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: «**ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ МІСТКОСТЕЙ В ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ»**

Виконав: студент 4 курсу, група 6.1921-мім-з
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі»
РЕЗНИК ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ

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

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

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма міські інженерні мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
«26» 12 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Резнику Олександру Володимировичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Застосування регулювальних місткостей в інженерних системах транспортування води
2. Строк подання роботи: *25.05.2025*
затверджено наказом ЗНУ від «26» грудня 2024 року № 2028-с
3. Вихідні дані до роботи: *генплан міста (додаток 1 до завдання), характеристики житлової забудови та підприємств (додаток 2 до завдання)*
4. *Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1.Особливості застосування регулювальних місткостей.1.1 Вплив регулювальних місткостей на надійність транспортування води. 1.2 Конструктивні та функціональні особливості водонапірних башт і резервуарів чистої води. 1.3 Технологічні аспекти експлуатації та обслуговування. 1.4 Перспективи розвитку та інноваційні рішення у водозабезпеченні. 2. Визначення розрахункових параметрів для мережі транспортування води. 2.1 Характеристика головних елементів системи водопостачання. 2.2 Визначення розрахункового добового водоспоживання міста. 2.3 Режим функціонування мережі транспортування води.2.4 Визначення регулювальних об'ємів. 3. Гідравлічний розрахунок мережі транспортування води. 3.1 Трасування мережі. 3.2 Обґрунтування режимів роботи мережі. 3.3 Визначення початкового розподілу потоків руху води в мережі. 3.4 Гідравлічне ув'язування мережі. 3.5 Розрахунок п'єзометричних карт. 4. Особливості транспортування води: визначення розмірів регулювальних місткостей та аналіз роботи мережі. 4.1 Визначення розмірів водонапірної башти. 4.2 Визначення розмірів та конструктивних особливостей резервуарів чистої води. 4.3 Аналіз гідравлічних режимів роботи мережі. Висновки.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1.Регулювальні місткості в мережі транспортування води. 2.Ситуаційний план міста. 3,4,5 П'єзометричні карти та п'єзометричні лінії для розрахункових режимів мережі транспортування води. 6 Водонапірна башта.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 10.02.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Примітка
1	Розділ 1. Особливості застосування регулювальних місткостей.	25.03.25	
2	Листи 1-2.	14.04.25	
3	Розділ 2. Визначення розрахункових параметрів для мережі транспортування води.	25.04.25	
4	Листи 3,4.	05.05.25	
5	Розділ 3. Гідравлічний розрахунок мережі транспортування води.	10.05.25	
6	Розділ 4. Особливості транспортування води: визначення розмірів регулювальних місткостей та аналіз роботи мережі.	15.05.25	
7	Листи 5-6.	22.05.25	
8	Презентація підготовка доповіді.	25.05.25	

Студент _____ О.В. Резник
(підпис) (ініціали та прізвище)

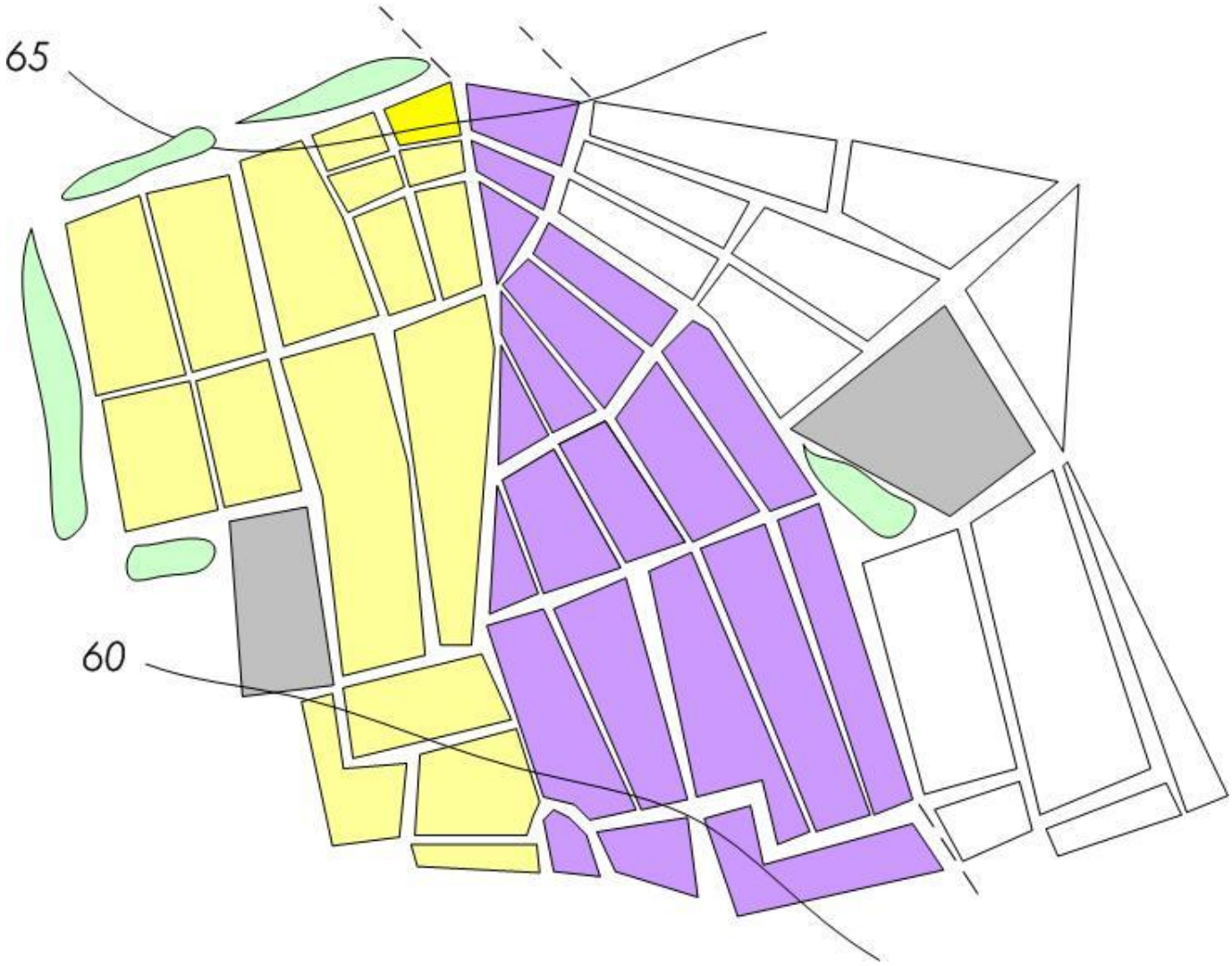
Керівник роботи _____ О.Г. Добровольська
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ О.В. Гребеніок
(підпис) (ініціали та прізвище)

Додаток 1

Генплан міста
М 1: 20000



Додаток 2

Таблиця 1 – Характеристика забудови

Район міста	Кількість поверхів	Щільність населення, чол/га	Ступінь благоустрою
Перший район	5	180	внутрішній водопровід, каналізація і ванни з місцевими водонагрівачами
Другий район	5	210	внутрішній водопровід, каналізація і ванни з місцевими водонагрівачами
Третій район	9	360	внутрішній водопровід, каналізація і централізоване гаряче водопостачання
Усього			

Таблиця 2 – Характеристика підприємств

Назва підприємства	Кількість працюючих в гарячих цехах	Характеристика технологічного процесу	Витрата води на виробництво	Кількість працюючих по змінах			Обєм найбільшої будівлі	Категорія пожежної безпеки
	%	од/доб	$м^3$/доб	1	2	3	$м^3$	
Підприємство №1цементний завод	25	IIб, Iа	12000	3000	5000	4000	18	I, II «Б» «В»
Підприємство №2 кондитерська фабрика	25	Iа, IIв	4000	250	500	300	5	II «В»

ЗМІСТ

Вступ……8
РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ МІСТКОСТЕЙ……....10
1.1 Вплив регулювальних місткостей на надійність транспортування води ……10
1.2 Конструктивні та функціональні особливості водонапірних башт і резервуарів чистої води……12
1.3 Технологічні аспекти експлуатації та обслуговування……..17
1.4 Перспективи розвитку та інноваційні рішення у водозабезпеченні…….....18
РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ……22
2.1 Характеристика головних елементів системи водопостачання…….....22
2.2 Визначення розрахункового добового водоспоживання міста……..22
2.2.1 Характеристика житлової забудови міста…….…..22
2.2.2 Визначення добових розрахункових витрат води в місті……..……..24
2.3 Режим функціонування мережі транспортування води……..……29
2.4Визначення регулювальних об’ємів……..30
2.4.1 Вибір та розрахунок режиму подачі насосної станції та визначення регулювального об’єму бака водонапірної башти…….……30
2.4.2 Визначення регулювальних об’ємів резервуарів чистої води…….……....33
3. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ…..35
3.1 Трасування мережі……...……35
3.2 Обґрунтування режимів роботи мережі……35
3.3 Визначення початкового розподілу потоків води в мережі……36
3.4 Гідравлічне ув’язування мережі…….……38
3.5 Розрахунок п’єзометричних карт……...38

РОЗДІЛ 4 ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ: ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ МІСТКОСТЕЙ
ТА АНАЛІЗ РОБОТИ МЕРЕЖІ……..……49
4.1 Визначення розмірів водонапірної башти…… 49
4.2 Визначення розмірів та конструктивних особливостей резервуарів чистої води……..50
4.3 Аналіз гідравлічних режимів роботи мережі…….52
ВИСНОВКИ…….54
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ……...…….55

ВСТУП

Надійність і безперебійність систем водопостачання є однією з ключових умов функціонування сучасних населених пунктів, промислових об’єктів та об’єктів критичної інфраструктури. Регулювальні місткості, зокрема водонапірні башти та резервуари чистої води, відіграють надзвичайно важливу роль у забезпеченні стабільного тиску, акумулюванні запасів води та вирівнюванні нерівномірності споживання протягом доби. В умовах зростання навантаження на водопровідні мережі та підвищених вимог до енергоефективності та надійності систем, дослідження та оптимізація застосування регулювальних місткостей є вкрай актуальними.

Метою даної кваліфікаційної роботи є аналіз особливостей застосування регулювальних місткостей в системах транспортування води, розробка методики розрахунку їх параметрів та обґрунтування їх конструктивних рішень з урахуванням вимог гідравлічного режиму мережі, ефективності експлуатації та сучасних технічних рішень.

Завдання кваліфікаційної роботи:

- проаналізувати конструктивні та функціональні особливості водонапірних башт і резервуарів чистої води;
- розглянути технологічні аспекти експлуатації регулювальних місткостей та перспективні інноваційні рішення;
- визначити основні розрахункові параметри водопровідної мережі та добове водоспоживання;
- провести гідравлічний розрахунок мережі транспортування води з урахуванням розташування регулювальних місткостей;
- обґрунтувати конструктивні розміри та режими роботи водонапірної башти і резервуарів чистої води.

В межах роботи розглянуто сучасні підходи до проєктування та експлуатації регулювальних місткостей в системах транспортування води. Оцінено їх роль у формуванні сталого гідравлічного режиму, покращенні енергоефективності та зменшенні впливу пікових навантажень. Проведено гідравлічний розрахунок водопровідної мережі міста з урахуванням оптимального розміщення місткостей. На основі розрахункових даних визначено оптимальні геометричні параметри водонапірної башти та резервуарів, що забезпечують задану продуктивність системи.

Результати даної роботи можуть бути використані при проєктуванні та реконструкції систем водопостачання малих і середніх населених пунктів. Запропоновані методики розрахунку та вибору конструктивних рішень для регулювальних місткостей дозволяють підвищити ефективність використання водопровідної інфраструктури, зменшити енергоспоживання насосних станцій та підвищити рівень надійності систем транспортування води. Окрім того, виконана кваліфікаційна робота може бути основою для подальших наукових розробок у сфері сталого водозабезпечення.

РОЗДІЛ 1. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ МІСТКОСТЕЙ

1.1 Вплив регулювальних місткостей на надійність транспортування води

Регулювальні місткості – це інженерні споруди, що забезпечують буферизацію водного потоку в системах водопостачання. Їхнє головне призначення полягає у вирівнюванні добового, тижневого та сезонного нерівномірного водоспоживання, а також у підвищенні надійності систем транспортування води, особливо в умовах аварій, пікових навантажень та збоїв у водопостачанні [1].

За дослідженнями, регулювальні місткості дозволяють зменшити частоту гідравлічних ударів у мережі, знижують зношення насосного обладнання та подовжують термін служби трубопроводів. Крім того, їх наявність підвищує стійкість водопровідної системи до аварійних ситуацій, оскільки забезпечується можливість автономного постачання споживачів протягом певного часу [2].

Суттєвий вплив на надійність транспортування води мають також конструктивні особливості місткостей, їхній об'єм, розташування в системі, тип регулювання (наприклад, верхньої або нижньої води), а також спосіб введення в експлуатацію [3]. На практиці регулювальні місткості часто використовуються в системах централізованого водопостачання міст, зокрема в Україні – у Києві, Харкові, Львові та інших великих містах. на рисунку 1.1 показано приклад рзташування водонапірної башти в системи водопостачання. Регулювальні місткості, як видно на рисунку 1.1, можуть також виконувати функцію архітектурного елемента у містобудуванні.



Рисунок 1.1 – Водонапірні башти як елемент місобудування

Сучасні підходи до моделювання функціонування регулювальних місткостей з урахуванням стохастичних коливань споживання води дозволяють оптимізувати їхні об'єми і, як наслідок, зменшити енергоспоживання та витрати на експлуатацію мережі [4].

Завдяки впровадженню новітніх цифрових технологій стало можливим здійснювати автоматизоване керування водонапірними баштами, забезпечуючи ефективне регулювання рівня води, тиску в системі та оперативне реагування на зміну споживчого навантаження. Використання сучасних датчиків, систем дистанційного моніторингу та аналітичних інструментів на основі штучного інтелекту дозволяє не лише контролювати технічний стан башт у режимі реального часу, а й здійснювати прогнозування їхньої ефективності та своєчасно виявляти потенційні відхилення у роботі. Такий підхід сприяє підвищенню енергоефективності, зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню надійності водопостачання, особливо в умовах нестабільного споживчого попиту або аварійних ситуацій. [5].

На рис.1.2 показан приклад розташування елементів автоматизованої системи регулювання роботою водонапірної башти та насосів.



Рисунок 1.2 – Елементи автоматизованого керування роботою регулювальних місткостей

Таким чином, впровадження регулювальних місткостей у системи транспортування води є ключовим чинником підвищення їхньої надійності, зменшення експлуатаційних витрат та забезпечення безперебійного водопостачання споживачів.

1.2 Конструктивні та функціональні особливості водонапірних башт і резервуарів чистої води

Водонапірні башти є ключовими елементами систем централізованого водопостачання, призначеними для створення та підтримання необхідного тиску у водопровідній мережі, а також для акумулювання запасів води на випадок пікових

навантажень або аварійних ситуацій. Їх конструкція зазвичай включає резервуар для зберігання води та опорну структуру, яка піднімає резервуар на необхідну висоту для забезпечення гравітаційного тиску в системі [6].

Матеріали, що використовуються для будівництва водонапірних башт, варіюються залежно від призначення та умов експлуатації. Найпоширенішими є залізобетон, сталь та цегла. У сільській місцевості або для тимчасових споруд можуть застосовуватися дерев'яні конструкції. Серед різновидів водонапірних башт особливе місце займає башта Рожновського, яка складається з циліндричного резервуара та опорного стовбура. Вона оснащена системами контролю рівня води та насосного обладнання, що дозволяє автоматизувати процеси наповнення та споживання води. схема улаштування башти приведена на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Башта Рожновського

Водонапірні башти типу ВБР-15[7, 8] за технічною документацією ТП 901-5-29 призначені для забезпечення стабільної роботи системи водопостачання за рахунок вирівнювання коливань у водоспоживанні, а також для зберігання резервного об’єму води. Через свої компактні розміри дані моделі часто згадуються під неофіційною назвою «міні-башти», широко застосовуються для забезпечення централізованого водопостачання в сільських населених пунктах, на фермерських господарствах та в садових товариствах.

Конструктивно башта складається з двох основних елементів: опори (стовбура) та бака. Опора виготовляється з металевих листів, зварених унахлест, що забезпечує міцність і довговічність конструкції. Висота опори може варіюватися залежно від потреб споживачів і становити від 9 до 15 метрів. Бак має циліндричну форму з конічним дном і об'ємом 15 м³. Внутрішні стінки бака оснащені металевими скобами для утримання льоду в зимовий період [9].

Функціонування водонапірної башти базується на принципі накопичення води в періоди зниженого споживання та її подачі під час пікових навантажень. Насоси подають воду до бака, звідки вона самопливом або під тиском надходить до споживачів. Такий підхід дозволяє зменшити навантаження на насосне обладнання та забезпечити стабільний тиск у системі водопостачання .

Для забезпечення санітарно-гігієнічних вимог експлуатації водонапірних башт необхідно дотримуватися ряду заходів. Зокрема, охоронна зона навколо башти повинна бути не менше 50 метрів у радіусі, утримуватися в чистоті та бути огородженою. Всі технічні отвори, такі як люки та лази, мають бути зачинені та опломбовані. Регулярно, не рідше одного разу на рік, слід проводити очищення внутрішніх поверхонь бака від осаду та слизу, а також здійснювати антикорозійний захист металевих поверхонь шляхом фарбування .

Введення башти в експлуатацію після ремонту або очищення можливе лише після проведення знезараження внутрішніх поверхонь розчином хлорного вапна або

рідким хлором. Після дезінфекції необхідно промити резервуар фільтрованою водою та провести два бактеріологічні аналізи з інтервалом часу, що відповідає повному обміну води в баку.

Резервуари чистої води [10] виконують функції регулювання подачі води та створення запасів для забезпечення безперебійного водопостачання. Вони можуть розташовуватися між насосними станціями або безпосередньо перед споживачами. Конструктивно резервуари можуть бути наземними, підземними або напівзаглибленими, що визначається умовами місцевості та вимогами до експлуатації. На рис. 1.4 показано улаштування підземного резервуара чистої води.

Основні вимоги до резервуарів включають герметичність, захист від замерзання та забруднення, а також можливість легкого обслуговування та очищення. Матеріали для будівництва резервуарів зазвичай вибираються з урахуванням хімічного складу води та умов експлуатації, зокрема використовуються залізобетон, сталь та інші корозійностійкі матеріали [11].

Резервуари, призначені для зберігання питної води, повинні розташовуватись у межах території з обмеженим доступом, яка підпадає під дію режиму санітарного контролю.



Рисунок 1.4 – Улаштування підземного резервуара чистої води

Вхід сторонніх осіб на цю територію суворо забороняється. Всі технічні отвори, зокрема люки та лази, що ведуть до камер із запірною арматурою, повинні бути надійно зачинені та опломбовані.

Порядок доступу до резервуарів і правила входу визначаються відповідною локальною інструкцією, затвердженою у погодженні з органами санітарного нагляду. Ділянка, на якій розташовані ємності для чистої води, зобов'язана мати якісне штучне освітлення.

З метою збереження належної гігієнічної якості питної води резервуари необхідно очищувати від накопичених забруднень, зокрема піску та мулу, з періодичністю один раз на 1÷3 роки. Якщо ж спостерігається погіршення бактеріологічних або фізико-хімічних характеристик води, санітарні заходи проводяться частіше.

Проведення робіт з очищення або ремонту резервуарів дозволено лише за попереднім погодженням із начальником станції та представником санітарно-епідеміологічної служби. До початку робіт резервуар повністю спорожнюється, а всі засувки на трубопроводах герметично закриваються і пломбуються.

Процедура санітарного очищення господарсько-питного резервуара включає такі основні етапи:

- усунення осаду з дна;
- механічне очищення внутрішніх поверхонь стін і колон за допомогою металевих щіток для видалення слизу;
- промивка цих поверхонь водою під тиском через брандспойт;
- миття дна резервуара;
- заключне повторне промивання всіх внутрішніх елементів резервуара.

Під час виконання робіт світлові люки повинні залишатися відкритими для забезпечення достатнього освітлення і вентиляції.

1.3 Технологічні аспекти експлуатації та обслуговування

Ефективна експлуатація та обслуговування водонапірних башт і резервуарів чистої води є ключовими для забезпечення безперебійного та якісного водопостачання населених пунктів. Ці споруди виконують функції регулювання тиску в системі, зберігання запасів води та забезпечення стабільного водопостачання під час пікових навантажень.

Як зазначенj в посібнику [12], експлуатація водонапірних башт передбачає регулярний контроль за рівнем води, тиском у системі та станом конструктивних елементів споруди. Особливу увагу слід приділяти герметичності бака, стану запірної арматури та системи автоматичного регулювання подачі води. Регулярна перевірка та обслуговування цих елементів дозволяє запобігти аварійним ситуаціям та забезпечити надійну роботу системи водопостачання .

Відповідно до [13] експлуатація резервуарів чистої води повинна відповідати гігієнічним вимогам. Зокрема, необхідно забезпечити захист води від забруднення, регулярне очищення та дезінфекцію внутрішніх поверхонь резервуарів, а також контроль якості води за фізико-хімічними та мікробіологічними показниками. Дотримання цих вимог є запорукою безпеки та якості питної води для населення. На рис. 1.5 показані фрагменту улаштування гідроізоляції для резервуарів чистої води.



Рисунок 1.5 – Гідроізоляція резервуарів чистої води та елементів їх улаштування

Сучасні технології дозволяють автоматизувати процеси моніторингу та обслуговування регулювальних місткостей. Використання систем дистанційного контролю та управління дозволяє оперативно реагувати на зміни в роботі системи, виявляти та усувати несправності, а також оптимізувати витрати на обслуговування. Застосування таких технологій сприяє підвищенню ефективності та надійності систем водопостачання.

1.4 Перспективи розвитку та інноваційні рішення у водозабезпеченні

Зростання населення, урбанізація та зміни клімату створюють нові виклики для систем водопостачання. Як зазначено в [14, 15], раціональним шляхом вирішення цієї проблеми є впровадження державної стратегії у сфері питного водопостачання, яка передбачає модернізацію та розвиток систем централізованого водопостачання і водовідведення. Важливим аспектом є забезпечення відповідності якості питної води встановленим стандартам, а також надання населенню безпечної та якісної води шляхом організації централізованого водозабезпечення, зокрема з використанням підземних джерел. Фахівці [16] зазначають, що сучасна тенденція у сфері технологій водопідготовки спрямована на зменшення обсягів використання хімічних реагентів шляхом впровадження фізичних та біологічних методів очищення. Такий підхід дозволяє не лише оптимізувати процес знезараження, а й мінімізувати утворення шкідливих побічних сполук. Регулювальні місткості повинні забезпечувати якість транспортування та зберігання питної води. В Україні застосування регулювальних місткостей ускладнюється проблемами, які виникають при руйнуванні міської інфраситруктури. Водонапірні башти та резервуари чистої води, як ключові елементи інфраструктури, потребують модернізації для забезпечення ефективного та безперебійного водозабезпечення. Зокрема, необхідно впроваджувати інноваційні

технології, що дозволяють оптимізувати управління водними ресурсами та забезпечити їхню стійкість до зовнішніх впливів.

Впровадження систем автоматичного управління дозволяє в режимі реального часу контролювати рівень води, тиск та інші параметри в резервуарах і водонапірних баштах [17]. Це сприяє оперативному реагуванню на зміни та запобіганню аварійним ситуаціям.

Використання енергоощадного обладнання та впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, дозволяє знизити витрати на експлуатацію систем водопостачання та зменшити викиди парникових газів [18]. У сучасних умовах експлуатації систем водопостачання ключовим завданням є забезпечення довговічності та надійності інженерних споруд, зокрема водонапірних башт і резервуарів. З огляду на агресивний вплив навколишнього середовища, змінні температурні режими, контакт із водою та іншими рідинами, а також постійні механічні навантаження, традиційні конструкційні матеріали часто виявляють обмежену стійкість до корозії та механічного зносу. Це обумовлює потребу в частому технічному обслуговуванні, ремонті або навіть заміні елементів конструкції, що призводить до значних економічних витрат і перерв у водопостачанні.

У цьому контексті застосування новітніх матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками є надзвичайно актуальним. Серед таких матеріалів особливе місце займають:

- корозійностійкі сталі нового покоління, зокрема високохромисті та азотовані сплави, які мають високу пасивність на поверхні й добре протистоять окислювальному середовищу;
- композити на основі полімерів (наприклад, армовані скловолокном поліефірні смоли), що відзначаються низькою проникністю, високою механічною міцністю та відсутністю схильності до гальванічної корозії [19];

- захисні покриття на основі епоксидних смол, цинку та керамічних наноструктур, які наносяться на внутрішні та зовнішні поверхні резервуарів для формування бар'єрного шару, що перешкоджає корозії та механічному стиранню [20].

Впровадження таких матеріалів дає змогу не лише значно продовжити термін служби конструкцій (на 25–50% у порівнянні з традиційними матеріалами), але й зменшити частоту планового обслуговування, а також знизити ризики аварійних ситуацій. Крім того, це позитивно впливає на економічну ефективність систем водопостачання завдяки зменшенню витрат на ремонт та заміну.

Окрему увагу слід приділити використанню методів неруйнівного контролю для моніторингу стану захисних покриттів та матеріалів упродовж експлуатаційного циклу. Такі методи, як ультразвукове сканування, візуально-оптична діагностика, імпедансна спектроскопія, сприяють своєчасному виявленню дефектів та попередженню передчасного зносу.

Таким чином, інноваційні матеріали з підвищеними характеристиками стійкості є важливим фактором у модернізації інфраструктури водопостачання. Їх широке застосування в конструкціях водонапірних башт і резервуарів — це не лише крок до зменшення обсягів ремонту, а й внесок у сталий розвиток міської та сільської інфраструктури в умовах зростаючих техногенних викликів.

Застосування новітніх матеріалів з підвищеною стійкістю до корозії та механічних пошкоджень продовжує термін служби водонапірних башт і резервуарів, зменшуючи потребу в частому ремонті та обслуговуванні [21].

Сучасні водонапірні башти та резервуари можуть бути інтегровані в загальні системи управління водними ресурсами, що дозволяє оптимізувати розподіл води та забезпечити її раціональне використання. Розробка та впровадження стратегій адаптації до змін клімату, зокрема, врахування можливих коливань рівня опадів та температур, є важливим аспектом у плануванні та експлуатації систем водопостачання [22].

Інноваційні підходи до проєктування та експлуатації водонапірних башт і резервуарів чистої води є ключовими для забезпечення надійного та ефективного водозабезпечення в умовах сучасних викликів. Впровадження новітніх технологій, матеріалів та стратегій управління сприяє підвищенню стійкості систем водопостачання та забезпеченню доступу до якісної питної води для населення.

Завданнями кваліфікаційної роботи є:

- проаналізувати конструктивні характеристики та функціональне призначення водонапірних башт і резервуарів для чистої води;
- проаналізувати експлуатаційні особливості регулювальних місткостей та оцінити сучасні інноваційні підходи до їх застосування;
- встановити ключові розрахункові показники водопровідної системи, включаючи добовий обсяг споживання води;
- виконати гідравлічний аналіз роботи мережі транспортування води з урахуванням розміщення регулювальних споруд;
- надати обґрунтування вибору конструктивних параметрів та режимів експлуатації водонапірної башти та резервуарів чистої води.

РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ

2.1 Характеристика головних елементів системи водопостачання

Водозабірні споруди та очисна станція розташовані нагору проти течії водотоку на відстані 2,6 км від межі житлової забудови. На території станції водопідготовки розташована насосна станція другого підйому. На рис. 2.1 показано розташування головних елементів системи водопостачання. За допомогою водоприймальної споруди 1 вода забирається із джерела та подається насосами першого підйому 2 по водоводам 3 на очисні споруди 4. Очищена вода надходить в резервуари чистої води 5, з яких насосами другого підйому 6 по водоводах 7 подається в міську водопровідну мережу 8. Передбачається встановлення водонапірної башти 9 на на протилежному боці відносно вузла приєднання водоводів до мережі. Регулювальними спорудами є водонапірна башта та резервуари чистої води.

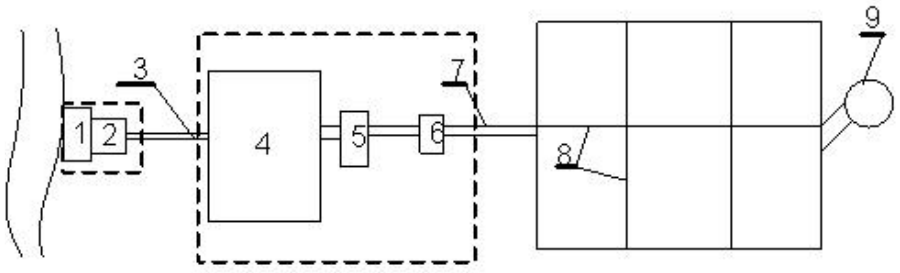


Рисунок 2.1 – Елементи системи водопстачання міста

2.2 Визначення розрахункового добового водоспоживання міста

2.2.1 Характеристика житлової забудови міста

За ступенем благоустрою та характером забудови територія міста може бути розділена на три райони. Перший район та другий райони забудовані переважно 5-

поверховими будинками з внутрішнім водопроводом, каналізацією і місцевими вдонагрівачами: перший район має щильність населення 180 чол/га та площу 233,9 га, другий – відповідно 210 чол/га та 272 га. Третій район має переважно 9-поверхову забудову, будинки обладнані внутрішнім водопроводом, каналізацією та централізованим гарячим вдопостачанням зі щильністю населення 360 чол/га та площею 213,5 га. У місті є два промислових підприємства, характеристики яких подаються в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика підприємств

Назва підприємства	Кількість працюючих в гарячих цехах	Характеристика технологічного процесу	Витрата води на виробництво	Кількість працюючих по змінах			Обємнайбільшої будівлі	Категорія пожежної безпеки
	%	од/доб	$м^3$/доб	1	2	3	$м^3$	
Підприємство №1цементний завод	25	IIб, Iа	12000	3000	5000	4000	18	I, II «Б» «В»
Підприємство №2 кондитерська фабрика	25	Iа, IIв	4000	250	500	300	5	II «В»

Кількість населення в кожному районі міста обчислено по формулі:

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

де P_i – густина населення, чол/га;

F_i – площа і-го району.

$N_1 = 180 \times 233{,}9 = 42102$ чол.; $N_2 = 210 \times 272 = 57120$ чол. $N_3 = 360 \times 213{,}5 = 76860$ чол.

Кількість населення в місті – 176082 чол, площа становить 719,4 га. середня щильність населення – 244.8 чол/га.

2.2.2 Визначення добових розрахункових витрат води в місті

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

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

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

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

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

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

де $K_{доб.максі}$ $K_{доб.мініні}$ – відповідно максимальний і мінімальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання і-го району [24, п. 6.1.2]. Розрахунки по визначенню добових витрат води представлені у таблиці 2.1.

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

№	Кількість мешканців чол.	q, л/доб люд	$К_{доб.макс.}$	$К_{доб.мін.}$	Qдоб.сер	Qдоб.макс	. Qдоб.мін
1	42102	230	1,2	0,8	9683,46	11620,14	7746,77
2	57120	230	1,2	0,8	13137,60	15765,12	10510,08
3	76860	350	1,2	0,8	26901	32281,2	21520,8
Усього	176082				49722,06	59667	39777,65

Добова витрата води на полив вулиць і зелених насаджень визначена за питомими витратами води в перерахуванні на одного мешканця [24, табл. А2]. Для міста з кількістю населення в межах 50тис.÷250 тис., що знаходиться у II кліматичному районі, питома витрата води на полив на одного жителя прийнята 80 л/доб для всіх районів. Із загальної витрати води 40% використовують двірників, 60% – поливальні машини. У таблиці 2.2 представлено розрахунок витрат води на полив вулиць і зелених насаджень.

Таблиця 2.3 – Добова витрата води на полив вулиць і зелених насаджень

Район міста	Кількість мешканців	Питома витрата на полив, л/меш	Добова витрата води на полив,$м^3$/доб		
			Всього по району	Двірниками, 40%	Машинами, 60%
Перший район	42102	80	3368,16	1347,26	2020.90
Другий район	57120	80	4569,60	1827,84	2741,76
Третій район	76860	80	6148,8	2459,52	3689,28
Усього	176082		14086,56	5634,62	8451,94

Розрахунок витрат води на промпідприємствах представлено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Визначення витрат на господарсько-питні потреби робітників

Зміна	Кількість робітників	Гарячі цеха			Холодні цеха			Загальна витрата
		Кількість робітників, чол.	Питома витрата, л/зм чол	Витрата води, м^3	Кількість робітників.чол	Питома витрата, л/зм чол	Витрата води, м^3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Підприємство № 1								
1	*3000*	*750*	*45*	*33,75*	*2250*	*25*	*56,25*	*90,0*
2	*5000*	*1250*		*56,25*	*3750*		*93,75*	*150,00*
3	*4000*	*1000*		*45,00*	*3000*		*75,00*	*120,00*
	12000	*3000*		*135,0*	*9000*		*225,0*	*360,0*
Підприємство № 2								
1	*250*	*50*	*45*	*2,25*	*200*	*25*	*5,0*	*7,25*
2	*500*	*100*		*4,50*	*400*		*10,0*	*14,50*
3	*300*	*60*		*2,70*	*240*		*6,00*	*8,70*
	1050	*210*		*9,45*	*840*		*21,0*	*30,45*

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

Витрата води на користування душем на промпідприємстві:

$$Q = 0{,}5\sum N_i \,/\, n_i \,, \tag{2.5}$$

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

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

n_i – розрахункова кількість людей на одну душову сітку для і-ої санітарної характеристики виробничого процесу [25].

Витрати на користування душем представлені в таблиці 2.5.

Згідно із завданням витрата води на виробничі потреби на підприємстві № 1 становить 12000 м^3/доб, на підприємстві № 2 – 4000 м^3/доб.

Таблиця 2.5 –Розрахунок витрат води на використання душу

Назва	1	2	3	Група процесу	Кількість робітникі в на 1 сітку	Кількість сіток			Витрата води, куб. м		
Підприємство № 1 цементний завод											
						1	2	3	1	2	3
Гарячий цех	750	1250	1000	IIв Ia	5	150	250	200	56,25	93,75	75,00
Холодний цех	2250	3750	3000		15	150	250	200	56,25	93,75	75,00
Усього	3000	5000	4000			300	500	400	112,5	187,5	150
Підприємство № 2 кондитерська фабрика											
Гарячий цех	50	100	60	IIв Ia	5	10	20	12	3,75	7,5	4,50
Холодний цех	200	400	240		15	14	27	16	5,25	10,13	6,00
Усього	250	500	300			24	47	28	9,00	17,63	10,50

Населення міста більше100 тис. чол. і площа підприємства менше 150 га [24, п. 6.2.11]. тому загальна витрата на гасіння однієї зовнішньої пожежі дорівнює сумі необхідної витрати в населеному пункті та 50% витрати на підприємстві. Витрата на зовнішнє пожежегасіння в населеному пункті з кількістю населення 174300. чол. і поверховістю будинків більше 3 поверхів дорівнює 40 л/с . На підприємстві № 1 зі ступенем вогнестійкості будинків I, II та категорією виробництва за пожежною безпекою Б і В при максимальних об'ємах будівель 18 тис. м^3 складає 15 л/с; на підприємстві № 2 зі ступенем вогнестійкості будинків II і категорією виробництва за пожежною безпекою В при найбільших об, ємах будівель д 5 тис. м^3 – 10 л/с [24, табл.5].

Загальна витрата на пожежегасіння визначається за формулою:

$$Q_n = n(q_{зов} + q_{вн}) + 0.5q_{під}, \quad (2.5)$$

де $n_п$ – кількість одночасних пожеж

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

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

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

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

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

$$W_{пож} = 3\times3600\times147,5/1000=1593 \text{ м}^3.$$

2.3 Режим функціонування мережі транспортування води

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

$$K_{год\ 1}=\alpha_1\ \beta_{1,} \quad (2.6)$$

$$K_{год\ 2}=\alpha_2\ \beta_{2,} \quad (2.7)$$

де α – коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків,

$\alpha_{1макс}=1,2$; $\alpha_{2макс}=1,3$, $\alpha_{1мін}=\alpha_{2мін}=0,5$, $\alpha_{3макс}=1,4$, $\alpha_{3мін}=0,6$ [2, п. 6.1.2];

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

$\beta_{1макс}=1,163$; $\beta_{1мін}=0,574$, $\beta_{2макс}=1,143$, $\beta_{2мін}=0,634$, $\beta_{3макс}=1,123$, $\beta_{3мін}=0,654$. [24, п. 6.1.2].

$$K_{год\ 1мін}= 0,5\times 0,574 = 0,29;$$

$$K_{год\ 2мін}= 0,5\times 0,634 = 0,32;$$

$$K_{год\ 3мін}= 0,6\times 0,654 = 0,39;$$

$$K_{год\ 1макс} = 1,3\times 1,163 = 1,51;$$

$$K_{год\ 2макс}= 1,3\times 1,143 = 1,49;$$

$$K_{год\ 3макс}= 1,4\times 1,123 = 1,57.$$

Визначені коефіцієнти $K_{год}$ відрізняються від табличних коефіцієнтів [1]. Розподіл водоспоживання за годинами доби прийнято для першого району за коефіцієнтом $K_{год}$ =1,35, для другого- $K_{год}$ =1,5. При цьому значення витрати у відсотках від $Q_{доб}$ у годину максимального водоспоживання змінені на значення:

$$P_{ск} = K_i \times 4,17, \quad (2.8)$$

$P_{скI}$ =4,17×1,51 = 6,3;

$P_{скII}$ = 4,17 * 1,49 =6,21;

$P_{скIII}$=4,17×1,57=6,55.

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

$$Q_i = P_i \times Q_{ідоб\ макс}/100, \quad (2.9)$$

де P_i – значення і-ї годинної витрати;

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

Режим витрати води на полив прийнято рівномірним протягом частини доби. При цьому полив силами двірників здійснюється 4 години вранці та 4 години увечері, полив машинами здійснюється протягом 14 годин: з 6-00 ранку до 20-00 вечора. На промислових підприємствах вода на господарсько-питні потреби робітників витрачається з урахуванням коефіцієнтів нерівномірності по змінах [25], на користування душем-після закінчення зміни, на технологічні потреби – рівномірно. Результати розрахунку сумарного водоспоживання представлені в таблиці 2.6.

2.4 Визначення розмірів регулювальних об’ємів

2.4.1 Вибір та розрахунок режиму подачі насосної станції та визначення регулювального об’єму бака водонапірної башти

Режим роботи насосної станції другого підйому прийнято з урахуванням графіку водоспоживання міста, режиму роботи станції та максимально наближено до режиму водоспоживання населенням. Приймається два ступеня роботи насосної станції другого підйому: перший з 0^{00} до 5^{00} год: та з 21^{00} до24^{00} год, (в цей час насосами подається 1,82 % від добовой витрати Qдоб), другий - з 5^{00} до 22^{00} (5,34% від Qдоб). Результати розрахунку приводяться в таблиці 2.7.

Таблиця 2.6 - Режим водоспоживання міста

№ п/п	Години доби	Господарсько-питні потреби населення міста						Витрата на поливання вулицб та зелених насаджень					
		I район		II район		III район		I район		II район		III район	
								силами двірників	механізо-вано	силами двірників	механізо-вано	силами двірників	механізо-вано
		%	M^3	%	M^3	%	M^3	M^3	M^3	M^3	M^3	M^3	M^3
1	0-1	1,50	174,30	1,50	236,48	1,20	387,37						
2	1-2	1,50	174,30	1,50	236,48	1,20	387,37						
3	2-3	1,50	174,30	1,50	236,48	1,20	387,37						
4	3-4	1,50	174,30	1,50	236,48	1,50	484,22						
5	4-5	2,50	290,50	2,50	394,13	2,50	807,03	168,41		228,48		307,44	
6	5-6	3,50	406,71	3,50	551,78	3,50	1129,84	168,41		228,48		307,44	
7	6-7	4,50	522,91	4,50	709,43	4,50	1452,65	168,41	144,35	228,48	195,84	307,44	263,52
8	**7-8**	**5,50**	**639,11**	**5,50**	**867,08**	**5,50**	**1775,47**	**168,41**	**144,35**	**228,48**	**195,84**	**307,44**	**263,52**
9	8-9	6,30	732,07	6,21	979,01	6,55	2114,42		144,35		195,84		263,52
10	9-10	6,30	732,07	6,21	979,01	6,55	2114,42		144,35		195,84		263,52
11	10-11	6,30	732,07	6,21	979,01	6,55	2114,42		144,35		195,84		263,52
12	11-12	6,30	732,07	6,21	979,01	6,55	2114,42		144,35		195,84		263,52
13	12-13	5,50	639,11	5,50	867,08	5,50	1775,47		144,35		195,84		263,52
14	13-14	5,00	581,01	5,16	813,48	5,00	1614,06		144,35		195,84		263,52
15	14-15	5,00	581,01	5,00	788,26	5,00	1614,06		144,35		195,84		263,52
16	15-16	6,00	697,21	6,00	945,91	6,00	1936,87		144,35		195,84		263,52
17	16-17	6,00	697,21	6,00	945,91	6,00	1936,87		144,35		195,84		263,52
18	17-18	5,50	639,11	5,50	867,08	5,50	1775,47	168,41	144,35	228,48	195,84	307,44	263,52
19	18-19	5,00	581,01	5,00	788,26	5,00	1614,06	168,41	144,35	228,48	195,84	307,44	263,52
20	19-20	4,50	522,90	4,50	709,43	4,50	1452,66	168,40	144,35	228,48	195,84	307,44	263,52
21	20-21	4,00	464,80	4,00	630,60	4,00	1291,25	168,40		228,48		307,44	
22	21-22	3,00	348,60	3,00	472,95	3,00	968,44						
23	22-23	1,80	209,16	2,00	315,30	2,00	645,62						
24	23-24	1,50	174,30	1,50	236,48	1,20	387,37						
25		**100,00**	**11620,14**	**100,00**	**15765,12**	**100,00**	**32281,20**	**1347,26**	**2020,90**	**1827,84**	**2741,76**	**2459,52**	**3689,28**

Продовження таблиці 2.6.

№ п/п	Витрати промислових підприємств														Загальна витрата	
	Цементний завод							Кондитерська фабрика								
	Виробничі		Господарсько-питні				Душові	Виробничі		Господарсько-питні				Душові		
			Холодний цех		Гарячий цех					Холодний цех		Гарячий цех				
	%	M^3	%	M^3	%	M^3	M^3	%	M^3	%	M^3	%	M^3	M^3	%	M^3
1	4,16	500,00	12,05	6,78	6,25	2,11	150,00	4,16	166,66	12,05	0,60	6,25	0,14	10,50	1,80	1634,94
2	4,16	500,00	12,05	6,78	12,50	4,22		4,16	166,66	12,05	0,60	12,50	0,28		1,63	1476,69
3	4,16	500,00	12,05	6,78	12,50	4,22		4,16	166,66	12,05	0,60	12,50	0,28		1,63	1476,69
4	4,16	500,00	12,05	6,78	18,75	6,33		4,16	166,66	12,05	0,60	18,75	0,42		1,74	1575,79
5	4,16	500,00	12,05	6,78	6,25	2,11		4,16	166,66	12,05	0,60	6,25	0,14		3,17	2872,28
6	4,16	500,00	12,05	6,78	12,50	4,22		4,16	166,66	12,05	0,60	12,50	0,28		3,83	3471,20
7	4,16	500,00	12,05	6,78	12,50	4,22		4,16	166,66	12,05	0,60	12,50	0,28		5,15	4671,57
8	**4,16**	**500,00**	**15,65**	**8,79**	**18,75**	**6,32**		**4,16**	**166,66**	**15,65**	**0,80**	**18,75**	**0,43**		**5,83**	**5272,70**
9	4,17	500,00	12,05	11,30	6,25	3,52	112,50	4,17	166,67	12,05	1,21	6,25	0,28	9,00	5,77	5233,69
10	4,17	500,00	12,05	11,30	12,50	7,03		4,17	166,67	12,05	1,21	12,50	0,56		5,64	5115,98
11	4,17	500,00	12,05	11,30	12,50	7,03		4,17	166,67	12,05	1,21	12,50	0,56		5,64	5115,98
12	4,17	500,00	12,05	11,30	18,75	10,55		4,17	166,67	12,05	1,21	18,75	0,85		5,65	5119,79
13	4,17	500,00	12,05	11,30	6,25	3,52		4,17	166,67	12,05	1,21	6,25	0,28		5,04	4568,35
14	4,17	500,00	12,05	11,30	12,50	7,03		4,17	166,67	12,05	1,21	12,50	0,56		4,74	4299,03
15	4,17	500,00	12,05	11,30	12,50	7,03		4,17	166,67	12,05	1,21	12,50	0,56		4,72	4273,81
16	4,17	500,00	15,65	14,65	18,75	10,54		4,17	166,67	15,65	1,53	18,75	0,85		5,38	4877,94
17	4,17	500,00	12,05	9,04	6,25	2,81	187,50	4,17	166,67	12,05	0,72	6,25	0,17	17,63	5,59	5068,24
18	4,17	500,00	12,05	9,04	12,50	5,63		4,17	166,67	12,05	0,72	12,50	0,34		5,82	5272,10
19	4,17	500,00	12,05	9,04	12,50	5,63		4,17	166,67	12,05	0,72	12,50	0,34		5,50	4973,77
20	4,17	500,00	12,05	9,04	18,75	8,43		4,17	166,67	12,05	0,72	18,75	0,50		5,16	4678,38
21	4,17	500,00	12,05	9,04	6,25	2,81		4,17	166,67	12,05	0,72	6,25	0,17		4,16	3770,38
22	4,17	500,00	12,05	9,04	12,50	5,63		4,17	166,67	12,05	0,72	12,50	0,34		2,73	2472,39
23	4,17	500,00	12,05	9,04	12,50	5,63		4,17	166,67	12,05	0,72	12,50	0,34		2,04	1852,48
24	4,17	500,00	15,65	11,72	18,75	8,43		4,17	166,67	15,65	0,96	18,75	0,50		1,64	1486,43
25	**100,00**	**12000,00**		**225,00**		**135,00**	**450,00**	**100,00**	**4000,00**		**21,00**		**9,45**	**37,13**	**100,00**	**90630,60**

Таблиця 2.7 – Визначення регулювального об’єму бака водонапірної башти

Години доби	Споживання міста		Подача насосів		Подача в бак		Витрата з баку		Залишок в баці	
	%	$М^3$	%	$М^3$	%	$М^3$	%	$М^3$	%	$М^3$
0-1	1,8	1634,94	1,82	1649,49	0,02	14,55	0,00	0,00	0,02	14,55
1-2	1,63	1476,69	1,82	1649,49	0,19	172,80	0,00	0,00	0,21	187,35
2-3	1,63	1476,69	1,82	1649,49	0,19	172,80	0,00	0,00	0,40	360,15
3-4	1,74	1575,79	1,82	1649,49	0,08	73,70	0,00	0,00	0,48	433,85
4-5	3,17	2872,28	1,82	1649,49	0,00	0,00	1,35	1222,80	-0,87	-788,95
5-6	3,83	3471,20	5,34	4839,67	1,51	1368,47	0,00	0,00	0,64	579,52
6-7	5,15	4671,57	5,34	4839,67	0,19	168,10	0,00	0,00	0,82	747,62
7-8	**5,83**	**5272,70**	**5,34**	**4839,67**	0,00	0,00	0,48	433,03	0,35	314,59
8-9	5,77	5233,69	5,34	4839,67	0,00	0,00	0,43	394,02	-0,09	-79,43
9-10	5,64	5115,98	5,34	4839,67	0,00	0,00	0,30	276,31	-0,39	-355,74
10-11	5,64	5115,98	5,34	4839,67	0,00	0,00	0,30	276,31	-0,7	-632,05
11-12	5,65	5119,79	5,34	4839,67	0,00	0,00	0,31	280,12	**-1,01**	**-912,17**
12-13	5,04	4568,35	5,34	4839,67	0,30	271,32	0,00	0,00	-0,71	-640,85
13-14	4,74	4299,03	5,34	4839,67	0,60	540,64	0,00	0,00	-0,11	-100,21
14-15	4,72	4273,81	5,34	4839,67	0,62	565,86	0,00	0,00	0,51	465,65
15-16	5,38	4877,94	5,34	4839,67	0,00	0,00	0,04	38,27	0,47	427,38
16-17	5,59	5068,24	1649,49	4839,67	0,00	0,00	0,25	228,57	0,22	198,81
17-18	5,82	5272,10	5,34	4839,67	0,00	0,00	0,48	432,43	-0,26	-233,62
18-19	5,50	4973,77	5,34	4839,67	0,00	0,00	0,15	134,10	-0,41	-367,72
19-20	5,16	4678,38	5,34	4839,67	0,18	161,29	0,00	0,00	-0,23	-206,43
20-21	4,16	3770,38	5,34	4839,67	1,18	1069,29	0,00	0,00	**0,95**	**862,86**
21-22	2,73	2472,39	1,82	1649,49	0,00	0,00	0,91	822,91	0,04	39,95
22-23	2,04	1852,48	1,82	1649,49	0,00	0,00	0,22	203,00	-0,18	-163,05
23-24	1,64	1486,43	1,82	1649,49	0,18	163,05	0,00	0,00	0,00	0,00
	100	90630,60	100	90630,60						

2.4.2 Визначення регулювальних об’ємів резервуарів чистої води

Для визначення регулювальної місткості резервуарів чистої води складена таблиця 2.8.

Таблиця 2.8 – Визначення регулювального об·єму резервуарів чистої води

Години доби	Подача насосів першого підйому		Подача насосів другого підйому		Витрата з РЧВ		Подача в РЧВ	
	%	$М^3$	%	$М^3$	%	$М^3$	%	$М^3$
0-1	4,16	3776,27	1,82	1649,49	0,00	14,55	0,00	2126,78
1-2	4,16	3776,27	1,82	1649,49	0,00	172,80	0,00	2126,78
2-3	4,16	3776,27	1,82	1649,49	0,00	172,80	0,00	2126,78
3-4	4,16	3776,27	1,82	1649,49	0,00	73,70	0,00	2126,78
4-5	4,16	3776,27	1,82	1649,49	0,00	1,17	1063,40	2126,79
5-6	4,16	3776,27	5,34	4839,67	1,51	1,17	1063,40	0,00
6-7	4,16	3776,27	5,34	4839,67	0,19	1,17	1063,40	0,00
7-8	4,16	3776,27	**5,34**	**4839,67**	0,00	1,17	1063,40	0,00
8-9	4,17	3776,27	5,34	4839,67	0,00	1,17	1063,40	0,00
9-10	4,17	3776,27	5,34	4839,67	0,00	1,17	1063,40	0,00
10-11	4,17	3776,27	5,34	4839,67	0,00	1,17	1063,40	0,00
11-12	4,17	3776,27	5,34	4839,67	0,00	1,17	1063,40	0,00
12-13	4,17	3776,28	5,34	4839,67	0,30	1,17	1063,39	0,00
13-14	4,17	3776,28	5,34	4839,67	0,60	1,17	1063,39	0,00
14-15	4,17	3776,28	5,34	4839,67	0,62	1,17	1063,39	0,00
15-16	4,17	3776,28	5,34	4839,67	0,00	1,17	1063,39	0,00
16-17	4,17	3776,28	1649,49	4839,67	0,00	1,17	1063,39	0,00
17-18	4,17	3776,28	5,34	4839,67	0,00	1,17	1063,39	0,00
18-19	4,17	3776,28	5,34	4839,67	0,00	1,17	1063,39	0,00
19-20	4,17	3776,28	5,34	4839,67	0,18	1,17	1063,39	0,00
20-21	4,17	3776,28	5,34	4839,67	1,18	1,17	1063,39	0,00
21-22	4,17	3776,28	1,82	1649,49	0,00	0,00	0,00	2126,80
22-23	4,17	3776,28	1,82	1649,49	0,00	0,00	0,00	2126,80
23-24	1,64	3776,28	1,82	1649,49	0,18	0,00	0,00	2126,80
	100	90630,60	100	90630,60				

3. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ

3.1 Трасування мережі

Вода від насосної танції другого підйому подається у водопровідну мережу по двох водогонах довжиною 2500 м. До магістральної мережі водоводи приєднуються у мвузлі 1.

Магістральна мережа рівнмірно розташована по території міста та охоплює всії великих споживачів (промислові підприємства забезпечуються водою від вузлових точок мережі: № 10 та 7). Водопостачання житлових кварталів здійснюється за допомогою розподільної мережі, що складена з ліній, які трасуються уздовж вулиць та проїздів.

Водонапірна башта приєднана до мережі в найвищій точці: вузлі № 22. При такому трасуванні сумарна довжина магістральної мережі становить 23595 м (лист 1).

3.2 Обґрунтування режимів роботи мережі

В даній схемі водопостачання міста водонапірна башта розташована в кінці мережі (вузол 22). Основними розрахунковими режимами роботи мережі будуть:режим подачі в годину максимального вдоспоживання, режим пожежогасіння в годину максимального водоспоживання, режим подачі води в годину максимального транзиту води в башту.

Максимальний годинний відбір води в мережі доводитьсяна 7-8 годину доби, коли з мережі забирається 5272,7 м^3 води, що становить 5,83% або 1464,6 л/с, у тому числі на потреби промислових підприємств 683,0 м^3 або 189,7 л/с, у вигляді зосереджених витрат у вузлах 10, 7 відповідно 515,11 м^3 або 143,1 л/с та 167,89 м^3 або 46,4 л/с, інша вода в кількості 4589,7 м^3 або 1274,9 л/с, витрачається на господарсько-питні потреби населення, полив вулицьта зелених насаджень, у тому числі I район: 951,87 м^3 або264,6 л/с, II район:1291,4 м^3 або 358.7 л/с, III райн:2346,43 м^3 або651,8

л/с. Надходження води в мережу від насосної станції в годину максимального споживання становить 4839,67 м^3 або1344,4 л/с, а інша кількість води надходить в мережу з башти (433,03 м^3 або 120,3 л/с).

Максимальний транзит води в башту доводиться на годину 5-6, коли з мережі забирається 3471,2 м^3 води, що становить3,83% або 946,2 л/с, у тому числі на потреби прмислових підприємств 678,54 м^3 або 188,5 л/с, у вигляді зосереджених витрат у вузлах 10, 7 відповідно 515,11 м^3 або 143,1 л/с та 167,89 м3 або 46,4 л/с, інша вода у кількості 2792,66 м3 або 775,7 л/с витрачається гсподарсько-питні потреби населення,полив вулиць та зелених насаджень, у тому числі І район: 575,12 м^3 або 159,8 л/с, ІІ район:780,26 м^3 або 216,7 л/с, ІІІ райн:1437,28 м^3 або 399,2 л/с. Надходження води в мережу від насосної станції в годину максимального споживання становить 4839,67 м^3 або1344,4 л/с, надлишок води від водорозбору, що складає 1368,47 м^3 або 380,2 л/с надходить у башту.

3.3 Визначення початкового розподілу потоків води в мережі

Довжина магістральної водопровідної мережі, розташованої на території І району міста складається з розрахункових ділянок: 3-4, 4-5, 5-6, 5-15, 14-15, 15-16, 16-24, 17-24, 23-24 та дорівнює 7210 м, у тому числі ділянки: 5-6, 5-15, 14-15, 16-24, 23-24 мають житлову забудову з одного боку, їх довжина складає 3780 м.

Ділянки6 3-6, 6-7, 7-14, 14-17, 17-23 проходять на межі І та ІІ районів, їх загальна довжина складає 2680 м, у тому числі ділянки 6-7 та 7-14 мають житлову забудову з одного боку, їх довжина складає 480 м. Довжина магістральної водопровідної мережі, розташованої на території ІІ району міста складається з розрахункових ділянок: 1-2,1-3, 1-8, 8-7, 8-9, 13-17, 22-23 та дорівнює5030 м, тому числі ділянка 22-23, що має житлову забудову з одного боку, її довжина складає 450 м. Ділянки 9-13, 13-18, 18-22 проходять на межі ІІ та ІІІ райнів, їх загальна двжина складає 1700 м. Довжина

магістральної водопрвідної мережі, рзташованої на території ІІІ району, складається з розрахункових ділянок: 2-10, 9-10, 10-12, 11-12, 12-19, 11-20, 19-21, 20-21, 21-22, 19-18 та дорівнює 6975 м, у тому числі ділянки: 10-12, 11-12, 11-20, 20-21, 21-22, що мають житлову забудову з дного боку, їх довжина становить 3640 м. При відомій довжині магістральної мережі та величині розосереджених витрат для кожного району, визначені питомі витрати для режиму максимального водоспоживання води. При розрахунку довжина ділянок, що знаходяться на межі районів, поділена нарівно між ними. Питома витрата для і-го району при максимальному водоспоживанні визначається за формулою [25]:

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

де Q_i – повна витрата води для і-го району, л/с;

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

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

$$q_{num.1} = 264{,}4 / ((7210 - 3780) + 3780 / 2 + (2680 - 480) / 2 + 480 / 4) = 0{,}04043 л / (с / м)$$

$$q_{num.2} = 358{,}7 / ((5030 - 450) + 450 / 2 + (2680 - 480) / 2 + 480 / 4 + 1700 / 2) = 0{,}05217 л / (с / м)$$

$$q_{num.3} = 651{,}8 / ((6975 - 3640) + 3640 / 2 + 1700 / 2) = 0{,}010854 л / (с / м)$$

$$q_{num.1-2} = (0{,}04043 + 0{,}05217) / 2 = 0{,}04630 л / (с / м)$$

$$q_{num.2-3} = (0{,}010854 + 0{,}05217) / 2 = 0{,}08036 л / (с / м)$$

Шляхові витрати ділянок визначені за формулою:

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

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

Розрахунок вузлових та шляхових витрат представлено в таблиці 3.1. Результати початкового потокорозподілу для випадку максимального водоспоживання показано на рис. 3.1, для випадку пожежі при максимальному водоспоживанні – на рис. 3.2, для максимального транзита – на рис. 3.3.

3.4 Гідравлічне ув'язування мережі

Гідравлічний розрахунок мережі в роботі виконано із застосуванням програми gidrast 1, для якої вихідними даними є код ділянок, кількість вузлів і контурів, довжина та діаметр ділянок**,** витрати при початковому потокорозподілу, а також припустиме нев'язання. Результати розрахунку представлені в таблицях 3.2–3.4. Значення втрат напору в ділянках мережі задовольняють другому закону Кірхгофа [26]:

$$\sum h_k = 0, \tag{3.3}$$

де $\sum h_k$ – сума втрат напору наділянках мережі, які складають відповідний контур.

3.5 Розрахунок п'єзометричних карт

За результатами гідравлічного розрахунку визначені втрати напору в ділянках та розраховані п'єзометричні позначки та фактичні вільні напори у всіх вузлах мережі. Розрахункові п'єзометричні позначки визначені після знаходження критичного вузла, відносно якого визначаєтьсянайбільша п'єзометрична позначка у вузлі приєднання водоводів до мережі. Для режима максимального водоспоживання – це вузол №22, при пожежогасінні в годину максимального водоспоживання – це вузол №20, для режима максимального транзиту води в башту критичним вузлом є башта.

Визначені фактичні вільні напори у вузлах відповідають наступній умові:

$$H_{віл.і} \geq H_{віл.потр.і}\,. \tag{3.4}$$

Таблиця 3.1 – Розрахунок шляхвих та вузлових витрат

№ вузла	Номера ділянок, що виходять з вузлу	Довжина ділянок, м	№ району	Питомі витрати ділянок, л/(с/м)	Шляхові витрати, л/с	Зосереджені витрати при максимальному водоспоживанні, л/с	Наведені до вузлових шляхові витрати при максимальному водоспоживанні, л/с	Зосереджені витрати при максимальному транзиті, л/с	Наведені до вузлових шляхові витрати при максимальному транзиті, л/с
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	1-2	820	2	0,05217	42,78		65,60		39,80
	1-3	920	2	0,05217	48,00				
	1-8	770	2	0,05217	40,17				
2	2-1	820	2	0,05217	42,78		72,90		44,40
	2-10	950	3	0,10854	103,11				
3	3-1	920	2	0,05217	48,00		61,90		37,60
	3-4	970	1	0,04043	39,22				
	3-6	790	1-2	0,04630	36,58				
4	4-3	970	1	0,04043	39,22		40,40		24,60
	4-5	1030	1	0,04043	41,64				
5	5-4	1030	1	0,04043	41,64		35,20		21,40
	5-6	385	1	0,04043	15,57				
	5-15	325	1	0,04043	13,14				
6	6-3	790	1-2	0,04630	36,58		28,50		17,30
	6-5	385	1	0,04043	15,57				
	6-7	105	1-2	0,04630	4,86				
7	7-6	105	1-2	0,04630	4,86	46,60	69,90	46,50	60,70
	7-8	680	2	0,05217	35,48				
	7-14	135	1-2	0,04630	6,25				

продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	8-1	770	2	0,05217	40,17		51,70		31,50
	8-7	680	2	0,05217	35,48				
	8-9	530	2	0,05217	27,65				
9	9-8	530	2	0,05217	27,65		63,90		38,90
	9-10	590	3	0,10854	64,04				
	9-13	450	2-3	0,08036	36,16				
10	10-2	950	3	0,10854	103,11	143,10	243,10	142,00	202,80
	10-9	590	3	0,10854	64,04				
	10-12	305	3	0,10854	33,10				
11	11-12	325	3	0,10854	35,28		45,00		27,40
	11-20	505	3	0,10854	54,81				
12	12-10	305	3	0,10854	33,10		58,10		35,40
	12-11	325	3	0,10854	35,28				
	12-19	440	3	0,10854	47,76				
13	13-9	450	2-3	0,08036	36,16		63,80		38,80
	13-17	860	2	0,05217	44,87				
	13-18	580	2-3	0,08036	46,61				
14	14-7	135	1-2	0,04630	6,25		21,30		13,00
	14-15	360	1	0,04043	14,55				
	14-17	470	1-2	0,04630	21,76				
15	15-5	325	1	0,04043	13,14		24,60		15,00
	15-14	360	1	0,04043	14,55				
	15-16	530	1	0,04043	21,43				
16	16-15	530	1	0,04043	21,43		18,60		11,30
	16-24	390	1	0,04043	15,77				
17	17-13	860	2	0,05217	44,87		73,30		44,60
	17-14	470	1-2	0,04630	21,76				

продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	17-23	940	1-2	0,04630	43,52				
	17-24	900	1	0,04043	36,39				
18	18-13	580	2-3	0,08036	46,61		89,60		54,50
	18-19	725	3	0,10854	78,69				
	18-22	670	2-3	0,08036	53,84				
19	19-12	440	3	0,10854	47,76		97,40		59,30
	19-18	725	3	0,10854	78,69				
	19-21	630	3	0,10854	68,38				
20	20-11	505	3	0,10854	54,81		43,40		26,40
	20-21	295	3	0,10854	32,02				
21	21-19	630	3	0,10854	68,38		71,40		43,40
	21-20	295	3	0,10854	32,02				
	21-22	390	3	0,10854	42,33				
22	22-18	670	2-3	0,08036	53,84		54,00		32,90
	22-21	390	3	0,10854	42,33				
	22-23	225	2	0,05217	11,74				
23	23-17	940	1-2	0,04630	43,52		36,30		22,00
	23-22	225	2	0,05217	11,74				
	23-24	430	1	0,04043	17,38				
24	24-16	390	1	0,04043	15,77		34,80		21,20
	24-17	900	1	0,04043	36,39				
	24-23	430	1	0,04043	17,38				
						189,70	1464,60	188,50	964,20

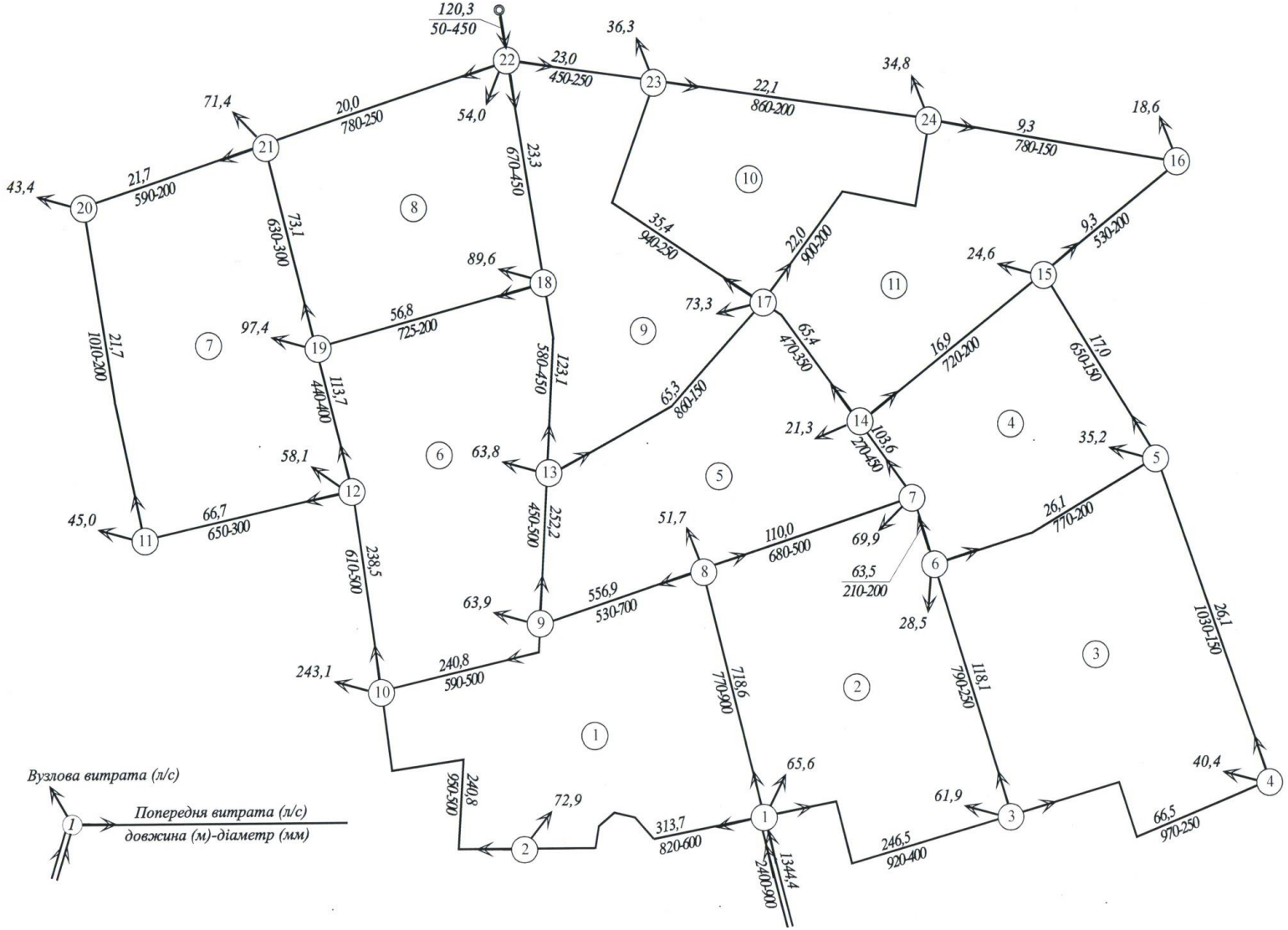


Рисунок 3.1 – Попередній потокорозподіл для режима максимального водоспоживання

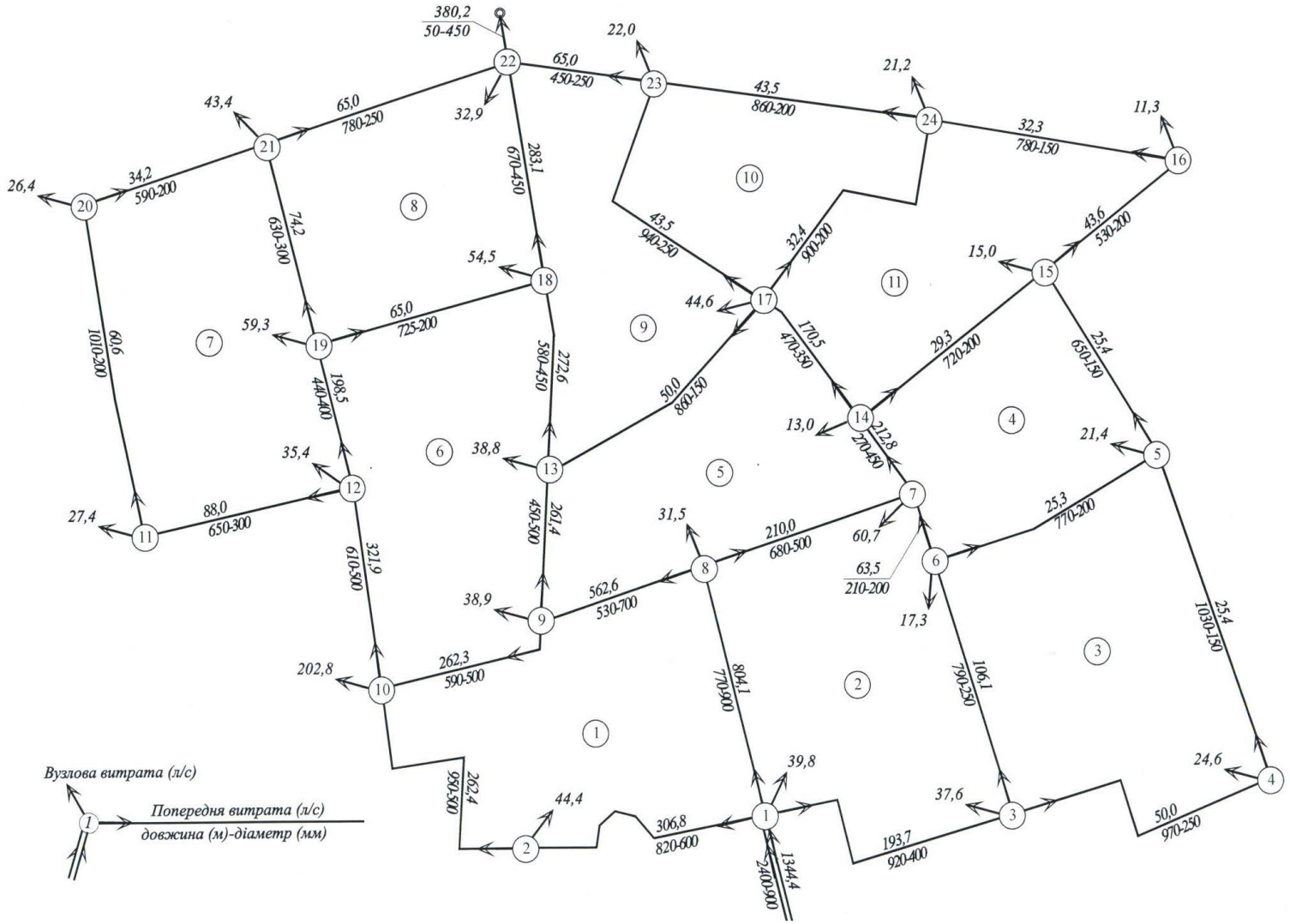


Рисунок 3.2 – Попередній потокорозподіл для режиму максимального транзиту води в башту

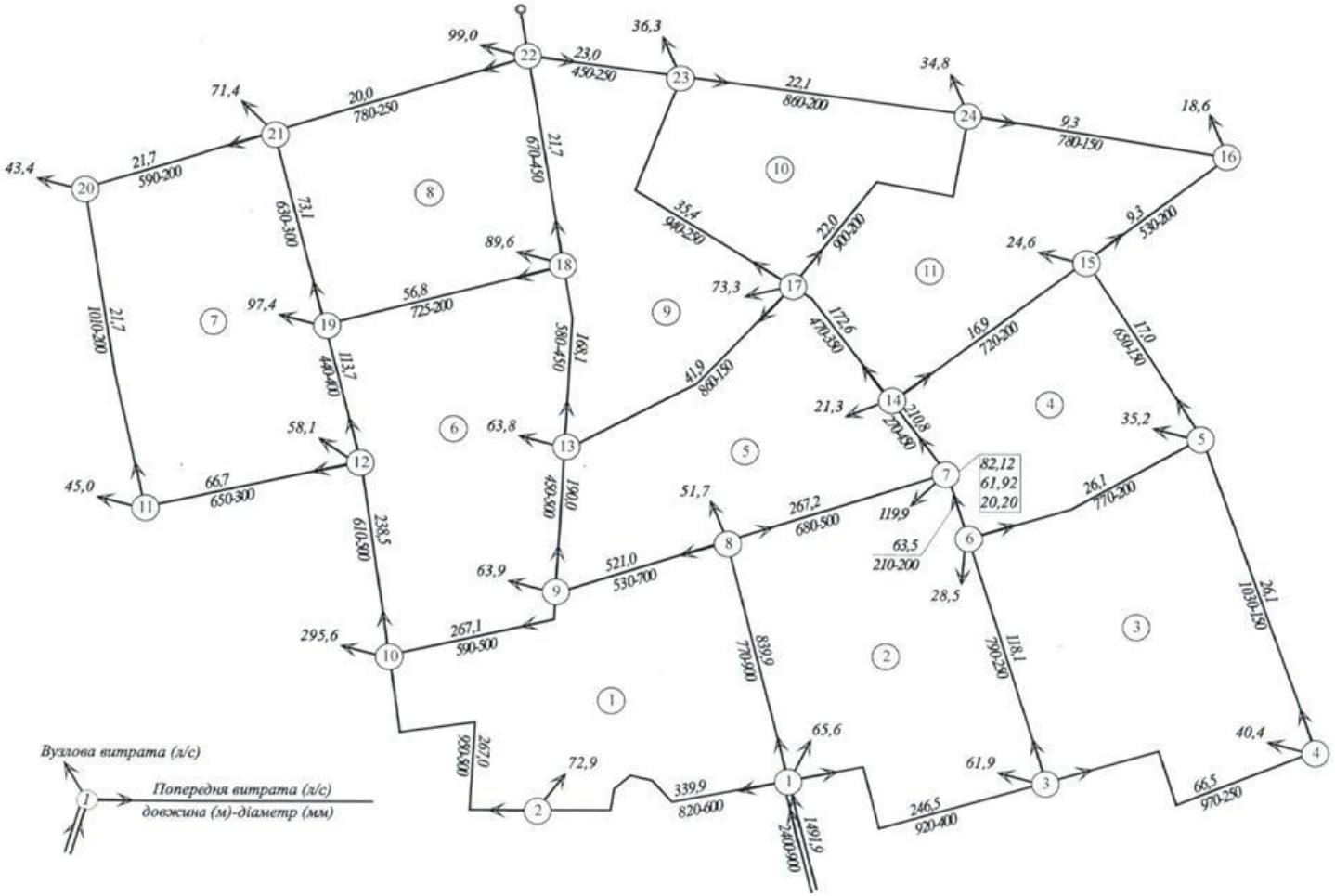


Рисунок 3.3 – Попередній потокорозподіл для режима пожежогасіння при максимальному водоспоживанні

e= .00100 nk= 11 ny= 34

вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	970.0	66.5	250.0	c	2	920.0	246.5	400.0	c	3	820.0	313.7	600.0	c
4	950.0	240.8	500.0	c	5	770.0	718.6	900.0	c	6	790.0	118.1	250.0	c
7	1030.0	26.1	150.0	c	8	770.0	26.1	200.0	c	9	210.0	63.5	200.0	c
10	680.0	110.0	500.0	c	11	530.0	556.9	700.0	c	12	590.0	240.8	500.0	c
13	610.0	238.5	500.0	c	14	450.0	252.2	500.0	c	15	270.0	103.6	450.0	c
16	650.0	17.0	150.0	c	17	720.0	16.9	200.0	c	18	470.0	65.4	350.0	c
19	860.0	65.3	150.0	c	20	580.0	123.1	450.0	c	21	650.0	66.7	300.0	c
22	440.0	113.7	400.0	c	23	1010.0	21.7	200.0	c	24	630.0	73.1	300.0	c
25	725.0	56.8	200.0	c	26	670.0	23.3	450.0	c	27	940.0	35.4	250.0	c
28	900.0	22.0	200.0	c	29	530.0	9.3	200.0	c	30	780.0	9.3	150.0	c
31	860.0	22.1	200.0	c	32	450.0	23.0	250.0	c	33	780.0	20.0	250.0	c
34	590.0	21.7	200.0	c										

Таблиця 3.2 - Розрахунок мережі для режиму подачі води в мережу в годину максимального водоспоживання

номер ділянки	код ділянки	діаметр труби,мм	довжина ділянки м	витрата води л/с	швидкість руху води. м/с	втрати напору, м
1	3- 0	250.00	970.00	47.47	.97	6.08
2	2- 0	400.00	920.00	139.53	1.11	4.05
3	0- 1	600.00	820.00	310.56	1.10	2.09
4	0- 1	500.00	950.00	237.66	1.21	3.67
5	1- 2	900.00	770.00	828.71	1.30	1.60
6	2- 3	250.00	790.00	30.16	.61	2.15
7	3- 0	150.00	1030.00	7.07	.40	2.50
8	4- 3	200.00	770.00	30.34	.97	6.44
9	2- 4	200.00	210.00	-28.68	.91	1.58
10	5- 2	500.00	680.00	254.72	1.30	3.02
11	1- 5	700.00	530.00	522.29	1.36	1.66
12	1- 6	500.00	590.00	248.59	1.27	2.49
13	0- 6	500.00	610.00	243.15	1.24	2.47
14	6- 5	500.00	450.00	209.80	1.07	1.38
15	5- 4	450.00	270.00	156.14	.98	.81
16	4- 0	150.00	650.00	2.21	.12	.20
17	11- 4	200.00	720.00	33.93	1.08	7.41
18	5-11	350.00	470.00	100.91	1.05	2.21
19	9- 5	150.00	860.00	8.64	.49	3.00
20	6- 9	450.00	580.00	137.36	.86	1.37
21	0- 7	300.00	650.00	63.90	.90	2.84
22	7- 6	400.00	440.00	121.15	.96	1.49
23	0- 7	200.00	1010.00	18.90	.60	3.53
24	7- 8	300.00	630.00	46.95	.66	1.56
25	6- 8	200.00	725.00	23.20	.74	3.69
26	9- 8	450.00	670.00	-24.56	.15	.07
27	9-10	250.00	940.00	14.52	.30	.69
28	10-11	200.00	900.00	21.73	.69	4.06
29	11- 0	200.00	530.00	11.53	.37	.76
30	0-11	150.00	780.00	7.07	.40	1.89
31	0-10	200.00	860.00	20.14	.64	3.38
32	0- 9	250.00	450.00	41.92	.85	2.24
33	8- 0	250.00	780.00	48.95	1.00	5.18
34	7- 0	200.00	590.00	24.50	.78	3.32

e= .00100 nk= 11 ny= 34

вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	970.0	50.0	250.0	c	2	920.0	193.7	400.0	c	3	820.0	306.8	600.0	c
4	950.0	262.4	500.0	c	5	770.0	804.1	900.0	c	6	790.0	106.1	250.0	c
7	1030.0	25.4	150.0	c	8	770.0	25.3	200.0	c	9	210.0	63.5	200.0	c
10	680.0	210.0	500.0	c	11	530.0	562.6	700.0	c	12	590.0	262.3	500.0	c
13	610.0	321.9	500.0	c	14	450.0	261.4	500.0	c	15	270.0	212.8	450.0	c
16	650.0	29.3	150.0	c	17	720.0	29.3	200.0	c	18	470.0	170.5	350.0	c
19	860.0	50.0	150.0	c	20	580.0	272.6	450.0	c	21	650.0	88.0	300.0	c
22	440.0	198.5	400.0	c	23	1010.0	60.6	200.0	c	24	630.0	74.2	300.0	c
25	725.0	65.0	200.0	c	26	670.0	283.1	450.0	c	27	940.0	43.5	250.0	c
28	900.0	32.4	200.0	c	29	530.0	43.6	200.0	c	30	780.0	32.3	150.0	c
31	860.0	43.5	200.0	c	32	450.0	65.0	250.0	c	33	780.0	65.0	250.0	c
34	590.0	34.2	200.0	c										

Таблиця 3.3 - Розрахунок мережі для режиму подачі води в мережу в годину максимального транзиту

номер ділянки	код ділянки	діаметр труби, мм	довжина ділянки м	витрата води л/с	швидкість руху води. м/с	втрати напору, м
1	3- 0	250.00	970.00	32.49	.66	3.02
2	2- 0	400.00	920.00	102.52	.82	2.29
3	0- 1	600.00	820.00	299.96	1.06	1.96
4	0- 1	500.00	950.00	255.56	1.30	4.24
5	1- 2	900.00	770.00	902.12	1.42	1.90
6	2- 3	250.00	790.00	32.43	.66	2.45
7	3- 0	150.00	1030.00	7.89	.45	3.05
8	4- 3	200.00	770.00	22.22	.71	3.62
9	2- 4	200.00	210.00	-7.09	.23	.13
10	5- 2	500.00	680.00	241.56	1.23	2.71
11	1- 5	700.00	530.00	629.06	1.63	2.41
12	1- 6	500.00	590.00	214.70	1.09	1.89
13	0- 6	500.00	610.00	267.46	1.36	2.98
14	6- 5	500.00	450.00	375.46	1.91	4.34
15	5- 4	450.00	270.00	173.77	1.09	.99
16	4- 0	150.00	650.00	8.70	.49	2.30
17	11- 4	200.00	720.00	27.62	.88	5.06
18	5-11	350.00	470.00	133.15	1.38	3.77
19	5- 9	150.00	860.00	-3.90	.22	.73
20	6- 9	450.00	580.00	332.76	2.09	7.67
21	0- 7	300.00	650.00	54.24	.77	2.10
22	7- 6	400.00	440.00	177.82	1.42	3.10
23	0- 7	200.00	1010.00	26.84	.85	6.73
24	7- 8	300.00	630.00	94.18	1.33	5.73
25	8- 6	200.00	725.00	24.34	.77	4.03
26	8- 9	450.00	670.00	302.60	1.90	7.33
27	9-10	250.00	940.00	62.91	1.28	10.02
28	10-11	200.00	900.00	29.54	.94	7.16
29	11- 0	200.00	530.00	21.32	.68	2.31
30	11- 0	150.00	780.00	10.02	.57	3.56
31	10- 0	200.00	860.00	18.37	.58	2.86
32	9- 0	250.00	450.00	59.28	1.21	4.26
33	0- 8	250.00	780.00	51.22	1.04	5.64
34	0- 7	200.00	590.00	.44	.01	.00

e= .00100 nk= 11 ny= 34

вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	970.0	66.5	250.0	c	2	920.0	246.5	400.0	c	3	820.0	339.9	600.0	c
4	950.0	267.0	500.0	c	5	770.0	839.9	900.0	c	6	790.0	118.1	250.0	c
7	1030.0	26.1	150.0	c	8	770.0	26.1	200.0	c	9	210.0	63.5	200.0	c
10	680.0	267.2	500.0	c	11	530.0	521.0	700.0	c	12	590.0	267.1	500.0	c
13	610.0	238.5	500.0	c	14	450.0	190.0	500.0	c	15	270.0	210.8	450.0	c
16	650.0	17.0	150.0	c	17	720.0	16.9	200.0	c	18	470.0	172.6	350.0	c
19	860.0	41.9	150.0	c	20	580.0	168.1	450.0	c	21	650.0	66.7	300.0	c
22	440.0	113.7	400.0	c	23	1010.0	21.7	200.0	c	24	630.0	73.1	300.0	c
25	725.0	56.8	200.0	c	26	670.0	21.7	450.0	c	27	940.0	35.4	250.0	c
28	900.0	22.0	200.0	c	29	530.0	9.3	200.0	c	30	780.0	9.3	150.0	c
31	860.0	22.1	200.0	c	32	450.0	23.0	250.0	c	33	780.0	20.0	250.0	c
34	590.0	21.7	200.0	c										

Таблиця 3.4 - Розрахунок мережі для режиму подачі води в мережу в годину максимального водопостачання при пожежі

номер ділянки	код ділянки	діаметр труби,мм	довжина ділянки м	витрата води л/с	швидкість руху води м/с	втрати напору, м
1	3- 0	250.00	970.00	49.55	1.01	6.59
2	2- 0	400.00	920.00	151.76	1.21	4.73
3	0- 1	600.00	820.00	337.10	1.19	2.44
4	0- 1	500.00	950.00	264.20	1.35	4.53
5	1- 2	900.00	770.00	937.44	1.47	2.05
6	2- 3	250.00	790.00	40.31	.82	3.66
7	3- 0	150.00	1030.00	9.15	.52	3.99
8	4- 3	200.00	770.00	31.54	1.00	6.92
9	2- 4	200.00	210.00	-19.73	.63	.79
10	5- 2	500.00	680.00	345.23	1.76	5.54
11	1- 5	700.00	530.00	540.51	1.40	1.78
12	1- 6	500.00	590.00	278.91	1.42	3.14
13	0- 6	500.00	610.00	247.51	1.26	2.55
14	6- 5	500.00	450.00	197.70	1.01	1.24
15	5- 4	450.00	270.00	205.60	1.29	1.36
16	4- 0	150.00	650.00	5.49	.31	1.01
17	11- 4	200.00	720.00	33.79	1.08	7.36
18	5-11	350.00	470.00	150.51	1.56	4.82
19	9- 5	150.00	860.00	15.46	.88	8.71
20	6- 9	450.00	580.00	202.23	1.27	2.83
21	0- 7	300.00	650.00	64.25	.91	2.87
22	7- 6	400.00	440.00	125.17	1.00	1.58
23	0- 7	200.00	1010.00	19.25	.61	3.65
24	7- 8	300.00	630.00	49.24	.70	1.70
25	6 0	200.00	725.00	21.48	.68	3.20
26	9- 8	450.00	670.00	-47.75	.30	.23
27	9-10	250.00	940.00	-9.69	.20	.34
28	10-11	200.00	900.00	18.56	.59	3.05
29	11- 0	200.00	530.00	14.68	.47	1.17
30	0-11	150.00	780.00	3.92	.22	.66
31	0-10	200.00	860.00	20.15	.64	3.38
32	0- 9	250.00	450.00	66.14	1.35	5.30
33	8- 0	250.00	780.00	46.31	.94	4.67
34	7- 0	200.00	590.00	24.15	.77	3.24

де $H_{віл.потр.і}$ – необхідний вільний напір в і-му вузлі, $H_{віл.потр.і} = 6 + 4n$, м;

n – кількість поверхів будинків в районі, що розглядається.

Для житлових кварталів першого та другого районів при $n = 5$ $H_{віл.потр.і}$ = 26 м, для житлових кварталів третього району при $n = 9$ $H_{віл.потр.і}$ = 42 м.

При пожежі необхідний напір у критичному вузлі $H_{віл.потр.і}$ = 10 м.

П’єзометричні позначки та вільні напори у вузлах для всіх режимів наведені на п’єзометричних картах (лист №2 графічної частини проекту).

За п’єзометричними позначками побудовані п’єзометричні карти та лінії (листи № 3 – 5 графічної частини квалафікаційної роботи).

РОЗДІЛ 4 ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ: ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ РЕГУЛЮВАЛЬНИХ МІСТКОСТЕЙ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ МЕРЕЖІ

4.1 Визначення розмірів водонапірної башти

Повна місткість водонапірного баку:

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

де $W_{рег}$ – регулювальний об'єм водонапірного баку, м^3 (табл.2.7);

$W_{рег} = |-1.01| + 0,95 = 1,96\%$, або1775,03 м^3;

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

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

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

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

$$W_{рег} = W \times Q_{заг} / 100,$$

$$W_б = 1775,03 + 27 = 1802,03 \text{ м}^3$$

Діаметр баку водонапірної башти:

$$D_б = \sqrt[3]{W_б / 0,55}, \quad (4.3)$$

$$D_б = \sqrt[3]{1802,03 / 0,55} = 14,85 м$$

Висота шару води в баці:

$$H_б = 4W_б / (\pi D_б^2) , \quad (4.4)$$

$$H_б = 4 \times 1802,03 / (3,14 \times 15^2) = 10,2 м$$

З огляду на необхідний будівельний запас загальна висота баку приймається 10,2 м. діаметр бака – 15 м. Конструктивні складові водонапірної башти показана на рисунку 4.1.

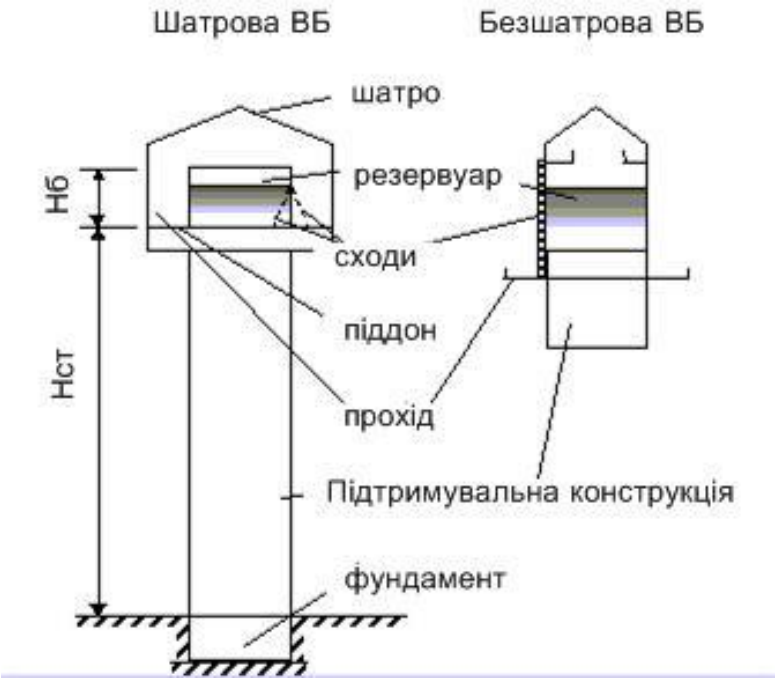


Рисунок 4.1 – Конструктивні елементи водонапірних башт

4.2 Визначення розмірів та конструктивних особливостей резервуарів чистої води

Повний об’єм резервуарів чистої води визначено за формулою:

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

де $W_{рег}$ – регулювальний обєм РЧВ, $м^3$, $W_{рег}$ =17014.31 м^3

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

W_n – об'єм недоторканого пожежного запасу, $м^3$, W_n =1593,0 м^3;

Об'єм недоторканого пожежного запасу:

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

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

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

де m –число одночасних пожеж, m =3;

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

t – тривалість пожежегасіння, 3 год.

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

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

$\sum Q_{макс}$ =15177,96 м^3 (табл.2.6).

Q_1 – витрата води, що знаходиться за формулою:

$$Q_1 = 4.17 \times Q \times t, \tag{4.8}$$

$$\mathrm{Q_1} = 4.17 \times 90630{,}60 \times 3/100 = 11337{,}9 м^3$$

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

$$\mathrm{W} = 2 \times \mathrm{q_{пр}} \times \mathrm{t_{пр}} \times 60, \tag{4.9}$$

$W_{ш.ф.} = 2 \times 0,606 \times 6 \times 60 = 436.32 м^3$.

Тоді

$$W_п = 3 \times 432 + 15177,96 - 11337,9 = 5136,06 \ м^3.$$

$$W_{РЧВ} = 17014,31 + 436.32 + 5136,06 = 22586,7 м^3$$

Приймаються 2 резервуари чистої води ємністю 14112 $м^3$ з розмірами 42×42м та висотою 8,0 м (висота шару води 6,7 м). . Конструктивні складові резервуарів чистої води показані на рисунку 4.2.

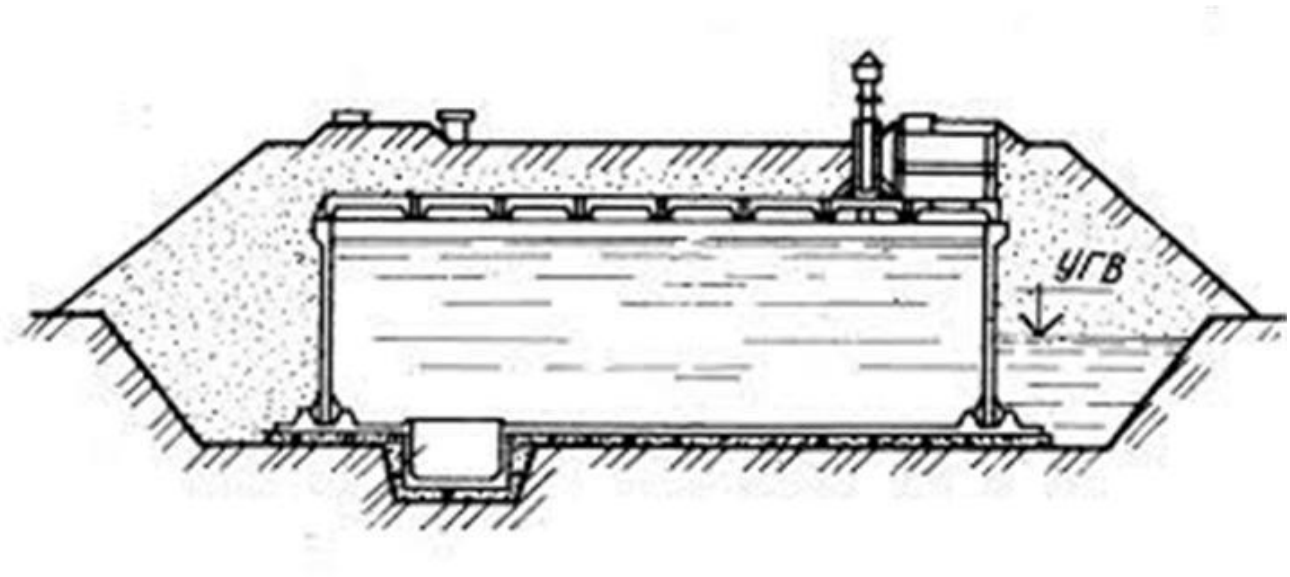


Рисунок 4.2 – Схема влаштування резервуара чистої води

4.3 Аналіз гідравлічних режимів роботи мережі

Було проведено моделювання функціонування мережі транспортування води в трьох характерних режимах:

- у годину максимального водоспоживання;
- при пожежі в годину максимального водоспоживання;
- в годину максимального транзиту води в водонапірну башту.

В годину максимального водоспоживання (7-8 година) спостерігається пікове навантаження на мережу, обумовлене одночасним використанням води більшістю споживачів. Аналіз показав, що тиск у магістральних трубопроводах залишається в допустимих межах, проте в найбільш віддалених ділянках мережі спостерігається незначне зниження напору. Рівномірність розподілу витрат у споживачів досягається за рахунок збалансованої конфігурації мережі та налаштування регулюючої арматури.

Пожежогасіння в годину максимального водоспоживання є найбільш напруженим режимом для системи. До звичайного пікового водоспоживання додається значний об’єм води, необхідний для гасіння пожежі. Гідравлічний розрахунок виявив критичне зниження тиску в окремих ділянках мережі поблизу точки водовідбору, що може призвести до недостатнього забезпечення водою частини житлових будинків. Для компенсації дефіциту тиску передбачено можливість підключення додаткового насосного обладнання або регулювання зон подачі води.

Режим максимального транзиту води у водонапірну башту спостерігається о 20-21 годині, коли система наповнює водонапірну башту для подальшого використання води протягом дня. У цей час значна частина потоку спрямована вгору до резервуара. Тиск у мережі при цьому стабільний, а швидкості потоку в підвідних трубопроводах зростають. Мережа працює в умовах зниженого опору, що позитивно впливає на енергоефективність насосного обладнання.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз конструктивних і функціональних особливостей регулювальних місткостей, зокрема враховано геометричну форму, розміщення, режим роботи та матеріали, які впливають на експлуатаційну ефективність та довговічність об’єктів.
2. У роботі розглянуто технологічні аспекти експлуатації водонапірних башт та резервуарів, включно з питаннями очищення, контролю якості води, регламентного обслуговування та моніторингу параметрів, що дозволяє забезпечити їх безперебійну роботу та відповідність нормативним вимогам.
3. Визначено розрахункові параметри системи водопостачання, включаючи добове водоспоживання, режим роботи насосних станцій та об’єми регулювальних місткостей. Результати розрахунків дали змогу розробити раціональну схему водопровідної мережі.
4. Проведено гідравлічний розрахунок мережі транспортування води з урахуванням розміщення регулювальних місткостей. Отримано п’єзометричну карту та оптимізовано потоки руху води, що дозволило визначити вузли з підвищеним навантаженням та необхідність використання регулювальних об’ємів.
5. Обґрунтовано оптимальні розміри водонапірної башти та резервуарів чистої води, виходячи з аналізу режиму споживання, характеристик насосних станцій та умов роботи системи. Це забезпечує ефективне функціонування водопровідної мережі за умов нормального та аварійного режимів.
6. Запропоновані методики розрахунку та підходи до вибору конструктивних рішень можуть бути використані при проєктуванні, реконструкції та модернізації систем водопостачання населених пунктів, зокрема малих і середніх міст.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». [Чинний від 2010-05-12]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 35 с. (Інформація та документація). URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/sanpin/dsanpin_2_2_4_171_10/25-1-0-1180

2. Тугай А.М. Водопостачання: підручник Київ : Ліра-К, 2009. 738 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Tugaj_2009_735.pdf

3. Добровольська О. Г., Бурлаченко А. А. Аналіз ефективності експлуатації регулювальних місткостей в системі водопостачання. Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України м. Запоріжжя: ЗНУ, 2023. С. 191-193. URL: https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/conf6/zbirnyk_23.pdf.

4. Проєктування резервуарів для зберігання питної води. URL: https://aquapolymer.com.ua/a/proektuvannya-rezervuariv-dlya-zberigannya-pytnoyi-vody/

5. Danilenko A., et al. The IBNET Water Supply and Sanitation Blue Book. World Bank, 2014. URL: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/19811

6. Проєктування водонапірних башт. Навчальний портал НУЦЗУ. URL: http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/voda2/2747.html

7. Характеристики та особливості монтажу башти Рожновського. Курс. URL: https://kurs.if.ua/politic/harakterystyky-ta-osoblyvosti-montazhu-bashty-rozhnovskogo/

8. Водонапірні башти Рожновського. URL: https://sbk.ltd.ua/uk/vodonapirni-bashti.html

9. Водонапірна башта ВБР-15. ТОВ «БМ Сістемс». URL: https://www.bmprom.com/catalog/vodonapirna-bashta-vbr-15/

10. Проєктування резервуарів чистої води**.** Навчальний портал НУЦЗУ. URL: http://univer.nuczu.edu.ua/e-books/voda2/2745.html

11. Вивчення будови і конструкції елементів водопостачання. Таврійський державний агротехнологічний університет. 2017. 41с. URL: http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/vyvchennja-budovy-i-konstrukciyi-elementiv-vodopostachannja.pdf

12. Душкін С. С., Шевченко Т. О. Водопровідні системи і споруди : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2012. 74 с. URL: https://surl.lu/iuegwh

13. Бабієнко В. В., Мокієнко А. В. Гігієна води та водопостачання населених місць: навчальний посібник. Одеса: Прес-кур'єр, 2021. 208 с. URL: https://emed.library.gov.ua/wp-content/uploads/tainacan-items/18405/24574/Hihiiena-vody-ta-vodopostachannia-naselenykh-mists.pdf

14. Хільчевський В.К., Забокрицька М.Р., Стельмах В.Ю. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення: навч. посібник. К.: ДІА, 2023. 228 с. URL: https://surli.cc/olotqh

15. Управління водними ресурсами в умовах змін клімату: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. – К.: НААН, 2017. – 120 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/3884/1/Тези%202017%20Управління%20водними%20ресурсами%20в%20умовах%20зміни%20клімату.pdf

16. Буяльська Н.П. Технологія води та водопідготовки харчових виробництв: конспект лекцій. Чернігів : ЧНТУ, 2020. 200 с. URL: https://ir.stu.cn.ua/bitstream/handle/123456789/26088/Технологія%20води%20та%20водопідготовки%20харчових%20виробництв.__.pdf?isAllowed=y&sequence=1

17. Легойда Ю. В., Кравченко О. В. Автоматизована IOT система управління насосної станції водопостачання селища Теплик. URL: file:///C:/Users/admin/Downloads/577-%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%96-1091-1-10-20240709.pdf

18. Добровольська О.Г., Фостащенко О.М., Чудновський П.Б. Реконструкція інженерних об'єктів нежитлового фонду в контексті відновлення України. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві.* Луцьк, ЛНТУ. 2024. Вип. 21. С. 57–65. URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/article/view/1472/1351

19. Доброногов В. Г. Застосування корозійностійких, жаростійких, жароміцних сталей і сплавів у хімічному машино- та апаратобудуванні : навч. посіб. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 264 с. URL: file:///C:/Users/admin/Downloads/Dobronogov_Mikulonok_2011%20(1).pdf

20. Сапронов О.О., Букетов А.В., Лещенко О.В., Нігалатій В.Д. Антикорозійні покриття на основі епоксидного зв'язувача для захисту устаткування морського та річкового транспорту. URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2016/26_5/44.pdf

21. Борисенко Ю. В. Матеріали сучасної техніки та захист від руйнування : навчальний посібник. К. : КНУТД, 2016. 111 с. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/2223/3/20161004_Borisenko_NP.pdf

22. Іванюта С.П., Коломієць О. О,. Малиновська О. А, Якушенко Л. М. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації : аналіт. доповідь. К. : НІСД, 2020. 110 с. URL: https://surl.li/xflahy

23. Зміна клімату в Україні та світі: причини, наслідки та рішення для протидії. URL: https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html

24. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ :

Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація). URL: https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2018/08/1084_DBN_V.2.5-74_2013-DREAMDIM.pdf

25. Добровольська О.Г., Водопровідні мережі : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі». Запоріжжя : ЗНУ, 2022. 237 с.

26. Орлов В. О., Тугай Я. А., Орлова А. М. Водопостачання та водовідведення : підручник. Київ : Знання, 2011. 359 с.