення діаметрів всмоктуючих та напірних водоводів

Кількість всмоктуючих ліній на водопровідних насосних станціях I категорії [1] незалежно від кількості груп насосів, включаючи пожежні, повинна бути не менш двох.

Для кожної групи насосів - 2 всмоктувальні лінії.

Розрахункова витрата кожного із всмоктуючих водоводів, формула (3.1):

$$Q_{всм.в.1гр} = 661.65 / (2 - 1) = 661.65 \text{ л/с};$$

$$Q_{всм.в.2гр} = 642.28 / (2 - 1) = 642.28 \text{ л/с}.$$

Діаметри *всмоктуючих водоводів* визначаються з урахуванням пропуску витрати $Q_{всм.в}$. Приймаємо: для 1 групи - сталеві електрозварні труби *d=800 мм, v=1,318 м/с i=0,00249* [2], для 2 групи - сталеві електрозварні труби *d=800 мм, v=1,281 м/с i=0,002351*[2] .

Число напірних водоводів від насосної станції також повинно бути не менше двох.

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

При розрахунку насосних станцій другого підйому для трьох варіантів мережі обмежуємось тільки підбором насосів. Так, як тип та кількість насосних агрегатів впливатимуть на техніко-економічний розрахунок.

4.1 Насосна станція другого підйому при централізованій мережі міста

Проектується насосна станція другого підйому, продуктивністю 79681 м^3/доб, яка подає питну воду населенню міста.

Насосна станція II підйому належить до 1 категорії надійності, тобто допускається перерва в подачі води на час (не більше 10 хв.), необхідний для для вимкнення пошкоджених та включення резервних елементів (обладнання, арматури, трубопроводів), та зниження подачі води на господарсько-питні потреби не більше 30% розрахункової витрати та на промислові потреби до межі, встановленій аварійним графіком роботи підприємств, при тривалості зниження не більше 3 діб. Вода подається в місто по двом напірним водоводам довжиною 2000 м з резервуарів чистої води РЧВ.

Розташована насосна станція на позначці 260 м.

4.1.1 Визначення розрахункової подачі насосів

Згідно з розрахунками в пункті 3.3.3.1:

Для першого ступеню годинна подача:

Q_1 = 2080,5 м^3/год = 578 л/с;

Для другого:

Q_2 =4063 м^3/год =1129 л/с.

4.1.2 Визначення діаметрів всмоктувальних та напірних водоводів

Кількість всмоктуючих ліній на водопровідних насосних станціях I категорії [1] незалежно від кількості груп насосів, включаючи пожежні, повинна бути не менш двох.

Розрахункова витрата кожного із всмоктуючих водоводів:

$$Q_{всм.в.} = Q_{max.н.ст}./ (n_{всм.в..} - 1), \quad (4.1)$$

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

$n_{вс.}$ – кількість всмоктуючих водоводів.

$$Q_{всм.в.} = 1129./ (2 – 1) = 1129 \text{ л/с}.$$

Діаметри *всмоктуючих водоводів* визначаються з урахуванням пропуску витрати $Q_{всм.в}$. Приймаємо сталеві електрозварні труби *d=1000 мм, v=1,44 м/с i=0,00223*[2].

Число напірних водоводів від насосної станції також повинно бути не менш двох.

Розрахункова витрата кожного з напірних водоводів:

$$Q_{н.в.} = Q_{max.н.ст}./ n_{н.}, \quad (4.2)$$

де $n_{н}$ – кількість напірних водоводів.

$Q_{н.в.} = 1129./ 2 = 564,5$ л/с.

Приймаємо *загальний напірний трубопровід із сталевих труб D = 700 мм, v=1,471м /с, i=0,00369*[2].

4.1.3 Визначення розрахункового напору насосів

Так як до компоновки обладнання точні втрати напору у комунікаціях насосної станції визначити неможливо, то для попередніх розрахунків потрібний напір насосів визначається за формулою:

$$H_p = H_r + h_{в.в} + h_{н.с.} + h_{вдм.} + h_{н.в}, \quad (4.3)$$

де H_r – геометрична висота підйому;

$h_{в.в}$ – втрати у всмоктуючих трубопроводів від РЧВ до насосної станції, приймається $h_{в.в}$ = 0,5м[5];

$h_{н.с.}$ – втрати напору в насосній станції, приймається $h_{н.с.}$=1,0-2,5м ;

$h_{вдм}$ – втрати у водомірі, приймається $h_{вдм}$=1,0-1,5 м [5];

$h_{н.в}$ – втрати в напірних водоводах;

Геометрична висота підйому:

$$H_r = Z - Z_{р.мін.}, \quad (4.4)$$

де Z – п'єзометрична позначка підключення водоводів до мережі Z =296,28 м;

$Z_{р.мін}$ – пожежний рівень води в РЧВ, $Z_{р.мін}$ =256,24 м.

H_r = 296,28-256,24 =40,56 м.

Втрати напору у водоводах при максимальному водоспоживанні для водопровідних насосних станцій визначаються за формулою:

$$H_{н.в} = 1{,}1 \times il, \quad (4.5)$$

де i – питомі втрати напору [2];

l – довжина напірного водоводу, за генпланом l = 2000 м.

Із зміною подачі насосів при їх ступінчатій роботі змінюються втрати напору у водоводах, тому потрібний напір насосів визначається для кожного ступня:

– для першого ступеню:

$$Q_{н.в.} = 577{,}9 / 2 = 288{,}95 \text{ л/с}.$$

При визначеному діаметрі напірних водоводів 700мм:

v=0,75 м/с, i=0,001037 [2];

$$h_{н.в} = 1{,}1 \times 0{,}00369 \times 2000 = 8{,}12 \text{ м};$$

– для другого ступеню:

$$h_{н.в} = 1{,}1 \times 0{,}001037 \times 2000 = 2{,}28 \text{ м};$$

$$H_{p1} = 40{,}56 + 0{,}5 + 1{,}7 + 1{,}2 + 2{,}28 \approx 46{,}2 \text{ м};$$

$$H_{p11} = 41{,}475 + 0{,}5 + 1{,}7 + 1{,}2 + 8{,}12 \approx 53 \text{ м}.$$

4.1.4 Підбір насосів та електродвигунів до них

Насоси підбираються на підставі витрат та напорів за допомогою каталогу [6].

На першому ступеню працює два насоси марки 1Д 1250-63а, а на другому до нього підключаються ще два насоси цієї ж марки з технічними характеристиками:

- Q=1016 м^3/год;
- H=53м;
- n = 1450 об/хв.;
- D = 418 мм.

Характеристика насоса представлена на рисунку 4.2, взята з каталога[6] .

На насосній станції окрім основних насосів встановлюються ще два резервних насоси цієї ж марки [1].

Електродвигуни підбираються на підставі потужності та частоти обертів робочого колеса насосу.

Потужність насосу:

$$P_н = \rho \times g \times Q \times H / (1000\ \eta_н)\ , \qquad (4.5)$$

де ρ – щільність рідини, кг/м^3;

Q – подача насосу, м^3/с;

H – напор насосу, м;

$\eta_н$ – ККД насосу при подачі Q;

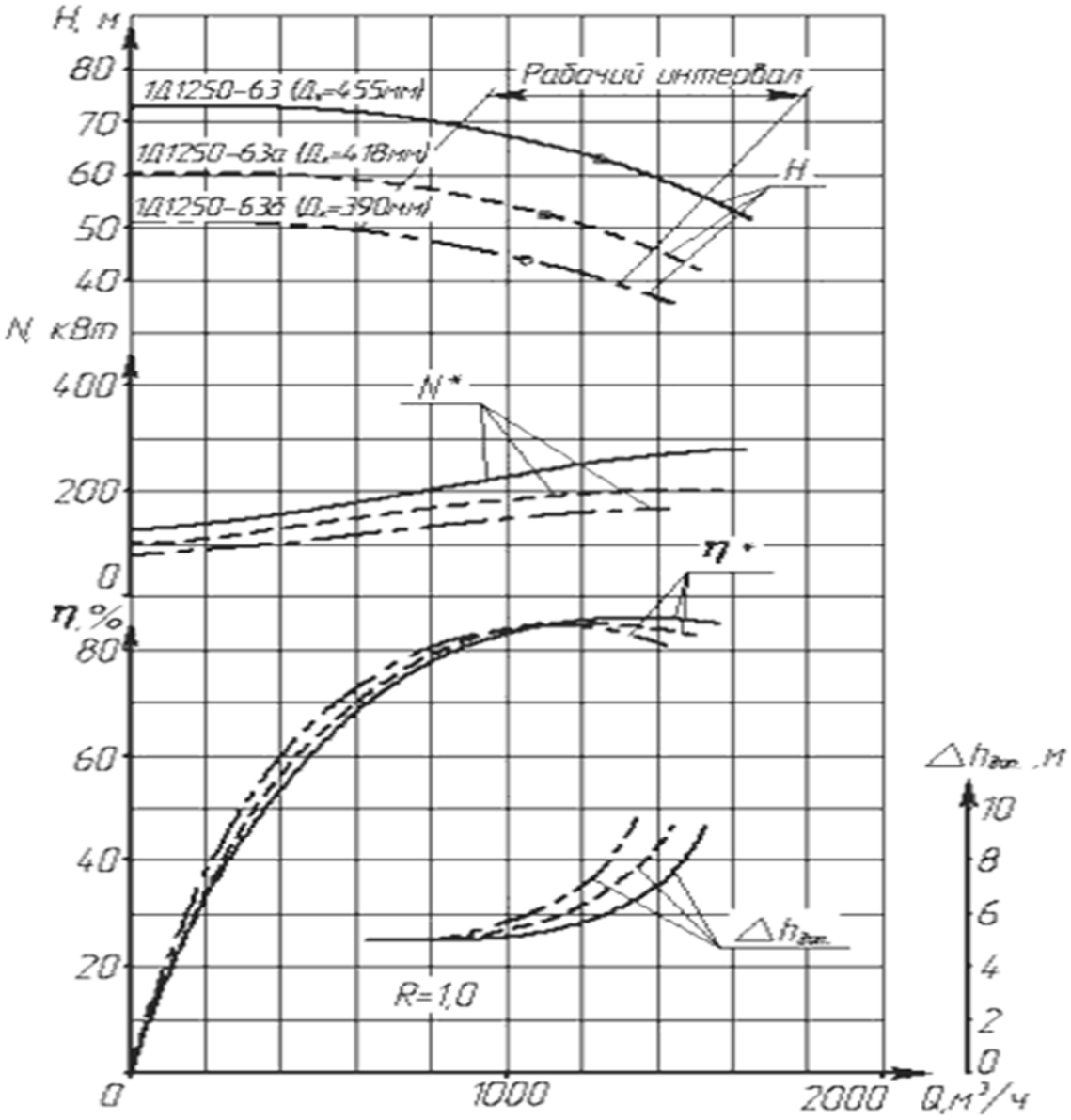


Рис.4.1 – Характеристика насосу 1Д1250-63

$P_н$ = 1000×9,81×0,29×53/1000×0,85= 177,4 кВт.

Потужність приводного двигуна:

$$P = k \times P_н / \eta_н \,, \qquad (4.6)$$

де k – коефіцієнт запасу, який враховує можливі перевантаження та приймається 1,15 [5];

$\eta_н$ – *ККД* передачі (при безпосередньому з'єднанні валу насосу та електродвигуна, $\eta_н = 1$).

$P = 1{,}15 \times 177{,}4 = 204$ кВт.

Розрахована потужність насосу відповідає потужності комплектуючого двигуна марки 5АН355-А4 У3.

Вибір насосів та електродвигунів не змінний і при централізованій мережі зі зменшеними діаметрами.

4.2 Насосна станція другого підйому при паралельній схемі зонування

4.2.1 Умови забору та подачи води

Розрахункова витрата кожного з напірних водоводів, формула (4.2):

$Q_{н.в.1гр} = 661.65 / 2 = 330.82$ л/с;

$Q_{н.в.2гр} = 642.28 / 2 = 321.14$ л/с.

Приймаємо: для 1 групи загальний напірний трубопровід із сталевих труб D = 600 мм, v=1,166м /с, i=0,002841, для 2 групи загальний напірний трубопровід із сталевих труб D = 600 мм, v=1,1132 м /с, i=0,002688[2];

4.2.2 Визначення розрахункового напору насосів

Так як до компоновки обладнання точні втрати напору у комунікаціях насосної станції визначити неможливо, то для попередніх розрахунків потрібний напір насосів визначається за формулою (4.3).

Геометрична висота підйому, формула (4.4):

$H_{г.1гр.} = 306.54\text{-}256.24 = 50.3$ м;

$H_{г.2гр.} = 273.04 – 256.24 = 16.8$ м .

Втрати напору у водоводах при максимальному водоспоживанні для водопровідних насосних станцій визначаються за формулою (4.5).

Із зміною подачі насосів при їх ступінчатій роботі змінюються втрати напору у водоводах, тому потрібний напір насосів визначається для кожного ступня:

- для першого ступеню 1 групи насосів:

$Q_{н.в.1гр}$ = 214.68 ./ 2 = 107.34 л/с;

При визначеному діаметрі напірних водоводів 600мм:

v=0.4 м/с, i=0,000362 [2];

- для першого ступеню 2 групи насосів:

$Q_{н.в.2гр}$ = 304.56 ./ 2 = 152.3 л/с.

При визначеному діаметрі напірних водоводів 600мм:

v=0,54м/с, i=0,00068 [2];

$h_{н.в1гр}$ = 1,1×0,000362 ×2000 = 0.79 м;

$h_{н.в2гр}$ = 1,1×0, 00068×2000 = 1.49 м;

- для другого ступеню:

$h_{н.в1гр}$ = 1,1×0,002841×2000 = 6.25 м;

$h_{н.в2гр}$ = 1,1×0,002688×2000 = 5.91 м.

Розрахунковий потрібний напір для 1 групи:

H_{p1} = 50.3 + 0,5+1,8+1,2+ 0.79 ≈ 54,6 м;

H_{p11} = 50.3+0,5+1,8+1,2+6.25 ≈ 60.05 м.

Розрахунковий потрібний напір для 2 групи:

H_{p1} = 16.8 + 0,5+1,8+1,2+ 1.49 ≈ 21.79 м;

H_{p11} = 16.8 +0,5+1,8+1,2+5.91 ≈ 26.21 м.

4.2.3 Вибір насосного обладнання та електродвигунів

Насоси підбираються на підставі витрат та напорів за допомогою каталогу [6].

Перша група насосів, що подають воду в мережу 1 зони міста:

на першому ступеню працює один насос марки 1Д 800-56, а на другому до нього підключаються два насоси цієї ж марки з технічними характеристиками:

- Q=775м^3/год ;
- H=60 м;
- n = 1450 об/хв;
- D = 430 мм.

Характеристика насоса також наводиться на рисунку 4.3, взята з каталогу [6]:

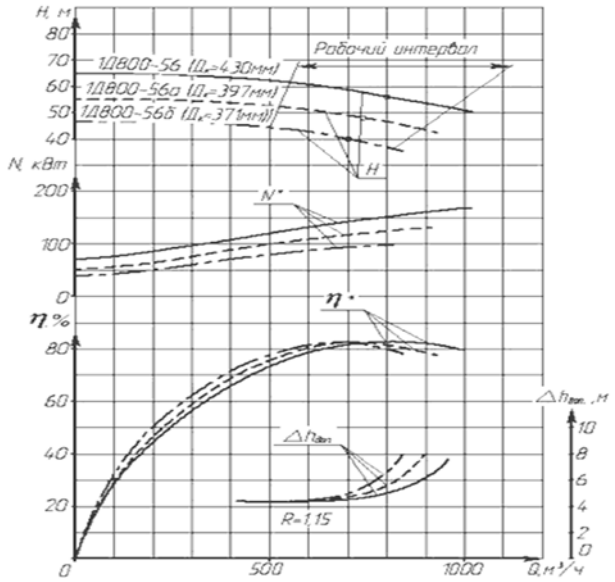


Рис.4.2 – Характеристика насосу 1Д 800-56

На насосній станції окрім основних насосів встановлюються ще два резервних насоси цієї ж марки [1].

Електродвигуни підбираються на підставі потужності та частоти обертів робочого колеса насосу.

Потужність насосу визначається за формулою (4.5):

$P_н$ = 1000×9,81×0,11×60/1000×0,81= 79,9 кВт.

Потужність приводного двигуна, формула (4.6):

P = 1,15× 79,9 = 91,88 кВт.

Розрахована потужність насосу відповідає потужності комплектуючого двигуна марки А4-355-LK4 У3, Т3.

Друга група насосів, що подають воду в мережу 2 зони міста:

на першому ступеню працює один насос марки 1Д 1600-90, а на другому до нього підключаються ще один насос цієї ж марки з технічними характеристиками:

- Q=1100 м^3/год;
- H=27 м;
- n = 980 об/хв.;
- D = 458 мм.

Характеристика насоса також наводиться в каталозі (рис.3.5) [6].

На насосній станції окрім основних насосів встановлюються ще два резервних насоси цієї ж марки [1].

Електродвигуни підбираються на підставі потужності та частоти обертів робочого колеса насосу.

Потужність насосу, формула (4.5):

$P_н$ = 1000×9,81×0,30×27/1000×0,85= 93,48 кВт.

Потужність приводного двигуна, формула (4.6):

P = 1,15×93,48= 107,5 кВт.

Розрахована потужність насосу відповідає потужності комплектуючого двигуна марки 5АМ315-М4 У3, Т2.

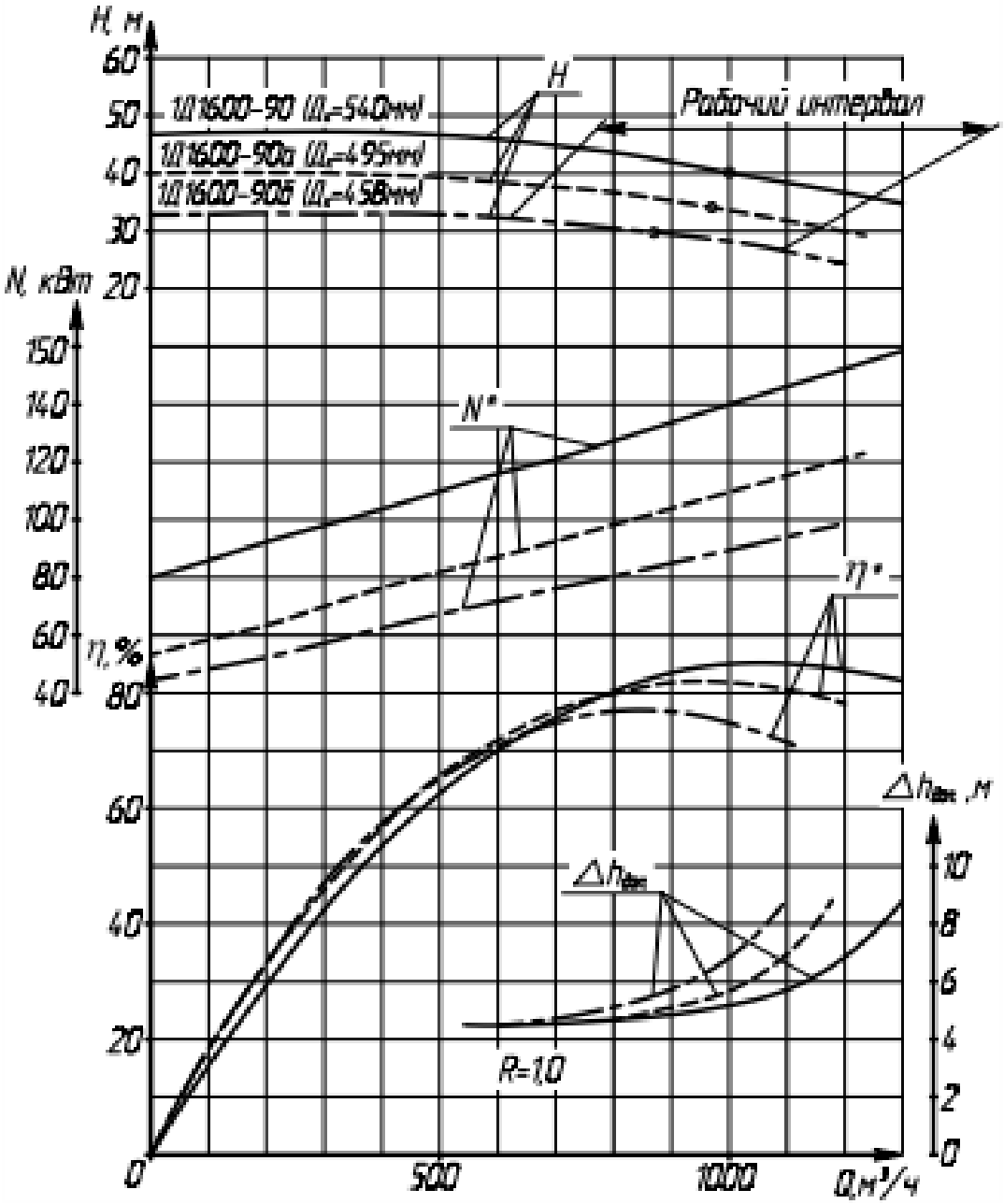


Рис.4.3 – Характеристика насосу 1Д 1250-63б

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне проєктування системи водопостачання міського населеного пункту з урахуванням сучасних технологій моніторингу.

У ході виконання роботи було проаналізовано сучасний стан систем водопостачання та встановлено, що більшість водопровідних мереж характеризується значним рівнем фізичного зносу, що призводить до підвищення аварійності та втрат води. Особливої актуальності питання модернізації систем водопостачання набувають в умовах повоєнної відбудови.

На основі вихідних даних визначено чисельність населення районів міста, розраховано добові витрати води на господарсько-питні потреби, полив територій, а також потреби промислових підприємств. Встановлено режим водоспоживання міста та визначено максимальні і мінімальні навантаження на систему.

У процесі проєктування виконано гідравлічний розрахунок водопровідної мережі, визначено питомі, шляхові та вузлові витрати води, здійснено початковий потокорозподіл та гідравлічну ув’язку мережі. За результатами розрахунків забезпечено необхідні напори у всіх вузлах мережі, що відповідають нормативним вимогам.

Визначено місткість регулювальних резервуарів, які забезпечують вирівнювання нерівномірності водоспоживання та створення запасу води для надійної роботи системи.

Виконано зонування водопровідної мережі, що дозволило оптимізувати розподіл тиску, зменшити втрати води та підвищити ефективність експлуатації системи. Запропонований поділ на зони забезпечує стабільне водопостачання споживачів у різних частинах міста.

У роботі визначено основні технологічні параметри насосної станції, зокрема діаметри трубопроводів, розрахунковий напір насосів та виконано підбір насосного обладнання. Передбачено використання резервного насосного агрегату для підвищення надійності системи.

Окрему увагу приділено впровадженню сучасних технологій моніторингу, зокрема систем диспетчеризації та контролю параметрів роботи мережі. Використання таких систем дозволяє здійснювати оперативний контроль тиску, своєчасно виявляти аварійні ситуації та оптимізувати режими роботи системи водопостачання.

Отримані результати мають практичне значення та можуть бути використані при проєктуванні нових і реконструкції існуючих систем водопостачання міських населених пунктів.

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне проєктування мережі водопостачання міського населеного пункту з урахуванням сучасних технологій моніторингу. У процесі виконання роботи було проаналізовано сучасний стан систем водопостачання міських населених пунктів та визначено основні проблеми їх функціонування, зокрема значний рівень зношеності трубопроводів, втрати води під час транспортування та необхідність модернізації інженерної інфраструктури в умовах повоєнної відбудови.

У першому розділі роботи розглянуто технологічні основи проєктування водопровідних мереж, проаналізовано нормативно-правову базу у сфері водопостачання, а також досліджено сучасні технології моніторингу стану інженерних мереж. Встановлено, що використання автоматизованих систем контролю дозволяє підвищити ефективність експлуатації водопровідних систем та забезпечити своєчасне виявлення аварійних ситуацій.

У другому розділі визначено вихідні дані для проєктування мережі водопостачання, наведено характеристику міста та умов водоспоживання. Проведено розрахунок добових витрат води та визначено режим водоспоживання, що є необхідним для подальшого виконання гідравлічних розрахунків системи водопостачання.

У третьому розділі виконано проєктування водопровідної мережі. Визначено місткість регулювальних резервуарів, проведено гідравлічний розрахунок мережі, визначено питомі, шляхові та вузлові витрати води, виконано гідравлічну ув’язку мережі та визначено п’єзометричні позначки і

вільні напори у вузлах. Також у роботі розглянуто зонування водопровідної мережі, що дозволяє оптимізувати розподіл тиску у системі та підвищити ефективність її функціонування.

У четвертому розділі визначено технологічні параметри насосної станції, зокрема діаметри всмоктувальних і напірних водоводів, розрахунковий напір насосів та виконано підбір насосного обладнання. Крім того, розглянуто можливість організації моніторингу тиску у вузлах мережі з використанням сучасних автоматизованих систем контролю.

Отримані результати можуть бути використані під час проєктування нових та реконструкції існуючих систем водопостачання міських населених пунктів. Запропоновані рішення сприяють підвищенню надійності функціонування водопровідних мереж, зменшенню втрат води та покращенню якості водопостачання споживачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 287 с.

2. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. – Київ : Мінрегіон України, 2012. – 105 с.

3. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – Київ : МОЗ України, 2010. – 52 с.

4. Про питну воду та питне водопостачання : Закон України від 10.01.2002 № 2918-III. Верховна Рада України.

5. World Bank, Government of Ukraine, European Union, United Nations. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA3). Washington, 2024. – 411 p.

6. Каталог насосного обладнання. – Київ: Назва видавництва, 2023 – 120 с.

7. UNICEF. Water Supply and Damage Assessment in Ukraine. New York, 2023. – 95 p.

8. UNDP. Infrastructure Recovery Strategy for Ukraine. Kyiv, 2024. – 146 p.

9. Журба М. Г. Системи водопостачання та водовідведення. – Київ : Кондор, 2017. – 480 с.

10. Орлов В. О. Водопостачання населених пунктів. – Київ : КНУБА, 2016. – 312 с.

11. Тугай А. М. Водопостачання: підручник. – Київ: КНУБА, 2016. – 296 с.

12. Кравченко В. С. Водопостачання та водовідведення. – Київ : Вища школа, 2019. – 312 с.

13. Данилов О. М. Сучасні системи автоматизації водопостачання // Водне господарство України. – 2019. – №3. – С. 25–31.

14. Костюк О. В. Моніторинг та управління водопровідними мережами. – Львів : Львівська політехніка, 2021. – 214 с.

15. SCADA-системи у водопостачанні: сучасні підходи до диспетчеризації // Вісник інженерної академії України. – 2022. – №2. – С. 41–48.

16. Міністерство розвитку громад та територій України. Методичні рекомендації з відбудови інфраструктури водопостачання. – Київ, 2025. – URL: https://mtu.gov.ua/ (дата звернення: 29.04.2025).

17. Василенко О. А. Інженерні мережі будівель і споруд. – Київ : Вища школа, 2012. – 390 с.

18. Пономаренко В. С. Експлуатація систем водопостачання. – Харків : ХНАМГ, 2011. – 265 с.

19. Лисенко С. В., Петренко І. О. Системи водопостачання: сучасний стан та перспективи розвитку. – Київ : Ліра-К, 2023. – 180 с.

20. Ковальчук М. В. Гідравлічні розрахунки трубопроводів. – Київ : Освіта України, 2013. – 240 с.

21. Черненко Л. Г., Савченко Т. В. Відновлення комунальної інфраструктури після військових дій // Громадське будівництво. – 2025. – №2. – С. 18–27.

22. Добровольська О. Г. Водопровідні мережі : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2022. 221 с.

23. Добровольська О. Визначення впливу структури мережі на розподіл вузлових напорів. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2019. № 12. С. 51-58.

24. Добровольська О.Г., Чудновський П.Б. Застосування ефективних технологій відновлення мереж транспортування води у післявоєнний період. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2023. № 19. С. 58–67. URL: https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-9(19)-07.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1

Господарсько-питні потреби міста											
Населення						Поливка					
I район		II район		III район		I район		II район		III район	
%	м³	%	м³	%	м³	двірн. м³	маш., м³	двірн. м³	маш. м³	двірн. м³	маш. м³
1,5	184	1,5	269	2	676	-	-	-	-	-	-
1,5	184	1,5	269	2,1	710	-	-	-	-	-	-
1,5	184	1,5	269	1,85	625	-	-	-	-	-	-
1,5	184	1,5	269	1,9	642	-	-	-	-	-	-
2,5	306	2,5	449	2,85	963	23	-	34	-	67	-
3,5	428	3,5	629	3,7	1250	23	19	34	29	67	57
4,5	551	4,5	808	4,5	1521	23	19	34	29	67	57
5,5	673	5,5	988	5,3	1791	23	19	34	29	67	57
6,25	765	6,25	1122	5,8	1960	-	19	-	29	-	57
6,25	765	6,25	1122	6,05	2044	-	19	-	29	-	57
6,25	765	6,25	1122	5,8	1960	-	19	-	29	-	57
6,25	765	6,25	1122	5,7	1926	-	19	-	29	-	57
5	612	5	898	4,8	1622	-	19	-	29	-	57
5	612	5	898	4,7	1588	-	19	-	29	-	57
5,5	673	5,5	988	5,05	1706	-	19	-	29	-	57
6	734	6	1078	5,3	1791	-	19	-	29	-	57
6	734	6	1078	5,45	1842	23	19	34	29	67	57
5,5	673	5,5	988	5,05	1706	23	19	34	29	67	57
5	612	5	898	4,85	1639	23	19	34	29	67	57
4,5	551	4,5	808	4,5	1521	23	-	34	-	67	-
4	489	4	718	4,2	1419	-	-	-	-	-	-
3	367	3	539	3,6	1217	-	-	-	-	-	-
2	245	2	359	2,85	963	-	-	-	-	-	-
1,5	184	1,5	269	2,1	710	-	-	-	-	-	-
100	12 234	100	17958	100	33792	181	272	273	410	535	802

Продовження А.1

Господарсько-побутові і виробничі потреби підприємства												Сумарна витрата міста	
Промислове підприємство №1						Промислове підприємство №2							
гарячі цехи		холодні цехи		душ	виробничі та інші потреби	гарячі цехи		холодні цехи		душ	виробничі та інші потреби		
%	м³	%	м³	м³	м³	%	м³	%	м³	м³	м³	%	м³
15,65	0,8	18,75	2,3	16	333	-	-	-	-	29,8	208	2,16	1720
12,05	0,7	6,25	0,8	-	333	-	-	-	-	-	208	2,14	1706
12,05	0,7	12,5	1,5	-	333	-	-	-	-	-	208	2,04	1622
12,05	0,7	12,5	1,5	-	333	-	-	-	-	-	208	2,05	1639
12,05	0,7	18,75	2,3	-	333	-	-	-	-	-	208	2,99	2386
12,05	0,7	6,25	0,8	-	333	-	-	-	-	-	208	3,87	3080
12,05	0,7	12,5	1,5	-	333	-	-	-	-	-	208	4,58	3353
12,05	0,7	12,5	1,5	-	333	-	-	-	-	-	208	5,30	4225
15,65	1,1	18,75	3,0	25	333	15,65	1,5	15,65	0,5	-	208	5,68	4525
12,05	0,9	6,25	1,0	-	333	12,05	1,1	12,05	0,4	-	208	5,75	4583
12,05	0,9	12,5	2,0	-	333	12,05	1,1	12,05	0,4	-	208	5,65	4499
12,05	0,9	12,5	2,0	-	333	12,05	1,1	12,05	0,4	-	208	5,60	4465
12,05	0,9	18,75	3,0	-	333	12,05	1,1	12,05	0,4		208	4,75	3785
12,05	0,9	6,25	1,0	-	333	12,05	1,1	12,05	0,4	-	208	4,70	3749
12,05	0,9	12,5	2,0	-	333	12,05	1,1	12,05	0,4	-	208	5,04	4019
12,05	0,9	12,5	2,0	-	333	12,05	1,1	12,05	0,4	-	208	5,34	4255
15,65	0,6	18,75	1,5	33	333	15,65	1,0	15,65	0,4	44,8	208	5,65	4506
12,05	0,4	6,25	0,5	-	333	12,05	0,8	12,05	0,3	-	208	5,20	4140
12,05	0,4	12,5	1,0	-	333	12,05	0,8	12,05	0,3	-	208	4,92	3922
12,05	0,4	12,5	1,0	-	333	12,05	0,8	12,05	0,3	-	208	4,45	3547
12,05	0,4	18,75	1,5	-	333	12,05	0,8	12,05	0,3	-	208	3,98	3172
12,05	0,4	6,25	0,5	-	333	12,05	0,8	12,05	0,3	-	208	3,35	2666
12,05	0,4	12,5	1,0	-	333	12,05	0,8	12,05	0,3	-	208	2,65	2111
12,05	0,4	12,5	1,0	-	333	12,05	0,8	12,05	0,3	-	208	2,14	1707
300	16,2	300	36,0	74	8000	200	15,8	200	5,7	74,6	5000	100	79681