

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології
Кафедра водопостачання та водовідведення

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР**

на тему:
«Оптимізація напорів у розподільних мережах і її вплив на якість води в системі»

Перегінчук Ірина Тарасівна

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології
Кафедра водопостачання та водовідведення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Водопостачання та водовідведення

« _____ » _____ 2025 року

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР**

«Оптимізація напорів у розподільних мережах і її вплив на якість води в системі»

<i>Я як здобувач вищої освіти КНУБА розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавала і не одержувала недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.</i>	Здобувач Перегінчук Ірина Тарасівна Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія» Освітня програма: Водопостачання та водовідведення Керівник: Кравченко О.В. професор, д.т.н Рецензент: Ідентичність підтверджую
--	---

Київ 2025 р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет інженерних систем та екології
Кафедра водопостачання та водовідведення

“Допустити до захисту в ЕК”

Завідувач кафедри

« _____ » _____ 2025 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

«Оптимізація напорів у розподільних мережах і її вплив на якість води в системі»
(назва)

Виконав студент групи ВВм-24

Перегінчук Ірина Тарасівна

Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
Освітньо-професійна програма: «Водопостачання та водовідведення»

Керівник: Кравченко О.В.
(прізвище, ініціали)
проф., д. т.н.
науковий ступінь, вчене звання

Рецензент: _____
(прізвище, ініціали)

науковий ступінь, вчене звання

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: інженерних систем та екології
Випускова кафедра: водопостачання та водовідведення
Освітній ступінь: магістр
Спеціальність: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
Освітньо-професійна програма: Водопостачання та водовідведення

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П. Хоружий

«__» _____ 2025 року

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Перегінчук Ірини Тарасівни

(прізвище, ім'я та по батькові здобувача)

1. Тема роботи Оптимізація напорів у розподільних мережах і її вплив на якість води в системі

затверджена наказом ректора КНУБА № _____ від «__» _____ 2025 року

2. Керівник роботи

Кравченко Олександр Валерійович, професор, доктор технічних наук

(прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 15.12.2025

4. Вихідні дані та зміст роботи за розділами:

Інженерна частина

Генеральний план та схема водопостачання м. Бурштин; дані про існуючу інфраструктуру (водозабори «Корчева» та «Коростовичі», мережа довжиною 39,2 км, знос 47%); технічні характеристики насосного обладнання та резервуарів; демографічні дані (16 900 осіб); розробка та калібрування гідравлічної моделі в EPANET 2.2; Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі для сценарію з двома водонапірними вежами; Розробка плану Корчевського водозабору підземних джерел; Деталювання насосних станцій; Технологічна обв'язка артезіанських свердловин

Спеціальна частина

Аналіз якісних показників води з підземних джерел (вміст заліза, жорсткість) на відповідність ДСанПіН 2.2.4-171-10; Оцінка ефективності технології знезалізнення (аерація, фільтрація); Порівняльний аналіз чотирьох сценаріїв модернізації (в т.ч. використання ЧРП проти гравітаційної системи); Розробка схеми зонування мережі (DMA) та управління тиском для зниження втрат води; Будівельно-монтажні роботи, Схема будгетного плану основного періоду.

Додаткові дані

Оцінка екологічних ризиків на етапах будівництва та експлуатації; заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

5. Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
РОЗДІЛ 1	09.10.2025
РОЗДІЛ 2	16.10.2025
РОЗДІЛ 3	23.10.2025
РОЗДІЛ 4	30.10.2025
РОЗДІЛ 5	04.11.2025
РОЗДІЛ 6	11.11.2025
РОЗДІЛ 7	18.11.2025
РОЗДІЛ 8	25.11.2025
Остаточне оформлення роботи	08.12.2024
Перевірка на плагіат	15.12.2025
Попередній захист або розгляд роботи на кафедрі	
Рецензування	

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
РОЗДІЛ 7	Копаниця Ю.Д.		
РОЗДІЛ 8	Клімова І.В.		

7. Дата видачі завдання _____

Керівник _____
(підпис)

Кравченко О.В.

(прізвище та ініціали)

Здобувач _____
(підпис)

Перегінчук І.Т.

(прізвище та ініціали)

РЕЗЮМЕ (summary) до кваліфікаційної роботи здобувача:		<i>Перегінчук Ірина Тарасівна</i> <i>Iryna Perehinchuk</i>	
Назва ЗВО	Київський національний університет будівництва і архітектури		
Тема (українською та англійською)	Оптимізація напорів у розподільних мережах і її вплив на якість води в системі Optimization of pressure in distribution networks and its impact on water quality in the system		
Освітній ступінь	Магістр за освітньо-професійною програмою навчання		
Факультет	Інженерних систем та екології		
Кафедра	Водопостачання та водовідведення		
Спеціальність	192 «Будівництво та цивільна інженерія»		
Освітня програма	«Водопостачання та водовідведення»		
Керівник	Кравченко Олександр Валерійович		
Обсяг роботи:	пояснювальна записка, стор.	Розділів	креслень формату А1
	133	9	11
Розділ 1	Аналітична частина		
Розділ 2	Загальна характеристика системи водопостачання		
Розділ 3	Аналіз якості води з підземних горизонтів		
Розділ 4	Розрахункова частина		
Розділ 5	Технологічні рішення		
Розділ 6	Контроль технологічного процесу та якості очистки води		
Розділ 7	Монтаж систем (технологія будівельного виробництва)		
Розділ 8	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
<p>Ключові слова: <i>Централізоване водопостачання, розподільні мережі, оптимізація напорів, якість питної води, гідравлічне моделювання, EPANET, модернізація системи, зонування мережі (DMA), артезіанські свердловини, станція знезалізнення.</i></p> <p>Keywords: <i>Centralized water supply, distribution networks, pressure optimization, drinking water quality, hydraulic modeling, EPANET, system modernization, network zoning (DMA), artesian wells, iron removal plant.</i></p>			

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	13
1.1 Нормативно-правова база у сфері водопостачання в Україні та вимоги директив ЄС.....	14
1.2 Сучасні тенденції в проектуванні та модернізації водопровідних мереж	16
1.3 Методи підвищення енергоефективності та надійності систем водопостачання	20
2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ	22
2.1 Загальні відомості	23
3 АНАЛІЗ ЯКОСТІ ВОДИ З ПІДЗЕМНИХ ГОРИЗОНТІВ.....	27
3.1 Показники хімічного складу води з водозабірних споруд підземних вод свердловин	28
4 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	31
4.1 Гідравлічні розрахунки	32
4.2 Концептуальна роль та стратегічне значення гідравлічного моделювання.....	38
4.3 Оптимізація операційної діяльності та зниження втрат.....	38
4.4 Стратегічне планування та підвищення інвестиційної ефективності	39
4.5 Прогнозування попиту на воду на розрахунковий період	44
4.6 Розрахунок добового водоспоживання та коефіцієнти нерівномірності	45
4.7 Моделювання погодинної нерівномірності для динамічного аналізу	46
4.8 Розробка та опис сценаріїв модернізації системи водопостачання.....	48
4.9 Техніко-економічне порівняння та вибір оптимального сценарію	54
4.10 Рекомендації щодо матеріалів та обладнання.....	55
4.11 Підбір насосного обладнання та розрахунок водонапірної башти для оптимізації гідравлічного режиму	56
4.12 Гідравлічний розрахунок та підбір насосного обладнання насосної станції II підйому.....	60
4.13 Обґрунтування потреби в реагентах для знезараження води	63
4.13.1 Розрахунок потреби в активному хлорі.....	63
4.13.2 Розрахунок витрат сировини (кухонної солі)	65
4.14 Розрахунок реагентів для профілактичної дезінфекції споруд та мереж.....	66
4.15 Проектні рішення	67

4.16 Підсумки та рекомендації по розділу	75
5 ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ	78
5.1 Технічні характеристики водозабору	79
5.1.1 Водозабір урочище Корчева.....	79
5.1.2 Водозабір урочище Коростовичі.....	80
5.1.3 Насосне обладнання водозабору.....	82
5.2 Станція знезалізнення води. ВОС	83
5.3 Установка гідролізна «Полум'я-2» для виробництва гіпохлориту натрію	92
5.4 Резервуари чистої води та водонапірна вежа.....	94
5.4.1 Резервуари чистої води.....	94
5.4.2 Дезінфекція.....	96
5.5 Насосна станція другого підйому, промивні електронасоси	98
5.6 Міська водопровідна мережа.....	100
6 КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ЯКОСТІ ОЧИСТКИ ВОДИ ...	102
7 МОНТАЖ СИСТЕМ (ТЕХНОЛОГІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА).....	105
7.1 Загальні положення та організаційно-підготовчі роботи.....	106
7.2 Земляні роботи та влаштування основи	106
7.3 Технологія монтажу та зварювання труб ПНД.....	107
7.4 Випробування водогону.....	109
8 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	112
8.1 Аналіз умов праці та ідентифікація небезпечних виробничих факторів	113
8.2 Хімічні та біологічні фактори	114
8.3 Психофізіологічні фактори.....	114
8.4 Безпека при модернізації та експлуатації водопровідної мережі	115
ВИСНОВКИ.....	120
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	123

Актуальність теми. Сектор централізованого водопостачання та водовідведення в Україні перебуває у стані системної кризи, що характеризується високим рівнем зношеності основних фондів, значними втратами води в мережах, низькою якістю водопідготовки та критично низькою енергоефективністю. Ця проблема є спільною для більшості з 2360 підприємств галузі по всій країні [1]. Згідно з офіційними даними, близько 36% мереж централізованого водопостачання є фізично зношеними та потребують повної заміни, а 70% насосних станцій та майже всі споруди очищення питної води вимагають реконструкції або невідкладної заміни обладнання.

Ситуація у місті Бурштин є яскравим проявом цієї загальнонаціональної тенденції. Водопровідна мережа міста, що обслуговується комунальним підприємством "Житловик", перебуває у критичному стані: приблизно 47% із загальних 39,2 км трубопроводів повністю відпрацювали свій експлуатаційний ресурс, а значна частина мережі, близько 18,4 км, потребує негайної заміни через високий ризик виникнення аварійних ситуацій. Обмеженість зусиль з модернізації в минулому (лише 12,4 км трубопроводів мають вік менше 25 років) підкреслює гостру необхідність у комплексних, науково обґрунтованих інвестиційних рішеннях для забезпечення довгострокової стійкості системи.¹ Таким чином, дослідження проблематики водопостачання Бурштина є не лише локальним завданням, а й репрезентативним прикладом викликів, що стоять перед багатьма муніципалітетами України, що робить його результати потенційно масштабованими та застосовними для інших подібних об'єктів.

Актуальність дослідження посилюється міжнародними зобов'язаннями України в рамках Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, зокрема щодо імплементації Директиви 2000/60/ЄС «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» та нової Директиви Ради (ЄС) 2020/2184 «Про якість води, призначеної для споживання людиною». Ці документи встановлюють жорсткі вимоги до якості питної води та запроваджують ризик-орієнтований підхід до управління

системами водопостачання, досягнення яких є неможливим при існуючих технологіях та стані інфраструктури більшості українських водоканалів. На підприємства галузі чиниться подвійний тиск: з одного боку — необхідність забезпечення безперебійного водопостачання за допомогою застарілої інфраструктури, з іншого — вимога дотримання високих європейських стандартів якості, що потребує значних капітальних інвестицій та впровадження сучасних методів управління.

Мета і завдання дослідження.

Метою дипломної роботи є проведення комплексного техніко-економічного аналізу поточної системи централізованого водопостачання м. Бурштин для виявлення критичних вразливостей та наукового обґрунтування оптимальної стратегії її модернізації з урахуванням операційної надійності, енергоефективності та довгострокової фінансової стійкості.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

1. Проаналізувати нормативно-правову базу України у сфері водопостачання та вимоги ключових директив ЄС, а також дослідити сучасні світові тенденції в проєктуванні та модернізації водопровідних мереж.
2. Виконати комплексний технічний аудит існуючої системи водопостачання м. Бурштин, включаючи аналіз стану водозабірних споруд, водоочисних станцій та розподільчої мережі.
3. Розробити та відкалібрувати гідравлічну модель водопровідної мережі в програмному комплексі EPANET для імітації її функціонування в поточних та прогнозних умовах.
4. Сформулювати та проаналізувати альтернативні сценарії модернізації системи, що включають варіанти з використанням водонапірних веж та прямого перекачування з частотно-регульованими приводами (ЧРП).
5. Провести порівняльну техніко-економічну оцінку запропонованих сценаріїв на основі аналізу капітальних (CAPEX), операційних (OPEX) витрат та вартості життєвого циклу (LCC).

6. Розробити рекомендовану стратегію модернізації, що включає пропозиції щодо впровадження районних зон обліку (DMA) та системи диспетчерського управління та збору даних (SCADA).

7. Оцінити екологічний та соціальний вплив від реалізації запропонованого проєкту.

Об'єкт та предмет дослідження.

Об'єктом дослідження є система централізованого водопостачання Бурштинської міської територіальної громади, що включає водозабірні споруди "Корчева" та "Коростовичі", станцію водопідготовки, насосні станції та водопровідну мережу, яка забезпечує водою м. Бурштин, села Дем'янів, Задністрянське, Бовшів та Бурштинську ТЕС.

Предметом дослідження є процеси, методи та технології аналізу, гідравлічного моделювання та техніко-економічного обґрунтування стратегій модернізації муніципальних систем водопостачання з метою підвищення їх технічної надійності, енергетичної ефективності та відповідності сучасним стандартам якості та безпеки.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна роботи полягає в комплексному застосуванні сучасного методологічного апарату, що включає гідравлічне моделювання в програмному середовищі EPANET 2.2, багатосценарний аналіз та оцінку вартості життєвого циклу (LCC), для розробки науково обґрунтованої стратегії модернізації конкретної муніципальної системи водопостачання в Україні, яка характеризується високим ступенем фізичного зносу та операційними викликами. Це створює відтворювану, доказову основу для прийняття управлінських рішень в аналогічних інфраструктурних контекстах.

1.1 Нормативно-правова база у сфері водопостачання в Україні та вимоги директив ЄС

Ефективне та безпечне функціонування систем централізованого водопостачання регулюється комплексною системою нормативно-правових актів як на національному, так і на міжнародному рівні. Для України, в контексті євроінтеграційних процесів, особливого значення набуває гармонізація вітчизняного законодавства з вимогами директив Європейського Союзу.

Основним законодавчим актом, що регулює відносини у сфері питного водопостачання, є Закон України "Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення" [4]. Цей закон визначає правові, економічні та організаційні засади функціонування галузі, спрямовані на гарантоване забезпечення населення якісною та безпечною для здоров'я питною водою. Ключовими принципами, закріпленими в законі, є пріоритетність питного водопостачання перед іншими видами водокористування, державна підтримка та нагляд, а також обов'язок підприємств водопостачання забезпечувати виробництво та постачання води відповідно до встановлених норм та умов договору [4].

Закон зобов'язує підприємства впроваджувати новітні та ресурсозберігаючі технології для забезпечення споживачів водою нормативної якості [5].

Вимоги до якості питної води встановлюються Державними санітарними нормами та правилами ДСанПіН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" [2]. Цей документ регламентує широкий спектр показників, згрупованих за трьома категоріями: епідемічної безпеки (мікробіологічні, паразитологічні), санітарно-хімічної безпеки (органолептичні, фізико-хімічні, санітарно-токсикологічні) та радіаційної безпеки [2]. ДСанПіН встановлює гранично допустимі концентрації для десятків речовин, зокрема для заліза загального (C_{Fe} 0.2 мг/дм³), загальної жорсткості (Ж 7.0 ммоль/дм³), нітратів ($C_{NO_3^-}$ 50 мг/дм³) та інших [1]. Водночас, як зазначається у вихідних даних, для багатьох підприємств із

застарілими технологіями очищення досягнення цих нормативів є значним викликом. [1]

Проектування, будівництво та реконструкція систем водопостачання регулюються Державними будівельними нормами ДБН В.2.5-74:2013 "Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування" [8]. Ці норми встановлюють вимоги до всіх елементів системи: від вибору джерела водопостачання та проектування водозабірних споруд до розрахунку та конструювання водопровідних мереж і споруд на них [8]. Зокрема, ДБН регламентує гідравлічні параметри мережі, встановлюючи, що мінімальний вільний напір на вводі в одноповерхову забудову має бути не менше 10 м, а максимальний – не більше 45 м [11]. Ці нормативи є вихідними даними для проведення гідравлічних розрахунків та моделювання мереж.

Директиви Європейського Союзу. Гармонізація українського законодавства з нормами ЄС є ключовим елементом євроінтеграції. У сфері водних ресурсів визначальними є дві директиви.

Директива 2000/60/ЄС (Водна рамкова директива) встановлює рамки для діяльності Співтовариства в галузі водної політики [12]. Її фундаментальна відмінність полягає у впровадженні інтегрованого, басейнового підходу до управління водними ресурсами [14]. Замість фокусування на окремих джерелах забруднення чи водокористувачах, директива вимагає розглядати річковий басейн як єдину екосистему та розробляти плани управління, спрямовані на досягнення "доброго екологічного та хімічного стану" всіх поверхневих та підземних водних тіл [14]. Це вимагає комплексного моніторингу, аналізу антропогенних впливів та розробки програм заходів для їх зменшення.

Директива (ЄС) 2020/2184 "Про якість води, призначеної для споживання людиною" є оновленою версією попереднього документа (98/83/ЄС) і запроваджує низку революційних змін, що кардинально змінюють підходи до забезпечення безпеки питної води [15]. Ключовою інновацією є обов'язкове впровадження ризик-орієнтованого підходу по всьому ланцюгу

водопостачання – "від водозабору до крана" (from catchment to tap) [17]. Це означає, що підприємства водопостачання зобов'язані проводити оцінку ризиків не лише на етапі водопідготовки, а й для джерел водопостачання (водозбірних басейнів) та внутрішньобудинкових розподільчих систем [17].

Такий підхід знаменує собою фундаментальний зсув парадигми. Якщо традиційні українські норми, як ДСанПіН, переважно зосереджені на контролі якості кінцевого продукту (реактивний підхід), то нова європейська директива вимагає створення системи проактивного управління, спрямованої на виявлення, оцінку та попередження потенційних загроз на всіх етапах [17]. Це перетворює модернізацію з простого оновлення обладнання (наприклад, встановлення кращих фільтрів) на впровадження комплексних систем моніторингу та управління (таких як SCADA та DMA), які є інструментами для реалізації цієї нової філософії управління ризиками.

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз ключових показників якості питної води

Показник	Одиниця виміру	ДСанПіН 2.2.4-171-10	Директива (ЄС) 2020/2184
Свинець (Lead)	мкг/л	10	10 (тимчасово), 5 (цільовий)
Хром (Chromium)	мкг/л	50	50
Мутність (Turbidity)	НОК (NTU)	1,0 (після станції очистки)	Прийнятний для споживачів і без аномальних змін
Залізо загальне (Total Iron)	мг/дм ³	0,2	0,2 (індикаторний параметр)
Нітрати (Nitrates)	мг/л	50	50
Тригалометани (сума)	мкг/л	Не нормується (окремо хлороформ 60)	100
Хлорати (Chlorate)	мг/л	Не нормується	0,25

1.2 Сучасні тенденції в проєктуванні та модернізації водопровідних мереж

Розвиток цифрових технологій, нових матеріалів та інженерних підходів кардинально змінює принципи проєктування, експлуатації та модернізації систем водопостачання. Сучасні тенденції спрямовані на підвищення точності розрахунків, оптимізацію управління активами та мінімізацію впливу на довкілля та міську інфраструктуру.

Гідравлічне моделювання як інструмент аналізу та оптимізації

Гідравлічне моделювання стало невід'ємним інструментом для аналізу та проєктування водопровідних мереж. Воно дозволяє створити комп'ютерну симуляцію системи, яка точно відтворює її поведінку за різних умов експлуатації. Застосування гідравлічних моделей дає змогу вирішувати широкий спектр завдань: проєктування нових та розширення існуючих мереж, оптимізація режимів роботи насосів та резервуарів, аналіз якості води та часу її перебування в мережі, планування дій у надзвичайних ситуаціях (наприклад, пожежогашіння або аварійні відключення) та розробка стратегій зниження енергоспоживання [20].

Одним з найпоширеніших у світі програмних продуктів для цих цілей є **EPANET**, розроблений Агентством з охорони навколишнього середовища США (U.S. EPA) [22]. Це безкоштовне програмне забезпечення дозволяє виконувати як статичні розрахунки (для певного моменту часу, наприклад, години максимального водоспоживання), так і динамічне моделювання в розширеному періоді (Extended-Period Simulation, EPS), що відтворює зміни тисків, витрат та рівнів у резервуарах протягом доби або довшого періоду [20]. Саме версія **EPANET 2.2** була використана для аналізу системи водопостачання м. Бурштин, що підкреслює відповідність методології дослідження сучасним інженерним практикам [1].

Інтеграція Геоінформаційних систем (ГІС)

Сучасне управління водопровідною інфраструктурою неможливе без використання Геоінформаційних систем (ГІС). ГІС дозволяє об'єднати просторові дані (карти) з атрибутивною інформацією про кожен елемент мережі (діаметр, матеріал, рік прокладання труби; тип та стан засувки тощо) в єдину базу даних [23]. Це створює потужний аналітичний інструмент, який забезпечує:

1. Оперативну інвентаризацію та візуалізацію активів: Диспетчери та інженерні служби отримують миттєвий доступ до актуальної схеми мережі з усіма необхідними характеристиками [25].

2. Оптимізацію ліквідації аварій: ГІС дозволяє швидко визначити, які саме засувки необхідно перекрити для локалізації витоків, мінімізувавши кількість відключених споживачів [24].
3. Планування ремонтів та реконструкції: Аналізуючи дані про вік, матеріал та аварійність ділянок, можна формувати пріоритетні плани заміни мереж [24].
4. Інтеграцію з гідравлічними моделями: ГІС є ідеальним джерелом вихідних даних для створення моделей в EPANET, забезпечуючи їх точність та актуальність. У проєкті для Бурштина як фонові шари використовувалися дані OpenStreetMap та топографічні карти, що є прикладом базового застосування ГІС [1].

Сучасні матеріали та безтраншейні технології

Вибір матеріалів для трубопроводів та технологій їх прокладання є стратегічним рішенням, що визначає надійність, довговічність та вартість життєвого циклу всієї системи. Ситуація в Бурштині, де 62% мережі складають застарілі сталеві та чавунні труби, схильні до корозії та витоків, яскраво ілюструє важливість цього вибору [1].

Матеріали: Сучасним стандартом для напірних водопровідних мереж є труби з поліетилену високої щільності (HDPE або ПНД). Їхні переваги порівняно з традиційними матеріалами є беззаперечними [26]:

1. Корозійна стійкість: HDPE не іржавіє, не піддається електрохімічній корозії та стійкий до більшості хімічних реагентів, що гарантує стабільність характеристик протягом усього терміну служби [26].
2. Довговічність: Прогнозований термін експлуатації HDPE труб сягає 100 років, що значно перевищує показники для сталі та чавуну [28].
3. Герметичність з'єднань: Технологія зварювання встик або за допомогою електрозварних муфт створює монолітне, повністю герметичне з'єднання, яке є міцнішим за саму трубу. Це усуває основну причину витоків у старих мережах – негерметичність стиків [29].

4. Гнучкість: Труби з HDPE є гнучкими, що дозволяє їм витримувати зміщення ґрунтів та сейсмічні навантаження, а також спрощує монтаж, особливо при використанні безтраншейних технологій [29].
5. Відмінні гідравлічні характеристики: Гладка внутрішня поверхня HDPE труб має низький коефіцієнт шорсткості, що зменшує втрати напору на тертя і, як наслідок, знижує витрати електроенергії на перекачування води [27].

Перехід на HDPE труби, рекомендований для Бурштина, є не просто заміною старих труб на нові, а стратегічною інвестицією. Хоча початкові капітальні витрати можуть бути вищими, суттєве зниження операційних витрат (менша кількість ремонтів, відсутність втрат води через негерметичні з'єднання, менше споживання електроенергії) робить цей вибір економічно вигідним у довгостроковій перспективі, що підтверджується аналізом вартості життєвого циклу.

Таблиця 2.2 – Порівняльні характеристики матеріалів для водопровідних труб

Характеристика	Поліетилен високої щільності (HDPE)	Сталь	Чавун
Термін служби	До 100 років	20-40 років	40-60 років
Стійкість до корозії	Відмінна, не потребує захисту	Низька, потребує ізоляції та катодного захисту	Середня, схильний до графітизації
Метод з'єднання	Зварювання встик (монолітне, герметичне)	Зварювання, фланці (схильні до корозії)	Розтрубні з'єднання (схильні до витоків)
Гнучкість	Висока, дозволяє безтраншейне укладання	Низька, жорсткий матеріал	Низька, крихкий матеріал
Гідравлічна шорсткість	Дуже низька, стабільна в часі	Низька (нова труба), значно зростає з часом через корозію	Середня, зростає з часом

Технології: в умовах щільної міської забудови традиційні відкриті методи прокладання трубопроводів є дорогими та створюють значні незручності. Тому все більшого поширення набувають безтраншейні технології ремонту та заміни мереж [30]. Такі методи, як релайнінг (протягування нової труби меншого діаметра всередині старої), санація полімерним рукавом (Cured-in-Place Pipe, CIPP) або руйнування старої труби з

одночасним протягуванням нової (pipe bursting), дозволяють відновлювати трубопроводи з мінімальним обсягом земляних робіт, скорочуючи терміни виконання, фінансові витрати та соціальні незручності [32].

1.3 Методи підвищення енергоефективності та надійності систем водопостачання

Підвищення надійності та енергоефективності є двома ключовими цілями модернізації систем водопостачання. Досягнення цих цілей вимагає впровадження комплексу взаємопов'язаних технологічних рішень, які дозволяють перейти від реактивного усунення проблем до проактивного інтелектуального управління мережею.

Автоматизація та системи SCADA

Технології, описані вище – DMA, управління тиском, ЧРП – розкривають свій повний потенціал лише тоді, коли вони об'єднані в єдину інтелектуальну систему управління. Такою системою є SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – система диспетчерського управління та збору даних [44]. SCADA є "мозковим центром" сучасної системи водопостачання і виконує три основні функції [44]:

1. Збір даних (Acquisition): Система в реальному часі збирає інформацію з численних датчиків, встановлених по всій мережі: витратомірів на входах в DMA, датчиків тиску в контрольних точках, рівнемірів у резервуарах, датчиків якості води (наприклад, залишкового хлору) тощо [45].
2. Диспетчерське управління (Supervisory Control): З центрального диспетчерського пункту оператор може дистанційно керувати обладнанням: вмикати та вимикати насоси, змінювати їхню продуктивність (через ЧРП), відкривати та закривати засувки з електроприводом, змінювати налаштування регуляторів тиску.
3. Візуалізація та аналіз (HMI): Людино-машинний інтерфейс (Human-Machine Interface) відображає всю інформацію на екрані у вигляді

мнемосхем, графіків та таблиць. Система автоматично реєструє всі події, веде архіви даних та генерує тривожні сигнали у разі виходу параметрів за допустимі межі [46].

Впровадження DMA, ЧРП та SCADA не слід розглядати як набір окремих заходів. Це елементи єдиної, синергетичної системи. Дані з витратомірів DMA надходять у SCADA. Аналізуючи ці дані, диспетчер (або автоматичний алгоритм) виявляє аномалії, наприклад, підвищений нічний потік в одній із зон. На основі цієї інформації SCADA може автоматично скоригувати роботу насосної станції з ЧРП для зниження тиску в цій зоні до моменту прибуття ремонтної бригади, тим самим зменшуючи обсяг витоку. Таким чином, створюється замкнений контур інтелектуального управління "вимірювання – аналіз – дія", що дозволяє досягти максимальної надійності та ефективності роботи всієї системи водопостачання.

2.1 Загальні відомості

На шляху до європейської спільноти Україна взяла на себе зобов'язання з імплементації ряду європейських директив, норм, стандартів і документів, зокрема:

Директиви 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики»;

Директиви Ради 2020/2184/ЄС від 16 грудня 2020 року «Про якість води, призначеної для споживання людиною»;

Також прийняті показники Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) є недосяжними для виконання при існуючих технологіях з очищення води. Будівництво нових очисних споруд та реконструкція існуючих, пов'язано із значними капітальними витратами.

Всі ці задекларовані принципи повинні бути досяжними та виконаними безпосередньо підприємствами водопровідно-каналізаційного господарства.

Послуги з водопостачання та водопостачання в Україні надають 2360 підприємств, які характеризуються в основному значною зношеністю основних фондів, великими втратами води, низькою водо підготовкою та значно малою енергоефективністю.

Одним із таких підприємств є комунальне підприємство "Житловик" Бурштинської міської ради (далі КП "Житловик").

Виток у розвитку Бурштина пов'язаний із початком спорудження потужної електростанції у заплавній долині річки, останній блок якої запустили у 1969 році. З 2014 року Бурштин став містом обласного значення, а у 2020 році, внаслідок адміністративно-територіальної реформи — центром Бурштинської міської територіальної громади. Бурштин — це передусім промисловий центр, неподалік від якого працює Бурштинська ТЕС, що є найбільшою у Західній Україні тепловою електростанцією.

На разі централізоване водопостачання присутнє безпосередньо в м. Бурштин та 3-ох прилеглих селах. Загалом послуга надається 14105 особам або 5509 домогосподарствам.

Середньодобове споживання води становить 1,1 тис.м³ і в наслідок воєнних дій через прибуття внутрішньо переміщених осіб збільшилось на 20% в порівнянні із довоєнним періодом.

Система водопостачання була введена в дію на основі підземних вод. На сьогоднішній день водопостачання міста забезпечується із підземного вододжерела «Корчова» та «Коростовичі».

З 2022 р. забезпечення міста водою здійснюється тільки із водозабору «Корчова» де розміщені 4 свердловини. Водозабір «Коростовичі» законсервований так як вода не відповідає належній якості. Хоча підземні води більш захищені від наслідків господарської діяльності, проблема очистки питної води з кожним роком постає все гострішою.

Особливо, гострою проблема постала у 2022 р. з початком вторгнення на Україну та введення військового стану. Місто прийняло 1768 внутрішньо переміщених осіб із східних областей нашої держави із них 548 дітей. Фактично це є майже 12% від населення міста. Більшість осіб стикнулися із додатковою проблемою у відсутності доступу до послуг з питної води та водовідведення.

Проектна виробнича потужність водопостачання 8000 м³ /добу. Проект розроблено Львівським ТЕП.

Склад водоочисних споруд:

1. Водозабір урочища Корчева.
2. Водозабір урочища Коростовичі.
3. Градирня.
4. Фільтри.
5. Установа гідролізна «Полум'я».
6. Резервуари чистої води.
7. Водонапірна вежа.

8. Насосна станція II підйому.

Загальна характеристика водозабірних споруд

В урочищі Корчева експлуатується 4 свердловини.

Видобування підземних вод КП «Житловик» здійснюється на підставі «Спеціального дозволу на користування надрами» від 06 жовтня 2017 року № 6227.

Експлуатаційні запаси підземних вод яких становлять 1700 м³/добу.

В урочищі Коростовичі експлуатується 5 свердловин.

Видобування підземних вод КП «Житловик» здійснюється на підставі «Спеціального дозволу на користування надрами» від 29 січня 2015 року № 6023.

Експлуатаційні запаси підземних вод яких становлять 2600 м³/добу.

КП "Житловик" обслуговує 9 свердловин.

Загальні експлуатаційні запаси підземних вод становлять 4,3 тис. м³/добу.

Перелік і технічна характеристика свердловин в розрізі водозаборів наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1–Річний водовідбір в розрізі водозаборів за останні п'ять років
склав (тис м³/добу)

Назва водозабору	2020	2021	2022	2023	2024
Ур. Корчева	269,7	66,3	0	0	0
Ур. Коростовичі	438,1	435,3	491,7	522,2	535,4
Разом річний забір води	707,8	501,6	491,7	522,2	535,4

Таблиця 3.2 – Перелік і технічна характеристика свердловин КП "Житловик"

№ п/п	№ свердловини	Рік буріння свердловини	Глибина свердловини, м	Абсолютна висота поверхні землі, м	Літологічний склад водонамищених порід його потужність	Геологічний індекс водонесених порід його потужність	Конструкція свердловини			Результати дослідної відкачки				Тип насосного інв. №	Продуктивність насосу, м³/год	Висота напору, м	Заглиблення насосу, м	Тех. стан свердлов. Прилад обліку		
							Діаметр фільтрової колонії, мм	Діаметр фільтру, мм	Діаметр робочої частини фільтру, мм	Статичний рівень, м	Динамічний рівень, м	Дебіт, м³/год	Пониження, м/шт. дебіт, м³/год							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Водозабір «Корчева»																				
1	2/1	271	1965	219,53	гравійно-галечник мергель	$\frac{Q-K_2}{4,2}$	$\frac{529}{0,0-11,8}$	$\frac{325}{0,0-19}$	$\frac{325}{11,8-16}$	Дирчастий з проволочною обмоткою	1,42	4,95	71	$\frac{3,53}{20,11}$	40	ЕЦВ 8-40-90	$\frac{13,5}{23,60}$		Діюча МВН 130-10	
2	3/1	273	1965	220,56	гравійно-галечник мергель	$\frac{Q-K_2}{3,8}$	$\frac{529}{0,0-11}$	$\frac{325}{0,0-19}$	$\frac{325}{12,2-16}$	Дирчастий з проволочною обмоткою	1,35	4,78	73	$\frac{3,43}{21,28}$	40	ЕЦВ 8-40-90		резервна	Діюча МВН 130-10	
3	1/2	278	1965	219,27	гравійно-галечник мергель	$\frac{Q-K_2}{6,1}$	$\frac{529}{0,0-9,5}$	$\frac{325}{0,0-20}$	$\frac{325}{10-15}$	Дирчастий з проволочною обмоткою	1,4	4,76	69,5	$\frac{3,36}{20,68}$	40	ЕЦВ 8-40-90	$\frac{11}{32,14}$		Діюча МВН 130-10	
4	3/2	294	1965	219,35	гравійно-галечник мергель	$\frac{Q-K_2}{5,8}$	$\frac{529}{0,0-9,7}$	$\frac{325}{0,0-20}$	$\frac{325}{10-15,5}$	Дирчастий з проволочною обмоткою	1,4	4,4	40	$\frac{3}{13,33}$		ЕЦВ 8-40-90		резервна	Діюча МВН 130-10	
Водозабір «Коростовичі»																				
1	2	297	1987	238,10	суглинко мергель	$\frac{Q-K_2}{45,0}$	$\frac{426}{0-4}$ $\frac{351}{0-9}$			-	5,5	28	34,92	$\frac{22,5}{1,552}$	40	ЕЦВ 8-40-120	$\frac{37,5}{81,00}$	60	Діюча МВН 130-10	
2	3	299	1987	237,02	суглинко мергель	$\frac{Q-K_2}{40}$	$\frac{426}{0-6}$ $\frac{351}{0-12}$			-	5,6	27	50,04	$\frac{21,4}{2,34}$	60	ЕЦВ 10-65-110	$\frac{38,5}{75,00}$	64	Діюча МВН 130-10	
3	4	306	1987	232,56	суглинко мергель	$\frac{Q-K_2}{43}$	$\frac{426}{0-4}$ $\frac{351}{0-7,5}$			-	3,5	17	59,76	$\frac{13,5}{4,4}$	60	ЕЦВ 10-65-110	$\frac{16,5}{40,00}$	55	Діюча МВН 130-10	
4	5	304	1987	132,58	суглинко мергель	$\frac{Q-K_2}{45,5}$	$\frac{426}{0-4,5}$ $\frac{351}{0-10}$			-	3,3	17,3	59,76	$\frac{14}{4,27}$		ЕЦВ 10-65-110		резервна	Діюча МВН 130-10	
5	6	933	1987	233,99	суглинко мергель	$\frac{Q-K_2}{40}$	$\frac{426}{0-5}$ $\frac{351}{0-9}$			-	0,7	8,05	59,76	$\frac{7,35}{8,13}$		ЕЦВ 10-65-110		резервна	Діюча МВН 130-10	

3.1 Показники хімічного складу води з водозабірних споруд підземних вод свердловин

Водозабірними спорудами КП "Житловик" свердловинами видобувається підземна вода з двох урочищ які відповідно мають різні водоносні горизонти, які відрізняються за складом води.

За багатолітній період спостережень якості підземних вод, що видобуваються водозабірними спорудами КП "Житловик", як хіміко-бактеріологічною лабораторією підприємства, так і лабораторіями відповідних контролюючих органів, підтверджений той факт, що макро- і мікрокомпонентний склад води цих водоносних горизонтів в межах водозаборів, які використовуються характеризується стабільністю; він практично не змінюється як по вмісту окремих компонентів, так і по їх співвідношенню.

Якісний склад води практично повністю відповідає сучасним уявленням про склад підземних вод, які формуються в умовах, аналогічних фізико-географічному і геолого-гідрогеологічному стану нашої території, і за переважаючою більшістю показників відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Якісні показники підземних вод за 2022 рік в розрізі водозабірних споруд (свердловин) за даними хіміко-бактеріологічної лабораторії КП «Житловик» наведені в таблиці 3.1.

Як засвідчують наведені дані, перевищення допустимих нормативів урочища Корчева спостерігається по вмісту заліза загального (8,8-12,1 мг/дм³ – в 44-60,5 рази), амонію (1,2-1,8 мг/дм³ – в 2,4-3,6 рази), а також забарвленість (50,9-58,9 град – в 2,5-2,9 рази), каламутність (26,5-32 мг/дм³ – 17,6-21,3 рази). Вода урочища Корчева проходить очистку (знезалізнення). Перевищення допустимих нормативів урочища Коростовичі спостерігається по показнику жорсткості (10,2-27 мг/дм³ - в 1,5-3.9 рази).

Після очистки та змішування води в резервуарах чистої води ці показники складають:

залізо загальне 0,08-0,2 мг/дм³, амоній 0,05-0,5 мг/дм³, забарвленість 2,4- 20 град, каламутність 0,17-1,5 мг/дм³ – відповідно, що не перевищує нормативи ДСанПіН 2.2.4-171-10 (табл. 4). жорсткість 10,2-14 мг/дм³.

Підвищені значення наведених показників у природних підземних водах пояснюються, насамперед, геоморфологічними, геолого-гідрогеологічними і кліматичними умовами в зонах живлення. Вода урочища Корчева, як правило, прісна гідрокарбонатна кальцієва, з мінералізацією 0,6 -1 мг/дм³. Води характеризуються підвищеною жорсткістю та високим вмістом заліза. Підвищена жорсткість пов'язана з перетіканням води з вододільних частин Опілля, де поширені неогенові відклади, в складі яких зустрічаються гіпси й ангідрити. Геоморфологічна будова території сприяє перетіканню води з неогенових відкладів вниз по схилах, через товщу елювіально-делювіальних відкладів, по контакту з крейдовими утвореннями в долини Дністра і Гнилої Липи де відбувається змішування із водою в середньо-та верхньонеоплейстоценових відкладах, які складають тильні частини долин.

Вода урочища Коростовичі прісна, гідрокарбонатно-сульфатна. Мінералізація води в верхньокрейдových відкладах 0,4-2,7 мг/дм³. Як правило, меншою вона є в свердловинах на низьких терасах поблизу русла на лівобережжі Гнилої Липи. В напрямку до вододілів мінералізація і жорсткість води в свердловинах зростає. Це пов'язано із впливом водоносного горизонту в неогенових відкладах де відбувається частково живлення підземних вод. Жорсткість води у свердловинах пробурених на неогеновий горизонт сягає 32 мг/дм³, що спричинене наявністю гіпсу. В межах родовища виявлено активний взаємозв'язок між водоносними горизонтами в неогенових і крейдових відкладах.

В районі м. Бурштин та його околиць, проводилась детальна гідрогеологічна розвідка, за результатами якої в районі не виявлено жодної більш перспективної, з огляду якості підземних вод ділянки, відтак на даний час водозабори Корчева та Коростовичі – єдині можливі водозабори, що здатні забезпечити населення та підприємства м. Бурштин водою.

Таблиця 3.1 – Показники хімічного складу води з водозабірних споруд підземних вод св. КП «Житловик» за 2022 рік

№ свердловини	Запах при 20°С, бал	Забарвлення град.	Каламутність мг/дм ³	pH	Окиснюваність мг/дм ³	Залізо загальне мг/дм ³	Амоній мг/дм ³	Нітрити мг/дм ³	Нітрати мг/дм ³	Сульфати мг/дм ³	Хлориди мг/дм ³	Лужність моль/дм ³	Жорсткість загальна моль/дм ³	Кальцій мг/дм ³	Магній мг/дм ³	Натрій мг/дм ³	Алюміній мг/дм ³	Фториди мг/дм ³	Мідь мг/дм ³	Цинк мг/дм ³	Марганець мг/дм ³	Сухий залишок мг/дм ³	Мolibден мг/дм ³	Полифосфати мг/дм ³	Нафтопродукти мг/дм ³	Нікель мг/дм ³	Хром загальний мг/дм ³		
																												≤2	≤20
Водозабір "Корчева"																													
2/1	2/2	58,9	32,0	7,28	2,9	11,0	1,8	0	0	101	10,5	0	8,7	109	19,0	33,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3/1	2/1	50,9	30,0	7,3	2,1	12,1	1,6	0	0	101	11,0	0	7,4	88,5	14,3	22,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/2	3/2	56,6	28,8	6,8	3,5	8,9	1,8	0	0	105	19,0	0	8,7	103	10,0	31,08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3/2	2/2	52,2	26,5	6,9	3,0	8,8	1,2	0	0	98	19,5	0	8,0	78,9	20,4	24,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Водозабір "Коростовичі"																													
2	0/0	0	0,17	6,9	1,4	0,06	0	0	0	137	20,0	0	10,2	206	20	30,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0/0	0	0,17	7,0	1,8	0,07	0	0	0	205	19,5	0	18,0	304	24,3	20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0/0	0	0,18	6,9	1,2	0,12	0	0	0	225	19,5	0	26,5	344	32,2	28,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0/0	0	0,15	7,3	1,2	0,06	0	0	0	119	18,0	0	27,0	360	44,9	16,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0/0	0	0,12	7,2	1,1	0,09	0	0	0	129	19,0	0	27,0	360	44,8	22,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4.1 Гідравлічні розрахунки

Модель була побудована в EPANET 2.2

Фонові мапи: OpenStreetMap, topographic-map.com

Додаткові дані: Генеральні плани населених пунктів, ситуаційні схеми, топографічна зйомка.

Модель водопостачання з водонапірною баштою.

Переваги.

Стабільний тиск у мережі забезпечується гравітаційним напором, тому водопостачання залишається надійним навіть у години пікового розбору.

Висока енергоефективність досягається тим, що після наповнення башти подача води до споживачів відбувається за рахунок сили тяжіння, без потреби в постійній роботі насосів.

Наявність аварійного запасу води є критично важливою під час знеструмлень або надзвичайних ситуацій, оскільки башта акумулює значний об'єм.

Порівняно невеликі витрати на експлуатацію пояснюються простотою системи, адже башти зазвичай потребують менше сервісних втручань, ніж складні насосні комплекси.

Недоліки.

Значні капітальні вкладення на старті пов'язані з будівництвом споруди, закупівлею матеріалів, виконанням монтажних робіт та оформленням або придбанням земельної ділянки.

Регламентні огляди та сервіс є обов'язковими, зокрема потрібні періодичні перевірки технічного стану, очищення резервуара та контроль антикорозійного захисту.

Обмежений об'єм накопичення може стати слабким місцем у періоди дуже високого водоспоживання, коли запас швидко вичерпується.

Візуальний вплив споруди інколи сприймається негативно, бо башта може дисонувати з архітектурою та ландшафтом території.

Модель водопостачання з прямим перекачуванням із частотними перетворювачами.

Переваги.

Тиск регулюється гнучко й точно, оскільки частотний перетворювач змінює швидкість обертання насоса під фактичну потребу мережі.

Енергоспоживання зменшується завдяки роботі насосів у режимі, близькому до оптимального, що знижує витрати на електроенергію та експлуатацію.

Масштабування системи є відносно простим, бо потужність можна нарощувати або зменшувати через підбір насосів і налаштування режимів роботи під змінний попит.

Втрати води можуть скорочуватися, адже система не «перетискає» мережу постійним надлишковим напором і подає воду відповідно до реального споживання.

Недоліки.

Витрати на експлуатацію можуть бути високими, тому що насоси працюють часто або безперервно, а це прямо впливає на плату за електроенергію.

Система критично залежить від електропостачання, і будь-які перебої в мережі живлення здатні спричинити зупинку подачі води.

Технічне обслуговування є складнішим, бо потрібні регулярні роботи з насосним обладнанням, автоматикою та частотними перетворювачами, а також персонал належної кваліфікації.

Початкові інвестиції у впровадження можуть бути суттєвими, особливо для великих систем, через вартість насосів, перетворювачів, шаф керування та пусконаладження.

Міркування щодо районних зон обліку та зон тиску.

Інтеграція районних зон обліку з напірними зонами дозволяє отримати більш керовану, стабільну та економічно доцільну систему розподілу води, де контроль витрат і контроль тиску працюють як єдиний механізм.

Покращене виявлення витоків досягається завдяки детальному моніторингу витрат у кожній зоні, а паралельне налаштування тиску спрощує локалізацію проблемних ділянок і прискорює їх усунення.

Оптимізація тиску в межах зон дає змогу підтримувати його на потрібному рівні, що знижує ймовірність аварій, зменшує ризик розривів труб і подовжує ресурс мережевої інфраструктури.

Економічний ефект проявляється у зменшенні втрат води та скороченні енергоспоживання, тому комбінований підхід зазвичай дає відчутну економію коштів у довгостроковій експлуатації.

Якість послуг для споживачів підвищується через більш рівномірний тиск, стабільнішу подачу води та прогнозованішу роботу мережі в різних режимах водорозбору.

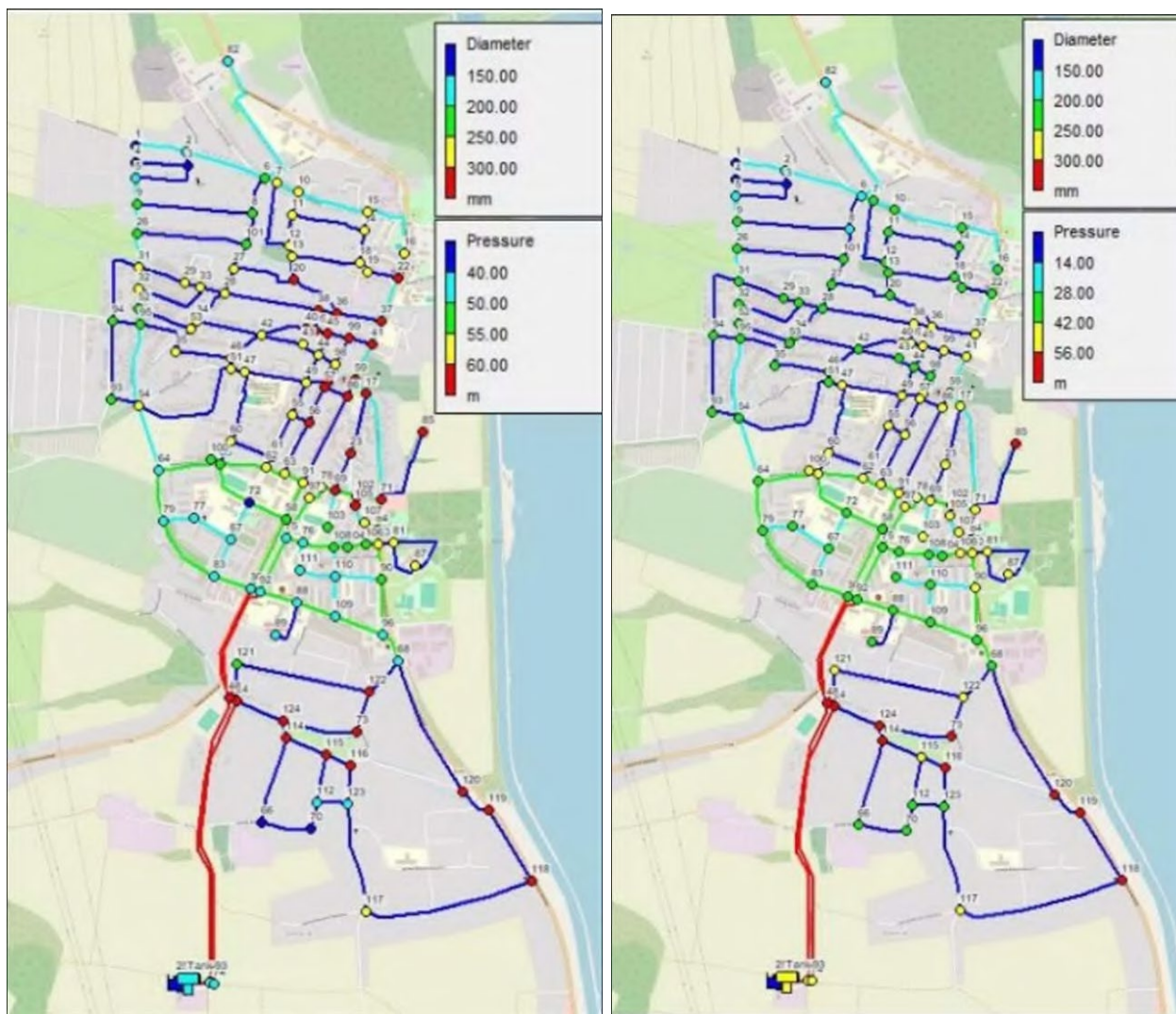


Рис. 4.1 – Бурштин та Дем'янів – аналіз максимального водоспоживання

Міркування щодо DMA та зон тиску у Бурштині та Дем'янові можна подати як логічну схему, де спочатку фіксується структура поділу мережі, далі описується, що саме перевіряється гідравлікою, і в кінці наводиться, як формується попит для моделі в EPANET.

Водорозподільчу мережу було поділено на 6 об'єднаних DMA та зон тиску.

До складу поділу увійшли DMA Дем'янів.

До складу поділу увійшов DMA Бовшів.

До складу поділу увійшов DMA Задністряньські.

У межах міста Бурштин сформовано три окремі DMA, які одночасно узгоджені із зонами тиску.

Перший DMA Бурштина охоплює високощільний житловий район із багатоповерховою забудовою.

Другий DMA Бурштина охоплює центр міста зі змішаною забудовою, де поєднані індивідуальні будинки та багатоповерхові будівлі.

Третій DMA Бурштина охоплює північну частину міста з розрідженою індивідуальною забудовою.

Гідравлічні розрахунки для Бурштина та Дем'янова виконуються як перевірка здатності мережі покривати попит у різних режимах роботи.

Оцінка попиту формується з урахуванням чисельності населення, промислового водокористування та сезонних коливань.

Такі розрахунки потрібні, щоб система коректно працювала як для поточних потреб, так і для прогнозованих навантажень у майбутньому.

Аналіз тиску в мережі підтверджує, що всі райони отримують достатній напір і витрату, особливо у години пікового водорозбору.

Окремо перевіряється працездатність мережі в аварійних сценаріях, зокрема під час пожежогасіння.

Підтримання оптимального тиску зменшує ризик пошкоджень труб, знижує аварійність і підвищує надійність послуги водопостачання.

Підбір діаметрів труб по ділянках виконується так, щоб мінімізувати гідравлічні втрати і забезпечити потрібні витрати у вузлах моделі.

Коректно підібрані діаметри дають змогу доставляти воду споживачам із меншими енерговитратами і без надлишкового тиску.

Для моделювання водоспоживання в Бурштині як базовий орієнтир приймається середньодобове водоспоживання.

Середньодобове водоспоживання

Q_{доб}, становить 2 905 м³ на добу і береться з розрахунків генерального плану на основі прогнозованої чисельності населення та норм водоспоживання.

Для врахування коливань споживання застосовуються коефіцієнти нерівномірності.

Коефіцієнт добової нерівномірності приймається в межах

$$K=0,7-1,3$$

$K=0,7-1,3$ залежно від характеру водокористування і сезону.

Коефіцієнт погодинної нерівномірності задається як

$$K=\alpha\cdot\beta$$

$K=\alpha\cdot\beta$ і використовується для відтворення пікових годин упродовж доби.

Для розрахунку вузлових витрат у моделі доцільно орієнтуватися на максимальне добове водоспоживання

$Q_{доб,max}$, щоб мережа гарантовано витримувала найжорсткіші сценарії попиту.

Базовий попит у моделі визначається як стандартний попит у конкретній точці мережі, який задається в літрах за секунду.

У програмному забезпеченні EPANET 2.2 режимні зміни попиту протягом часу задаються через Time Patterns.

Time Patterns є набором коефіцієнтів, які множаться на базовий попит і формують графік споживання для кожної години або іншого кроку моделювання.

Базовий попит доцільно трактувати як середнє миттєве значення розрахункового добового попиту для обраного розрахункового дня.

Загальну добову витрату для розрахункового режиму зручно формувати по складових, щоб прозоро врахувати всі додаткові навантаження.

Розрахункова добова витрата може бути задана як

$$Q_{доб} = Q_{доб,max} + Q_{пол} + Q_{пр}$$

приймається як максимальне добове водоспоживання населенням.

$Q_{пол}$ враховує витрати на полив і миття міських територій, які прийняті 40 л на одну особу на добу з коефіцієнтом 0,8 і в підсумку становлять 540 м³ на добу.

$Q_{пр}$ враховує потреби промислових підприємств, які приймаються 10 відсотків від середнього водоспоживання населення і становлять 290 м³ на добу.

Окремо враховується додатковий проектований промисловий споживач у вигляді індустріального парку з витратою 25,5 л на секунду при середньодобовому водоспоживанні до 1 000 м³ на добу.

Після складання компонентів доцільно закладати резерв на невраховані витрати, який приймається 10 відсотків.

У такому випадку підсумкову добову витрату можна записати як

$$Q_{доб} = 1,1 \cdot Q_{доб,розр},$$
 де множник 1,1 відповідає 10 відсоткам резерву.



Рис. 4.2 Аналіз тиску під час мінімального водоспоживання

Таблиця 4.1– Зведені дані

№	Показник	Значення	Примітка
1	Кількість об'єднаних DMA та зон тиску.	6.	Для Бурштина передбачено 3 DMA за типом забудови.
2	Середньодобове водоспоживання $Q_{доб,с}$.	2 905 м ³ /добу.	Базовий показник попиту для налаштування моделі.
3	Коефіцієнт добової нерівномірності.	$K=0,7-1,3$.	Для відтворення сезонних і добових коливань.
4	Коефіцієнт погодинної нерівномірності.	$K=\alpha \cdot \beta$.	Для формування пікових годин водорозбору.
5	Витрати на полив і миття $Q_{пол}$	540 м ³ /добу.	Прийнято 40 л на особу на добу з коефіцієнтом 0,8.
6	Промислове споживання $Q_{пр}$	290 м ³ /добу.	Прийнято 10 відсотків від середнього споживання населення.
7	Додатковий споживач індустриальний парк.	25,5 л/с і до 1 000 м ³ /добу.	Додається окремо як перспективне навантаження.
8	Резерв на невраховані витрати.	10 відсотків або множник 1,1.	Рекомендується застосовувати до підсумкової витрати.
9	Інструмент моделювання режимів.	EPANET 2.2.	Використовується Time Patterns для добових профілів.

4.2 Концептуальна роль та стратегічне значення гідравлічного моделювання

Гідравлічне моделювання є потужним інженерним інструментом, що полягає у створенні комп'ютерної, або "цифрової", копії реальної водопровідної мережі. Ця модель дозволяє з високою точністю симулювати динамічні процеси в системі: рух потоків води, розподіл тиску, швидкість, а також відстежувати зміни показників якості води, таких як концентрація дезінфектанту або вік води.³ Застосування цього методу є ключовим елементом переходу від застарілої реактивної моделі управління, яка зводиться до ліквідації наслідків аварій, до сучасної проактивної стратегії, що базується на прогнозуванні, запобіганні та оптимізації роботи інфраструктури. Для системи водопостачання м. Бурштин, яка характеризується високим ступенем зносу та складною конфігурацією, такий підхід є не просто доцільним, а критично необхідним.

Застосування гідравлічного моделювання для аналізу існуючої мережі м. Бурштин та планування її модернізації надає низку незаперечних переваг, які можна згрупувати за трьома основними напрямками.

Водопровідна мережа Бурштина, значна частина якої складається зі старих сталевих та чавунних трубопроводів, страждає від низки хронічних проблем, властивих застарілій інфраструктурі. Ці матеріали з часом піддаються інтенсивній внутрішній корозії та туберкуляції (утворенню наростів на внутрішніх стінках), що призводить до зменшення ефективного діаметра труби, збільшення гідравлічного опору та, як наслідок, зниження її пропускної здатності. Гідравлічна модель дозволяє точно ідентифікувати такі "вузькі місця", де тиск значно падає, а також виявити зони з аномально високим тиском, який провокує пориви на зношених ділянках. Це дає змогу об'єктивно оцінити реальний стан мережі та пріоритезувати ділянки для заміни.

4.3 Оптимізація операційної діяльності та зниження втрат

Однією з ключових переваг моделювання є можливість оптимізації операційних режимів системи. Це включає:

- **Управління невиробничими втратами води (Non-Revenue Water, NRW):** Надлишковий тиск у мережі є однією з головних причин виникнення та збільшення обсягів витоків. Модель дозволяє проаналізувати розподіл тиску по всій системі та розробити заходи з його оптимізації, наприклад, шляхом встановлення регуляторів тиску. Це дозволяє знизити навантаження на старі труби та суттєво зменшити втрати води, що, в свою чергу, веде до скорочення витрат на електроенергію для насосних станцій.
- **Планування зонування мережі:** Модель є ідеальним інструментом для проектування та впровадження системи районних зон обліку (District Metered Areas, DMA). Розбиття мережі на ізольовані зони з постійним моніторингом потоку на вході дозволяє оперативно виявляти витoki, локалізувати їх та ефективно управляти втратами.

4.4 Стратегічне планування та підвищення інвестиційної ефективності

Гідравлічна модель перетворюється на стратегічний інструмент управління ризиками та обґрунтування капіталовкладень. Існуюча система є крихкою, і будь-яка модернізація пов'язана зі значними фінансовими ризиками. Моделювання дозволяє мінімізувати ці ризики шляхом:

- **Аналізу сценаріїв "що, якщо":** Модель дозволяє симулювати роботу мережі за різних екстремальних умов: під час годин максимального водорозбору, у випадку пожежі на одному з об'єктів (що вимагає значних додаткових витрат води), або при аварійному відключенні магістральних водогонів. Це дає змогу перевірити надійність та стійкість проєктних рішень ще до початку будь-яких будівельних робіт, перетворюючи абстрактне поняття "надійність" на вимірювані показники (наприклад, мінімальний тиск, що підтримується у критичних точках мережі).
- **Обґрунтування капіталовкладень:** Шляхом порівняльного аналізу різних сценаріїв модернізації (наприклад, будівництво нової водонапірної вежі проти встановлення насосів з частотно-регульованим приводом) модель дозволяє обрати не просто найдешевший за початковими інвестиціями, а

технічно та економічно найефективніший варіант з урахуванням витрат на весь життєвий цикл об'єкта (Life Cycle Cost, LCC).

- Планування майбутнього розвитку: Модель дозволяє оцінити вплив підключення нових великих споживачів, таких як проєктований індустріальний парк, на роботу існуючої системи. Це забезпечує можливість заздалегідь спланувати необхідні заходи з розширення мережі, гарантуючи стабільне водопостачання як для існуючих, так і для майбутніх абонентів.

Таким чином, гідравлічне моделювання є невід'ємною частиною сучасного підходу до управління водними ресурсами, що дозволяє перейти від ліквідації наслідків до превентивного управління, забезпечуючи надійність, ефективність та довгострокову стійкість системи водопостачання.

Для створення гідравлічної моделі системи водопостачання м. Бурштин було обрано програмний комплекс EPANET 2.2. Цей вибір обґрунтований кількома ключовими факторами. По-перше, EPANET є галузевим стандартом, розробленим Агенцією з охорони довкілля США (EPA), і розповсюджується на безоплатній основі, що робить його доступним для широкого кола користувачів. По-друге, програма надає потужний та гнучкий інструментарій для комплексного аналізу гідравлічних процесів та якості води в мережах під тиском.

Функціональні можливості EPANET 2.2, які були використані в рамках даного проєкту, включають:

- Необмежений розмір мережі: Програма не має обмежень на кількість труб, вузлів та інших елементів, що дозволяє моделювати системи будь-якої складності.
- Гнучкі гідравлічні розрахунки: EPANET дозволяє розраховувати втрати напору на тертя за різними загальноновизнаними формулами, включаючи формули Хазена-Вільямса, Дарсі-Вейсбаха та Шезі-Маннінга, а також враховувати місцеві втрати напору (наприклад, у фітингах та колінах).
- Комплексне моделювання обладнання: Програма дозволяє детально моделювати роботу всіх ключових елементів системи, включаючи насоси

(як з постійною, так і зі змінною швидкістю), різноманітні типи клапанів (запірні, зворотні, регулятори тиску), резервуари будь-якої форми та водонапірні вежі.

- Моделювання попиту, що залежить від тиску (Pressure-Driven Demand): Ця функція, вдосконалена у версії 2.2, є критично важливою для аналізу старих мереж, де тиск може падати нижче нормативного. На відміну від стандартного підходу, де попит вважається постійним, цей метод дозволяє моделювати реальне зниження водорозбору у споживачів при падінні тиску в мережі.
- Аналіз якості води: EPANET дозволяє моделювати поширення неактивних речовин (трасерів), розраховувати вік води (час її перебування в мережі від джерела до споживача), а також моделювати розпад дезінфектантів (наприклад, залишкового хлору) та утворення побічних продуктів дезінфекції.

Етапи побудови моделі та інтеграція вихідних даних. Процес створення гідравлічної моделі складався з трьох послідовних етапів, що забезпечили її максимальну відповідність реальній системі.

Крок 1: Створення топології мережі. На цьому етапі було створено графічне представлення мережі. В якості основи використовувалися доступні картографічні матеріали, зокрема OpenStreetMap, а також офіційна документація: генеральні плани населених пунктів, ситуаційні схеми та дані топографічної зйомки. Всі елементи системи — трубопроводи, вузли (місця з'єднань або відборів), насосні станції, резервуари та водонапірна вежа — були нанесені на карту. Для кожного трубопроводу були введені його фізичні характеристики: довжина, діаметр, матеріал (сталь, чавун, поліетилен) та відповідний коефіцієнт шорсткості, який визначає гідравлічний опір. Ці дані були отримані з технічної документації КП "Житловик".

Крок 2: Введення параметрів об'єктів. Після створення топології кожен елемент моделі був наповнений детальними технічними даними:

- Вузли (Junctions): Для кожного вузла були задані його геодезична висотна відмітка та базовий попит на воду (детальніше розглядається в Розділі 3).
- Резервуари (Tanks) та Водонапірна вежа: Для існуючої водонапірної вежі були введені її ключові параметри: об'єм $V = 400 \text{ м}^3$, висота $H = 40 \text{ м}$, а також початковий, мінімальний та максимальний робочі рівні води. Аналогічні дані були введені для трьох резервуарів чистої води (РЧВ) загальним об'ємом 3000 м^3 .
- Насоси (Pumps): Для насосів другого підйому (Д 315-75, Д 300-65) були введені їхні робочі криві — графіки залежності напору, що створюється насосом, від його продуктивності ($H-Q$ характеристика). Ці криві є "паспортом" насоса і визначають його поведінку в моделі.

Крок 3: Налаштування операційних параметрів. На цьому етапі було описано, як система функціонує в динаміці. Були задані правила управління (Control Rules) для насосів другого підйому, які автоматично вмикають або вимикають їх залежно від рівня води у водонапірній вежі. Для моделювання добової нерівномірності водоспоживання були застосовані спеціальні часові патерни (Time Patterns), які детально описані в наступному розділі.

Конфігурація мережі та стратегія зонування

При розробці моделі для майбутньої модернізованої системи було прийнято два ключові стратегічні рішення. По-перше, перевага надавалася кільцевій (закільцьованій) конфігурації мережі. На відміну від тупикових схем, кільцева система забезпечує подачу води до споживача з двох напрямків, що значно підвищує надійність водопостачання та мінімізує вплив аварій на окремих ділянках на загальну роботу системи.

По-друге, було застосовано комплексний підхід до зонування мережі шляхом об'єднання Районних Зон Обліку (DMA) та Зон Тиску (Pressure Zones, PZ). Ця інтегрована стратегія дозволяє вирішувати кілька завдань одночасно. DMA, в першу чергу, призначені для ефективного управління невикористаними втратами води (NRW). Шляхом ізоляції окремих ділянок мережі та вимірювання різниці між об'ємом води, що надійшов у зону, та об'ємом, спожитим

абонентами, можна точно визначити рівень витоків у кожній конкретній зоні. Зони тиску, які управляються за допомогою редуційних клапанів (Pressure Reducing Valves, PRV), призначені для оптимізації гідравлічних режимів, забезпечуючи достатній, але не надлишковий тиск. Поєднання цих двох підходів, коли межі DMA збігаються з межами зон тиску, надає підприємству інструменти для гранулярного контролю над мережею. Це дозволяє не тільки ідентифікувати, *де* відбуваються втрати, але й активно їх зменшувати, знижуючи тиск у конкретній зоні в години мінімального водорозбору, не впливаючи при цьому на інші райони. Такий підхід є ознакою сучасного, ефективного управління водопровідними мережами.

В рамках проекту вся територія водопостачання була розділена на 6 таких об'єднаних зон: три зони в м. Бурштин, що охоплюють райони з різною щільністю та типом забудови, та по одній зоні для сіл Дем'янів, Бовшів та Задністрянське.

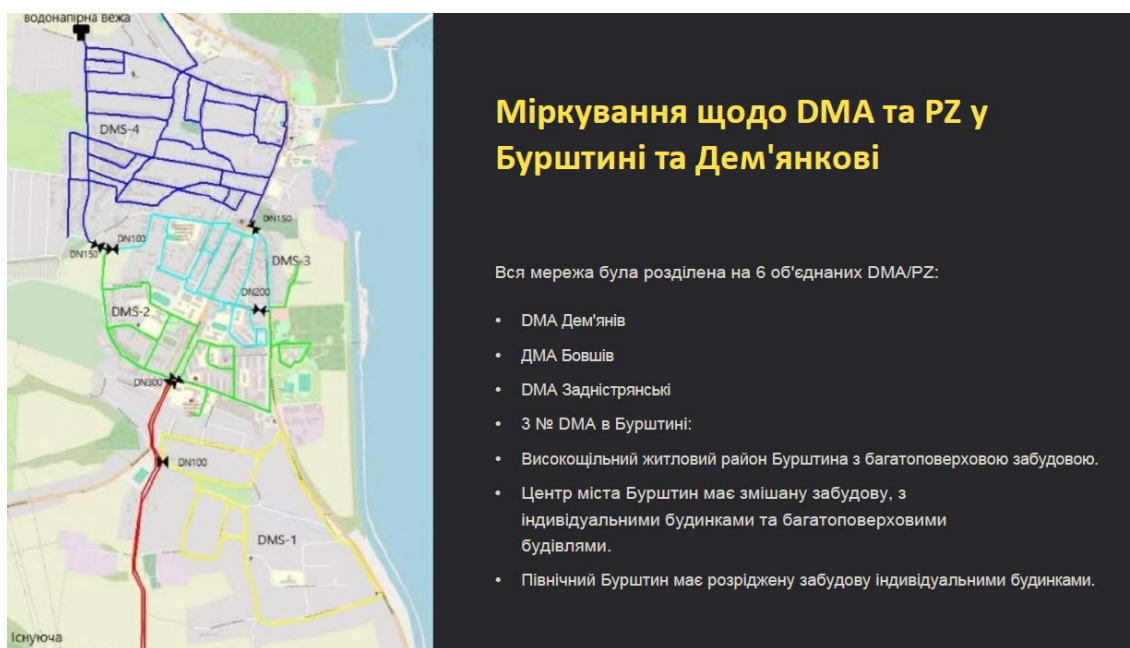


Рис. 4.3 – Поділ мережі н.п. Бурштин та Дем'янкві на зони DMA/PZ

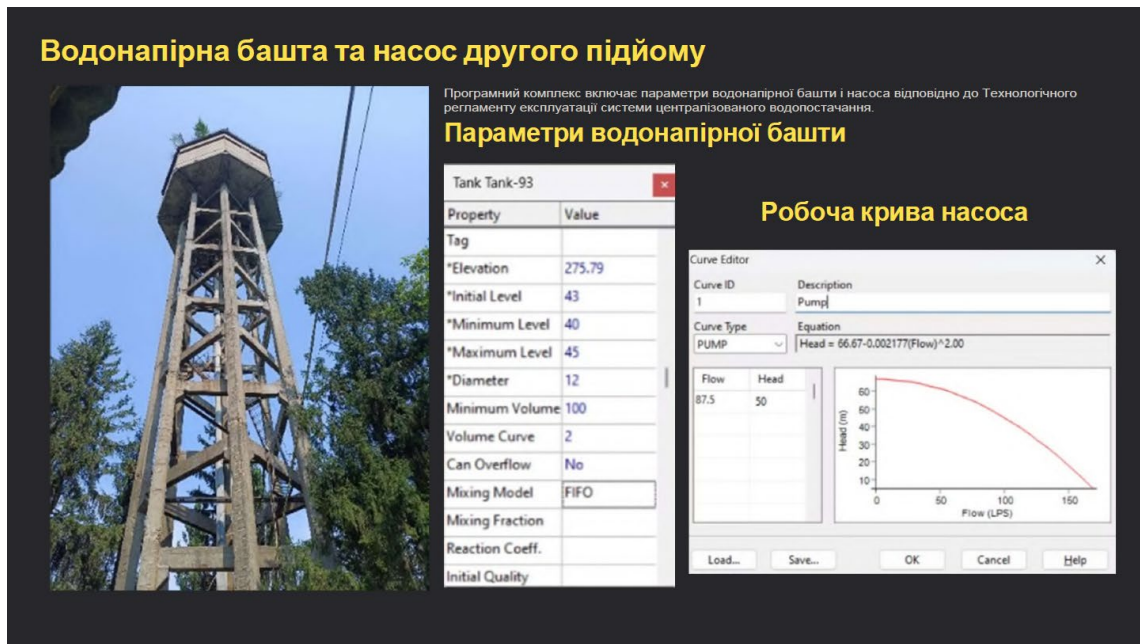


Рис.4.4 – Введення параметрів водонапірної башти та робочої кривої насоса

4.5 Прогнозування попиту на воду на розрахунковий період

Нормативна база та методологія розрахунків. Точне прогнозування попиту на воду є фундаментальною основою для будь-якого гідравлічного моделювання, оскільки саме ці дані визначають навантаження на систему. Всі розрахунки водоспоживання для проекту модернізації системи водопостачання м. Бурштин були виконані у суворій відповідності до чинних нормативних документів України, зокрема ДБН В.2.5-74:2013 "Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди", а також з використанням методологічних підходів, викладених у класичних посібниках, таких як "Розрахунок водопровідних мереж" Н.Н. Абрамова.

Прогноз чисельності населення як основа для розрахунку. Основою для розрахунку сумарного попиту є прогнозована чисельність населення на розрахунковий період. Для забезпечення максимальної точності були використані офіційні дані з містобудівної документації та, за їх відсутності, обґрунтовані експертні оцінки.¹ Без цих вихідних даних будь-яка модель була б нерепрезентативною, оскільки саме демографічні показники визначають базовий обсяг господарсько-питного водоспоживання. Зведені дані, що лягли в основу розрахунків, представлені в таблиці нижче.

Таблиця 4.2 – Прогнозована кількість населення

№	Найменування	Чисельність населення за розрахунковий період	Примітка
1	Бурштин	16,900	
2	Дем'янів	2,270	
3	Бовшів	2,000	
4	Задністряньські	1,800	

Таблиця 4.3 – Прогнозована чисельність населення на розрахунковий період

Населений пункт	Прогнозована чисельність населення	Джерело даних
м. Бурштин	16,900	Проект "Внесення змін до генерального плану м. Бурштин"
с. Дем'янів	2,270	Проект "План села Дем'янів"
с. Бовшів	2,000	Експертна оцінка консультанта
с. Задністряньське	1,800	Експертна оцінка консультанта

4.6 Розрахунок добового водоспоживання та коефіцієнти нерівномірності

На основі прогнозованої чисельності населення та встановлених норм водоспоживання були розраховані ключові показники добового попиту. Розрахунок включав кілька складових:

- Господарсько-питні потреби населення: основна складова попиту.
- Полив територій: враховує сезонне збільшення водорозбору.
- Потреби промислових підприємств: включає існуючого великого споживача (Бурштинська ТЕС) та перспективного (проектований індустріальний парк з розрахунковим споживанням до 1000 м³/добу).
- Невраховані витрати: додаткові 10% на покриття дрібних, неврахованих потреб.

Для врахування коливань споживання протягом тижня та року було застосовано коефіцієнти добової нерівномірності в діапазоні $K_{\text{доб}} = 0.7-1.3$. Це

дозволило визначити як середньодобове споживання ($Q_{\text{доб.с}}$), так і максимальне добове споживання ($Q_{\text{доб.мак}}$), яке є розрахунковим для визначення загальної продуктивності системи.

4.7 Моделювання погодинної нерівномірності для динамічного аналізу

Для проведення динамічного моделювання, що відображає реальні умови роботи мережі протягом 24 годин, необхідно враховувати погодинну нерівномірність водоспоживання. Для цього в EPANET використовуються два ключові поняття: базовий попит та часові патерни.

Базовий попит (Base Demand): це середньогодинна витрата води, яка призначається кожному вузлу моделі. Для забезпечення максимальної надійності системи та її здатності працювати в найскладніших умовах, за основу для розрахунку базового попиту було взято максимальне добове водоспоживання ($Q_{\text{доб.мак}}$).

Часові патерни (Time Patterns): це набори погодинних коефіцієнтів, які моделюють типовий графік водоспоживання для різних груп споживачів. Протягом симуляції базовий попит у кожному вузлі множиться на відповідний коефіцієнт для кожної години доби. Створення окремих патернів для різних типів споживачів значно підвищує точність моделі. Спрощений підхід з використанням єдиного усередненого графіка для всієї системи не зміг би відобразити реальну динаміку навантажень. Наприклад, піки споживання у житловому секторі припадають на ранкові та вечірні години, тоді як промислові підприємства можуть мати відносно рівномірний попит протягом робочого дня. Ці піки не обов'язково збігаються в часі. Моделюючи їх окремо, симуляція може точно передбачити справжній максимальний миттєвий попит на систему та виявити потенційні просідання тиску або дефіцит пропускнуої здатності, які спрощена модель пропустила б. Такий рівень деталізації є важливим для правильного підбору діаметрів труб, потужності насосів та об'єму регулюючих ємностей.

В рамках проекту були розроблені та застосовані наступні часові патерни:

- Часова структура споживання води для житлової забудови (м. Бурштин, с. Дем'янів, Бовшів, Задністрянське): Характеризується двома вираженими піками — ранковим (приблизно з 7:00 до 9:00) та вечірнім (з 18:00 до 21:00), та значним спадом у нічні години.
- Часова структура споживання води для Індустріального парку: Передбачає постійне максимальне споживання (25.5 л/с) протягом робочого дня з 7:00 до 19:00 та нульове споживання в інший час.
- Часова структура споживання води для Бурштинської ТЕС: Враховує специфіку роботи підприємства з піками споживання, що припадають на перезмінки персоналу (7:00-8:00 та 17:00-18:00).



Рис. 4.3 – Водоспоживання м. Бурштин

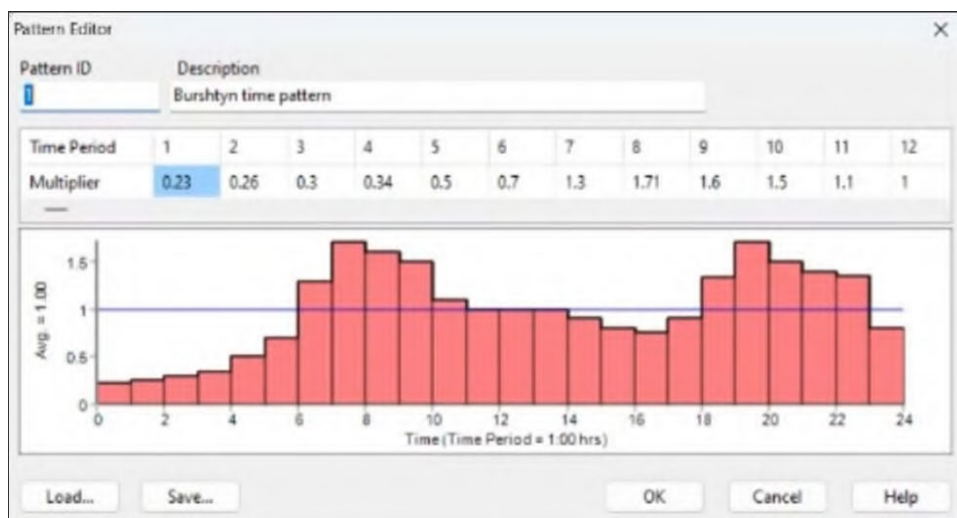


Рис. 4.4 – Водоспоживання в індустріальному парку



Рис. 4.5 – Водоспоживання Бурштинської ТЕС

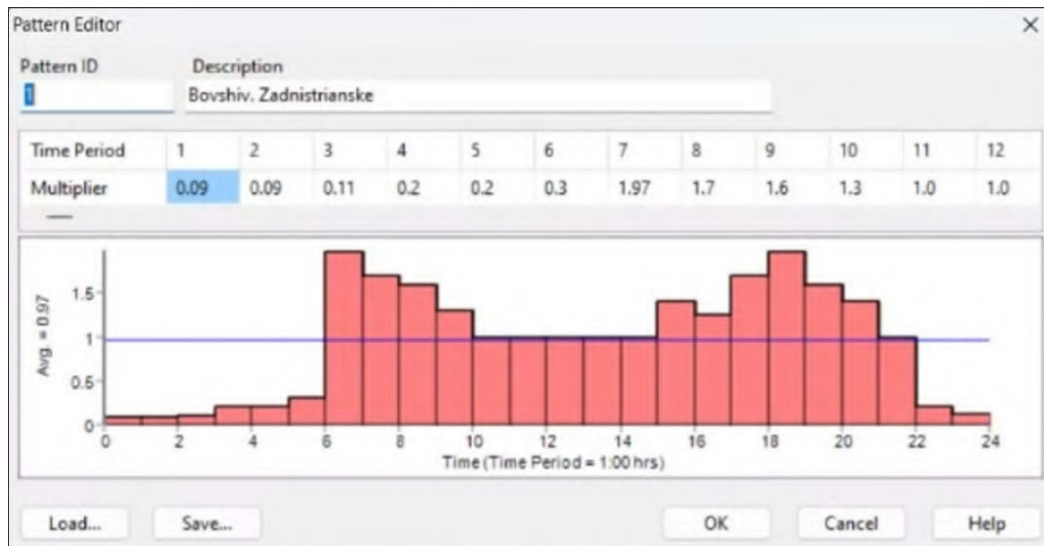


Рис. 4.6 – Водоспоживання Бовшівської та Задністрянської ТЕС

Такий деталізований підхід до моделювання попиту дозволив створити реалістичну та динамічну модель, здатну адекватно відобразити поведінку системи водопостачання за будь-яких умов експлуатації.

4.8 Розробка та опис сценаріїв модернізації системи водопостачання

На основі створеної гідравлічної моделі було розроблено та проаналізовано кілька альтернативних сценаріїв модернізації системи водопостачання. Метою цього аналізу було визначення технічно найнадійнішого та економічно найдоцільнішого варіанту, що забезпечить стаке водопостачання м. Бурштин та прилеглих населених пунктів на довгострокову перспективу.

Аналіз та порівняння базових технологічних моделей

Перед розглядом конкретних сценаріїв було проведено порівняльний аналіз двох фундаментальних технологічних моделей організації водопостачання: традиційної гравітаційної системи з водонапірною вежею та сучасної системи прямого перекачування з насосами, оснащеними частотно-регульованими приводами (ЧРП).

Модель 1: Гравітаційна система з водонапірною вежею

Ця модель передбачає, що насоси другого підйому закачують воду у водонапірну вежу, з якої вона самопливом (під дією сили тяжіння) розподіляється по мережі.

- Переваги:
 - Висока надійність та стабільність тиску: Вежа діє як гідравлічний акумулятор, забезпечуючи стабільний тиск у мережі, який залежить лише від висоти водяного стовпа. Це робить систему менш чутливою до миттєвих коливань попиту.
 - Енергоефективність: Насоси працюють в оптимальному, найбільш ефективному режимі для заповнення вежі, а не вмикаються/вимикаються або змінюють швидкість у відповідь на кожне відкриття крана в системі. Це дозволяє знизити споживання електроенергії та знос обладнання.
 - Наявність резерву та стійкість до збоїв: Вежа зберігає значний об'єм води, який слугує аварійним та протипожежним запасом, забезпечуючи безперебійне водопостачання протягом певного часу навіть у випадку відключення електроенергії або зупинки насосів.
- Недоліки:
 - Високі капітальні витрати: Будівництво водонапірної вежі є значною початковою інвестицією.
 - Потенційні проблеми з якістю води: При низькому водорозборі вода може застоюватися у вежі, що призводить до збільшення її "віку", зниження концентрації залишкового хлору та потенційного

утворення побічних продуктів дезінфекції (Disinfection Byproducts, DBPs), таких як тригалометани (ТТНМ) та галооцтові кислоти (НАА5).

- Обмежена гнучкість: Система має фіксований статичний тиск, що ускладнює гнучке регулювання в різних зонах мережі.

Модель 2: Система прямого перекачування з ЧРП (VFD)

У цій моделі вода подається безпосередньо в мережу насосною станцією. Для підтримки постійного тиску при змінному попиті насоси оснащуються частотно-регульованими приводами (ЧРП, або Variable Frequency Drive, VFD), які змінюють швидкість обертання двигуна насоса.

- Переваги:
 - Гнучке регулювання тиску: Система дозволяє точно підтримувати заданий тиск у контрольних точках мережі в режимі реального часу, адаптуючись до будь-яких змін попиту.
 - Менші капітальні витрати: Відсутня необхідність у будівництві дорогої водонапірної вежі.
 - Масштабованість: Систему легше розширювати шляхом додавання або заміни насосних агрегатів.
- Недоліки:
 - Повна залежність від електропостачання: Будь-яке відключення електроенергії призводить до негайної зупинки водопостачання, оскільки в системі відсутній резервний запас води.
 - Вищі експлуатаційні витрати: Насоси працюють постійно, що може призводити до більшого споживання електроенергії порівняно з оптимально спроектованою гравітаційною системою. Крім того, вартість ремонту та заміни складного електронного обладнання (ЧРП, датчики) значно вища, ніж обслуговування пасивної конструкції вежі.
 - Складність обслуговування: Експлуатація та ремонт систем з ЧРП вимагають вищої кваліфікації персоналу.
 - Ризик гідравлічних ударів: Різкі зміни в роботі насосів або раптові

відключення можуть спричинити небезпечні стрибки тиску (гідроудари) в мережі.

Детальний опис та результати моделювання сценаріїв

На основі порівняння технологій та з урахуванням стану існуючої інфраструктури було розроблено та детально проаналізовано чотири варіанти модернізації для м. Бурштин та с. Дем'янів. Варіанти, що передбачали часткове використання старих труб, були відхилені на початковому етапі, оскільки існуючі сталеві та чавунні труби наближаються до кінця терміну служби, а існуючі поліетиленові труби мають недостатню гідравлічну пропускну здатність для задоволення перспективного попиту.

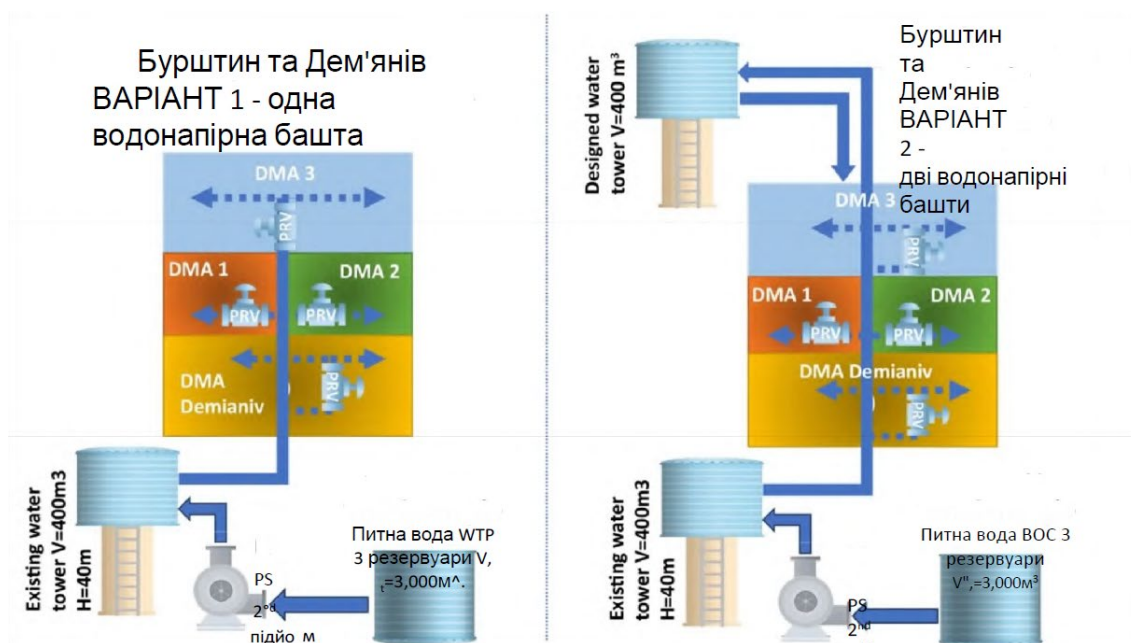


Рис.4.7 – Схематичне зображення моделі 1

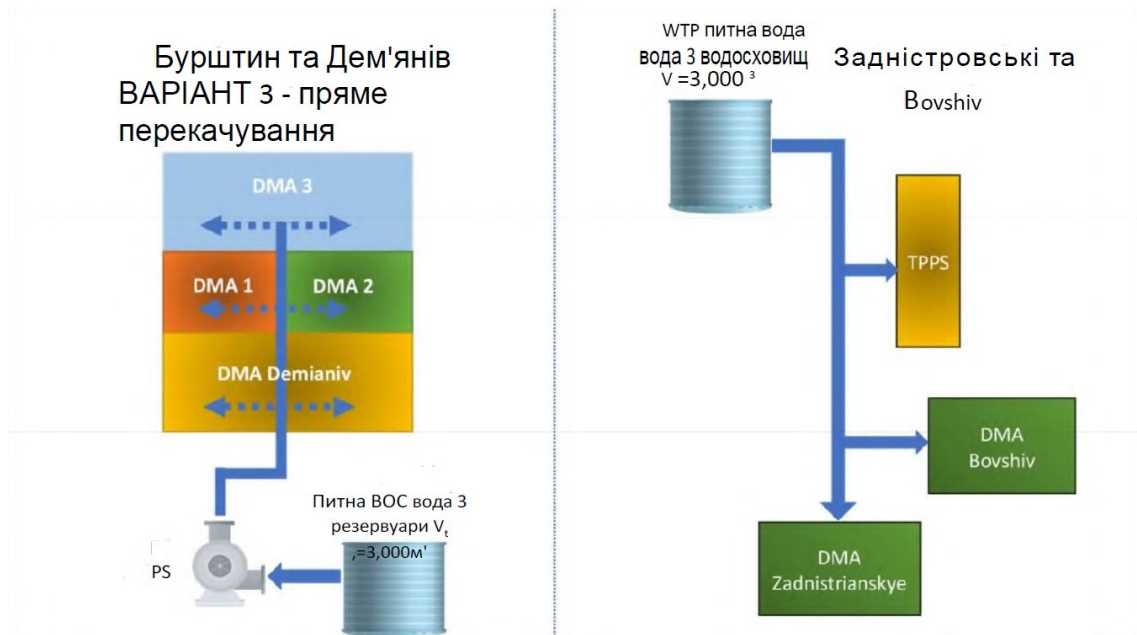


Рис. 4.8 – Схематичне зображення моделі 3

Варіант 1: Нова мережа з однією існуючою водонапірною вежею

- **Опис:** Цей варіант передбачає повну заміну всієї розподільчої мережі на нові трубопроводи з ПНД, але зі збереженням існуючої схеми водопостачання через одну водонапірну вежу об'ємом 400 м³.
- **Результати моделювання:** Аналіз показав, що в режимах середнього та максимального водоспоживання, а також під час симуляції пожежогасіння, система функціонує задовільно, підтримуючи необхідний тиск у мережі. Однак у години мінімального водоспоживання (вночі) виникає серйозна проблема: через високий статичний напір від вежі та мінімальні втрати тиску в мережі тиск у найнижчих точках сягає 6 бар і вище. Такий надлишковий тиск створює ризик поривів, скорочує термін служби труб та арматури і призводить до збільшення витоків.
- **Висновок:** Варіант є технічно недосконалим і не рекомендується до реалізації через неконтрольоване підвищення тиску в нічний час.

Варіант 2: Нова мережа з двома водонапірними вежами

- **Опис:** Цей варіант є розвитком попереднього і передбачає будівництво другої, проектної водонапірної вежі у віддаленій, стратегічно важливій точці мережі. Це дозволяє розділити систему на дві зони тиску та забезпечити надійне водопостачання для перспективного індустріального парку.

- **Результати моделювання:** Симуляція показала, що така конфігурація є найбільш збалансованою. Вона ефективно справляється з максимальними навантаженнями та пожежогасінням, забезпечуючи достатній тиск у найвіддаленіших точках. Водночас, завдяки зонуванню, вдається уникнути надлишкового тиску в нічні години, підтримуючи його в оптимальному діапазоні по всій мережі.
- **Висновок:** Цей варіант визнано найбільш технічно надійним та гнучким, оскільки він забезпечує стабільність роботи системи в усіх можливих режимах експлуатації.

Варіант 3: Нова мережа з прямим перекачуванням (з ЧРП)

- **Опис:** Цей варіант передбачає повну відмову від водонапірних веж. Вода подається безпосередньо в нову мережу насосною станцією II підйому, яка має бути оснащена сучасними насосами з ЧРП для регулювання тиску.
- **Результати моделювання:** Гідравлічно система поводить себе подібно до Варіанту 1. Вона може забезпечити необхідний тиск у години пік, але також стикається з проблемою надлишкового тиску вночі. Хоча теоретично ЧРП можуть знижувати тиск, це вимагає складної системи автоматизації та постійної роботи насосів, що веде до значного збільшення експлуатаційних витрат на електроенергію та підвищує ризики, пов'язані з надійністю електропостачання.
- **Висновок:** Варіант є менш надійним та більш витратним в експлуатації порівняно з варіантами з вежами.

Варіант 4: Поетапна заміна існуючої мережі

- **Опис:** Цей варіант не передбачає побудови нової системи, а лише заміну найбільш зношених та аварійних ділянок існуючої мережі (визначених як "червоний пріоритет").
- **Висновок:** Цей підхід не є комплексним рішенням проблеми. Він залишає в експлуатації значну частину старих труб з низькою пропускнуою здатністю та високим ризиком аварій. Така "клаптикова" модернізація не дозволить досягти цільових показників надійності, ефективності та якості послуг, а в

довгостроковій перспективі виявиться найдорожчою через постійні ремонти та високі експлуатаційні витрати.

4.9 Техніко-економічне порівняння та вибір оптимального сценарію

Для об'єктивного порівняння розроблених варіантів було проведено розрахунок ключових фінансових показників, включаючи капітальні витрати (CAPEX), річні операційні витрати (OPEX), вартість життєвого циклу (LCC) та динамічні питомі витрати (DUC).

Таблиця 4.4 – Розрахунки капітальних затрат (CAPEX), річних операційних витрат (OPEX), вартість життєвого циклу (LCC) та динамічних питомих витрат (DUC)

№	Показник	Значення	Примітка
1	CAPEX, без ПДВ, грн	838,773,354	Option 1
2	OPEX, без ПДВ, грн/рік	20,969,334	Option 1
3	LCC, грн	862,393,807	Option 1
4	DUC, грн/м ³	39	Option 1
5	Фінансовий ранг	1	Option 1
6	CAPEX, без ПДВ, грн	926,428,242	Option 2
7	OPEX, без ПДВ, грн/рік	23,160,706	Option 2
8	LCC, грн	952,123,285	Option 2
9	DUC, грн/м ³	43	Option 2
10	Фінансовий ранг	2	Option 2
11	CAPEX, без ПДВ, грн	838,773,354	Option 3
12	OPEX, без ПДВ, грн/рік	41,938,668	Option 3
13	LCC, грн	1,102,910,414	Option 3
14	DUC, грн/м ³	50	Option 3
15	Фінансовий ранг	3	Option 3
16	CAPEX, без ПДВ, грн	545,277,551	Option 4
17	OPEX, без ПДВ, грн/рік	81,791,633	Option 4
18	LCC, грн	1,464,509,153	Option 4
19	DUC, грн/м ³	67	Option 4
20	Фінансовий ранг	4	Option 4

Таблиця 4.5 – Порівняльний аналіз фінансових показників сценаріїв модернізації

Показник	Варіант 1 (1 вежа)	Варіант 2 (2 вежі)	Варіант 3 (ЧРП)	Варіант 4 (Реконструкція)
CAPEX, грн (без ПДВ)	838,773,354	926,428,242	838,773,354	545,277,551
OPEX, грн/рік	20,969,334	23,160,706	41,938,668	81,791,633

(без ПДВ)				
LCC, грн	862,393,807	952,123,285	1,102,910,414	1,464,509,153
DUC, грн/м ³	39	43	50	67
Фінансовий ранг	1	2	3	4
Технічна оцінка				
Надійність	Середня	Висока	Низька (залежність від енергопостачання)	Дуже низька
Управління тиском	Проблематичне	Оптимальне	Гнучке, але складне	Незадовільне
Рекомендація	Не рекомендовано	РЕКОМЕНДОВАН О	Не рекомендовано	Не рекомендовано

Аналіз таблиці дозволяє зробити кілька важливих висновків. Хоча Варіант 1 має найкращі фінансові показники (найнижчий DUC), його технічні недоліки, пов'язані з надлишковим тиском, роблять його неприйнятним. Варіант 4, незважаючи на найнижчий CAPEX, є абсолютно не вигідним у довгостроковій перспективі через колосальні операційні витрати (OPEX) та найвищу вартість життєвого циклу (LCC). Варіант 3 (з ЧРП) має значно вищі OPEX порівняно з гравітаційними системами через підвищене споживання електроенергії.

Таким чином, Варіант 2 (дві водонапірні вежі), незважаючи на найвищі початкові капіталовкладення, є оптимальним збалансованим рішенням. Він забезпечує найвищий рівень технічної надійності та прийнятні експлуатаційні витрати, що робить його найкращою довгостроковою інвестицією в інфраструктуру міста.

4.10 Рекомендації щодо матеріалів та обладнання

Для досягнення максимальної ефективності та довговічності модернізованої системи рекомендується використання сучасних матеріалів та обладнання.

- Трубопроводи: Обґрунтованим є вибір труб з поліетилену високої щільності (ПНД, HDPE). На відміну від традиційних сталі та чавуну, ПНД труби мають низку переваг: вони абсолютно стійкі до корозії, на їх гладкій внутрішній

поверхні не утворюються відкладення, що зберігає високу пропускну здатність протягом усього терміну служби (понад 50 років). Крім того, вони легші, гнучкіші та простіші в монтажі, що знижує вартість будівельних робіт.

- Насосне обладнання: Для насосної станції II підйому рекомендується встановлення сучасних енергоефективних насосних агрегатів, наприклад, станцій Grundfos Hydro MPC-E. Такі системи оснащені інтелектуальним керуванням, що забезпечує автоматичне каскадне регулювання (вмикання/вимикання насосів залежно від потреби), роботу в точці найвищого ККД та, як наслідок, значну економію електроенергії та підвищену надійність.
- Регулююча арматура: Для ефективного управління тиском у межах кожної зони DMA/PZ необхідно застосовувати інтелектуальні редуційні клапани тиску (PRV). Ці пристрої дозволяють автоматично підтримувати заданий тиск після себе незалежно від коливань тиску на вході. Сучасні PRV можуть мати кілька налаштувань (наприклад, для денного та нічного режимів), що дозволяє гнучко керувати тиском, знижуючи його в години мінімального водорозбору для зменшення витоків та навантаження на мережу.

4.11 Підбір насосного обладнання та розрахунок водонапірної башти для оптимізації гідравлічного режиму

Вихідні дані для розрахунку:

1. Прогнозована чисельність населення (м. Бурштин, с. Дем'янів, с. Бовшів, с. Задністрянське): $N = 23\ 000$ осіб (з урахуванням перспективи).
2. Норма водоспоживання (середня): $q_{\text{dob}} = 180$ л/добу на 1 особу (згідно з ДБН В.2.5-74:2013 для житлової забудови з повним благоустроєм).
3. Промислові потреби (Індустріальний парк): $Q_{\text{ind}} = 25,5$ л/с (згідно з технічним завданням).
4. Коефіцієнт добової нерівномірності: $K_{\text{dob.max}} = 1,2$.
5. Коефіцієнт годинної нерівномірності: $K_{\text{god.max}} = 1,4$ (для населених пунктів з відповідною кількістю населення).

Визначаємо середньодобову витрату води на господарсько-питні потреби:

$$Q_{\text{dob.ser}} = (N \cdot q_{\text{dob}}) / 1000 = (23000 \cdot 180) / 1000 = 4140 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Максимальна добова витрата (з урахуванням коефіцієнта добової нерівномірності):

$$Q_{\text{dob.max}} = Q_{\text{dob.ser}} \cdot K_{\text{dob.max}} = 4140 \cdot 1,2 = 4968 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

До цієї величини додаємо добові потреби промисловості (Індустріальний парк, робота 12 годин):

$$Q_{\text{ind.dob}} = (25,5 \cdot 3600 \cdot 12) / 1000 = 1101,6 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Сумарна розрахункова продуктивність водозабору та ВОС:

$$Q_{\text{sum.max}} = 4968 + 1101,6 = 6069,6 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Визначаємо максимальну годинну витрату, яка є визначальною для підбору насосного обладнання другого підйому:

$$Q_{\text{god.max}} = (Q_{\text{sum.max}} \cdot K_{\text{god.max}}) / 24 = (6069,6 \cdot 1,4) / 24 = 354,06 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Таким чином, насосна станція другого підйому (НС-II) повинна забезпечувати подачу води в години пік не менше $Q = 355 \text{ м}^3/\text{год}$.

Розрахунок параметрів водонапірної башти (ВНБ)

Впровадження другої водонапірної башти (ВНБ-2) у рекомендованому варіанті модернізації обумовлено необхідністю вирішення проблеми надлишкового тиску в нічний час (який наразі досягає 6 бар і призводить до поривів) та створення запасу води для пожежогасіння.

Розрахунок повного об'єму бака водонапірної башти (W_b) виконується за формулою:

$$W_b = W_{\text{reg}} + W_{\text{fire}},$$

де W_{reg} – регулюючий об'єм води, м^3 ;

W_{fire} – недоторканий протипожежний запас води, м^3 .

Визначення регулюючого об'єму (W_{reg}).

Регулюючий об'єм призначений для компенсації різниці між рівномірною роботою насосів та нерівномірним споживанням води містом. Згідно з графіками водоспоживання, отриманими в результаті моделювання в EPANET, регулююча ємність повинна складати близько 8-12% від добової витрати. Прийнемо середнє значення 10%:

$$W_{\text{reg}} = Q_{\text{sum.max}} \cdot 0,10 = 6069,6 * 0,10 \approx 607 \text{ м}^3.$$

Оскільки в системі вже функціонує одна ВНБ об'ємом 400 м^3 , необхідний додатковий регулюючий об'єм становить:

$$W_{\text{reg.new}} = 607 - 400 = 207 \text{ м}^3.$$

Визначення протипожежного запасу (W_{fire}).

Згідно з ДБН В.2.5-74:2013, протипожежний запас у баку ВНБ повинен забезпечувати гасіння однієї зовнішньої та однієї внутрішньої пожежі протягом 10 хвилин (час до включення пожежних насосів).

Розрахункова витрата на зовнішнє пожежогасіння для міста із забудовою до 9 поверхів: $q_{\text{ext}} = 35 \text{ л/с}$.

Внутрішнє пожежогасіння: $q_{\text{int}} = 2,5 \text{ л/с} \cdot 2 \text{ струмені} = 5 \text{ л/с}$.

Сумарна витрата: $q_{\text{fire}} = 40 \text{ л/с}$.

$$W_{\text{fire}} = (q_{\text{fire}} \cdot 60 \cdot 10) / 1000 = (40 \cdot 600) / 1000 = 24 \text{ м}^3.$$

Вибір типового проекту ВНБ.

Сумарний необхідний об'єм нової башти:

$$W_{\text{total.new}} = W_{\text{reg.new}} + W_{\text{fire}} = 207 + 24 = 231 \text{ м}^3.$$

Враховуючи коефіцієнт запасу на замулення та конструктивні особливості, обираємо типову водонапірну башту (або аналог системи Рожновського) об'ємом:

$$V_{\text{proj}} = 300 \text{ м}^3.$$

Розрахунок висоти ствола башти (H_{st}).

Висота башти визначається гідравлічним розрахунком для забезпечення вільного напору у диктуючій точці мережі (найвіддаленіша або найвища точка забудови).

Диктуюча точка: 9-поверхова забудова в центрі м. Бурштин.

Необхідний вільний напір (H_{vil}):

$$H_{\text{vil}} = 10 + 4 * (n - 1), \text{ де } n - \text{кількість поверхів.}$$

$$H_{\text{vil}} = 10 + 4 * (9 - 1) = 42 \text{ м.}$$

Висота башти визначається за формулою:

$$H_{\text{st}} = H_{\text{vil}} + \Sigma(h_{\text{loss}}) + (Z_{\text{dict}} - Z_{\text{vnb}}),$$

де $\Sigma(h_{\text{loss}})$ – сума втрат напору в мережі від башти до диктуючої точки при максимальному водорозборі (за даними моделювання EPANET, втрати складають 5-7 м при використанні нових ПНД труб);

Z_{dict} – геодезична відмітка землі у диктуючій точці;

Z_{vnb} – геодезична відмітка землі у місці встановлення ВНБ.

Згідно з топографічними даними моделі, перепад висот ($Z_{\text{dict}} - Z_{\text{vnb}}$) є незначним (в межах 2-3 м), оскільки нова ВНБ проектується на підвищенні.

$$H_{\text{st}} = 42 + 7 - 3 = 46 \text{ м.}$$

Приймаємо до встановлення водонапірну башту з висотою ствола **40-45 метрів** (аналогічно до існуючої, що дозволить синхронізувати їх роботу в єдиній гідравлічній системі сполучених посудин). Це забезпечить тиск у мережі на рівні 4-4,5 атм, що є оптимальним для споживачів і не створює аварійних навантажень на нові поліетиленові трубопроводи.

4.12 Гідравлічний розрахунок та підбір насосного обладнання насосної станції II підйому

Метою розрахунку є вибір насосних агрегатів, здатних забезпечити подачу води в години максимального водорозбору та поповнення запасів у резервуарах та баштах.

Визначення робочих параметрів насоса (Q, H).

Розрахункова витрата (Q_p):

Як визначено вище, $Q_p = Q_{\text{god.max}} = 355 \text{ м}^3/\text{год}$.

Розрахунковий напір (H_p):

Напір насосів другого підйому визначається за формулою:

$$H_p = H_{\text{geom}} + \Sigma(h_v) + \Sigma(h_m) + h_{\text{res}},$$

де H_{geom} – геометрична висота підйому води (різниця відміток максимального рівня води в баку ВНБ і мінімального рівня в РЧВ);

$\Sigma(h_v)$ – втрати напору по довжині всмоктувального та напірного трубопроводів;

$\Sigma(h_m)$ – місцеві втрати напору (у засувках, зворотних клапанах, поворотах – приймаємо 10-15% від втрат по довжині);

h_{res} – запас напору (2-3 м).

Геометрична висота:

Відмітка верху води в ВНБ: 45 м (висота башти) + 5 м (висота бака) = 50 м.

Рівень води в РЧВ (вісь насоса): 0 м (умовно).

$H_{\text{geom}} = 50 \text{ м}$.

Втрати напору (розраховані для нових труб ПНД діаметром 315-400 мм на ділянці від НС-II до мережі):

При $Q = 355 \text{ м}^3/\text{год}$ втрати складають близько 8-10 м.в.ст.

Отже, необхідний повний напір насоса:

$$H_p = 50 + 10 + 3 = 63 \text{ м.}$$

Вибір насосного обладнання.

Для забезпечення енергоефективності та надійності, замість одного потужного насоса (як у старій системі – Д 315-75), обираємо насосну станцію з декількома насосами, що працюють у каскадному режимі. Це дозволить плавно регулювати продуктивність за допомогою частотних перетворювачів (ЧРП) та економити електроенергію в години мінімального споживання.

Рекомендоване обладнання: Насосна станція підвищення тиску Grundfos Hydro MPC-E.

Це комплектна станція, яка складається з 3-х вертикальних багатоступінчастих насосів CR (2 робочі + 1 резервний).

Параметри одного насоса в групі (при роботі 2-х насосів):

$$Q_1 = Q_p / 2 = 355 / 2 = 177,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$H_1 = 63 \text{ м.}$$

Підбираємо насос серії Grundfos CR 155-2 (або аналог CR 185).

Технічні характеристики обраної станції Grundfos Hydro MPC-E 3 CR1E:

- Кількість насосів: 3 шт. (всі оснащені вбудованими перетворювачами частоти E-motor).

- Номінальна подача станції: $360 \text{ м}^3/\text{год}$.

- Номінальний напір: 65 м.

- Потужність двигуна одного насоса (P2): 37-45 кВт.

- Сумарна потужність: ~110-135 кВт (залежно від точки робочої кривої).

- ККД насоса в робочій точці: ~78%.

Оцінка енергоефективності запропонованого рішення

Вибір насосної станції з частотним регулюванням у поєднанні з роботою на дві водонапірні башти забезпечує подвійний ефект економії:

Гідравлічна стабілізація: Наявність ВНБ дозволяє насосам працювати в найбільш ефективному режимі, заповнюючи баки, після чого насоси можуть вимикатися або знижувати оберти, а вода подається споживачам самопливом. Це виключає роботу насосів "на закриту засувку" або в режимах з низьким ККД.

Частотне регулювання: Використання приводів Grundfos MGE дозволяє адаптувати споживання електроенергії до реальних потреб. Вночі, коли водорозбір падає, продуктивність станції автоматично знижується без дроселювання напору, що економить до 30-40% електроенергії порівняно зі старою схемою прямого пуску насосів типу "Д".

Розрахунок питомих витрат електроенергії (E_{spec}):

Для старих насосів Д 315-75 (ККД~65%, без ЧРП):

$$E_{\text{old}} = (Q \cdot H \cdot g) / (3600 \cdot 1000 \cdot 0,65) \cdot 1,2 \text{ (запас)} \approx 0,85-0,9 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3.$$

Для нової станції Hydro MPC-E (ККД~78%, з ЧРП):

$$E_{\text{new}} = (Q \cdot H \cdot g) / (3600 \cdot 1000 \cdot 0,78) \cdot 1,05 \approx 0,55-0,6 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3.$$

Річна економія електроенергії (ΔE) при обсязі подачі ~1,5 млн м³/рік складе:

$$\Delta E = 1\,500\,000 \cdot (0,85 - 0,6) = 375\,000 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{рік}.$$

При середньому тарифі для промислових споживачів це складає значну суму економії бюджетних коштів підприємства, що підтверджує економічну доцільність впровадження Варіанту 2.

Висновки до розділу

Проведені розрахунки підтвердили, що для забезпечення надійного водопостачання м. Бурштин з урахуванням перспективного розвитку

(Індустріальний парк) необхідно забезпечити подачу води в обсязі не менше 355 м³/год з напором 63 м.

Обґрунтовано будівництво другої водонапірної башти об'ємом 300 м³ та висотою ствола 40-45 м. Це дозволить створити необхідний регулюючий запас (207 м³) та протипожежний резерв (24 м³), а також стабілізувати тиск у системі, усунувши проблему нічних надлишкових напорів.

Обрано насосне обладнання – автоматизовану станцію Grundfos Hydro MPC-E на базі насосів CR, яка забезпечує необхідні гідравлічні параметри.

Впровадження частотного регулювання у поєднанні з оптимізацією роботи ВНБ дозволить знизити питомі витрати електроенергії на 30%, що є ключовим показником ефективності модернізації.

4.13 Обґрунтування потреби в реагентах для знезараження води

Забезпечення санітарно-епідеміологічної безпеки систем централізованого водопостачання є критичним елементом експлуатації водопровідного господарства м. Бурштин. Відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», питна вода, що подається споживачам, підлягає обов'язковому знезараженню.

В існуючій технологічній схемі КП «Житловик» для знезараження води використовується гіпохлорит натрію (NaClO), який отримується на місці методом електролізу розчину кухонної солі (NaCl) на установці «Полум'я-2». Цей метод є безпечнішою та економічно доцільнішою альтернативою використанню рідкого хлору, що дозволяє уникнути ризиків транспортування та зберігання високотоксичних речовин.

4.13.1 Розрахунок потреби в активному хлорі

Визначення необхідної кількості активного хлору базується на продуктивності водозабірних споруд та величині хлоропоглинання води. Згідно з технологічним регламентом та даними лабораторних досліджень, для підземних вод водозаборів урочищ «Корчева» та «Коростовичі» розрахункова доза

активного хлору приймається на рівні, що забезпечує залишковий хлор у мережі в межах 0,3–0,5 мг/дм³.

Враховуючи необхідність окислення двохвалентного заліза (на лінії водозабору «Корчева») та бар'єрну функцію знезараження, прийнята робоча доза активного хлору для розрахунків становить $D_{Cl} = 2,0$ мг/дм³ (г/м³).

Розрахункова добова потреба в активному хлорі (P_{dob} , кг/добу) визначається за формулою:

$$P_{dob} = \frac{Q_{dob.max} \cdot D_{Cl}}{1000}$$

де:

$Q_{dob.max}$ – максимальна добова витрата води. Згідно з розрахунками в підрозділі 10.6, з урахуванням перспективного підключення Індустріального парку, вона становить **6069,6 м³/добу**;

D_{Cl} – доза активного хлору, 2,0 г/м³;

1000 – коефіцієнт переведення грамів у кілограми.

$$P_{dob} = \frac{6069,6 \cdot 2,0}{1000} = 12,14 \text{ кг/добу}$$

Річна потреба в активному хлорі (P_{year} , т/рік) розраховується виходячи з середньорічної подачі води (прогнозний обсяг на розрахунковий рік становить 520,2 тис. м³, однак для запасу надійності при модернізації розрахунок ведеться по повній потужності системи):

$$P_{year} = P_{dob} \cdot 365 = 12,14 \cdot 365 = 4431,1 \text{ кг/рік} \approx 4,43 \text{ т/рік}$$

Перевірка достатності потужності обладнання:

Встановлена електролізна установка «Полум'я-2» має паспортну продуктивність по активному хлору 20 кг/добу.

Коефіцієнт завантаження обладнання (K_z):

$$K_z = 12,14 / 20 \cdot 100\% = 60,7 \%$$

Отже, існуюче обладнання має достатній резерв потужності (близько 40%) для забезпечення потреб міста та перспективних промислових об'єктів у знезараженні води.

4.13.2 Розрахунок витрат сировини (кухонної солі)

Ефективність роботи електролізної установки визначається питомою витратою солі на отримання 1 кг активного хлору. Для установок типу «Полум'я-2» регламентна витрата солі становить $q_s = 3,5$ кг NaCl на 1 кг активного хлору.

Добова потреба в солі ($M_{s,dob}$):

$$M_{s,dob} = P_{dob} \cdot q_s = 12,14 \cdot 3,5 = 42,49 \text{ кг/добу}$$

Річна потреба в солі для знезараження питної води ($M_{s,year}$):

$$M_{s,year} = M_{s,dob} \cdot 365 = 42,49 \cdot 365 = 15508,85 \text{ кг/рік} \approx 15,5 \text{ т/рік}$$

Додатково необхідно врахувати витрати солі на регенерацію фільтрів пом'якшення води, яка використовується для приготування розсолу (для запобігання відкладенню солей жорсткості на електродах). Згідно з технологічними даними (табл. 8), витрата солі на регенерацію становить 5 кг/добу.

Сумарна річна потреба в солі:

$$M_{total} = 15508,85 + (5 \cdot 365) = 15508,85 + 1825 = 17333,85 \text{ кг/рік}$$

Враховуючи коефіцієнт непередбачених витрат та втрат при транспортуванні/зберіганні (5%), приймаємо розрахункову річну потребу: **18,2 т/рік**.

4.14 Розрахунок реагентів для профілактичної дезінфекції споруд та мереж

Окрім постійного знезараження води, технологічний регламент передбачає періодичну дезінфекцію резервуарів чистої води (РЧВ), водонапірних веж та промивку мереж. Для цих цілей доцільно використовувати хлорне вапно або концентрований гіпохлорит натрію.

Дезінфекція резервуарів чистої води (РЧВ):

Сумарний об'єм РЧВ становить 3000 м³. Профілактична дезінфекція проводиться 1 раз на рік.

Концентрація активного хлору для дезінфекції методом зрошення: 200–250 г/м³. Приймаємо об'ємний метод заповнення з меншою концентрацією або метод зрошення розчином.

Розрахунок для методу об'ємного заповнення (при дозі 75 г/м³): $P_{RCHV} = V_{RCHV} \cdot D_{dez} = 3000 \cdot 0,075 = 225$ кг активного хлору.

Дезінфекція водопровідної мережі:

Загальна довжина мережі – 39,2 км. Внутрішній об'єм мережі (V_{net}) розраховується як сума об'ємів труб різних діаметрів (приблизно 650–700 м³ води).

Для профілактичної дезінфекції мережі (раз на рік) та дезінфекції після ліквідації аварій (прогнозовано 5% протяжності) необхідна доза активного хлору 75–100 мг/дм³.

Потреба в активному хлорі на одну повну промивку: $P_{net} = V_{net} \cdot D_{dez} \approx 700 \cdot 0,1 = 70$ кг

Для забезпечення цих потреб використовується хлорне вапно (вміст активного хлору 25-28%).

Річна потреба в хлорному вапні (M_{vap}):

$$M_{vap} = \frac{(P_{RCHV} + P_{net}) \cdot K_{zap}}{0,25} = \frac{(225+70) \cdot 1,2}{0,25} = 1416 \text{ кг/рік.}$$

де K_{zap} – коефіцієнт запасу на аварійні ситуації (1,2).

На основі виконаних розрахунків сформовано зведену таблицю річної потреби в реагентах для забезпечення роботи модернізованої системи водопостачання

Таблиця 4.5 – Розрахункова річна потреба в реагентах

№ з/п	Найменування реагенту	Одиниця виміру	Добова потреба (макс.)	Річна потреба (розрахункова)	Примітка
1	Сіль кухонна (NaCl), гатунок «Екстра»	т	0,048	18,2	Для електролізу та регенерації фільтрів
2	Гіпохлорит натрію (марка А) або еквівалент активного хлору	т	0,012	4,43	Виробляється на місці (product in-situ)
3	Хлорне вапно	т	-	1,42	Для санітарної обробки споруд та мереж
4	Смола іонообмінна (катіоніт КУ-2-8)	кг	-	50	Для поповнення фільтрів пом'якшення

4.15 Проектні рішення

Передбачається нове будівництво групи артезіанських свердловин на перспективу в районі Корчевського водозабору.

Підземні води, підприємство свердловинами добуває із двох водозаборів.

Вода із урочища Коростовичі трубопроводом поступає безпосередньо в резервуари чистої води.

Вода із урочища Корчева трубопроводом поступає на очистку, на станцію знезалізнення. А саме на градирню, де відбувається аерація води (Fe_2-Fe_3), на фільтри, де проходячи фільтруюче завантаження звільняється від заліза. Промивка фільтрів проводиться промивними насосами водою із РЧВ.

В трубопровід очищеної води вводиться робоча доза гіпохлориту натрію який виробляється гідролізною установкою «Полум'я-2».

Очищена та знезаражена вода поступає в РЧВ де змішується з водою з урочища Коростовичі.

Вода в резервуарах чистої води очищена та пройшла знезараження відповідає ДСанПіН 2.2.4-171-10 і може подаватись споживачам.

Господарсько-питна вода із РЧВ насосами другого підйому піднімається на водонапірну вежу а звідти самопливом споживачам м.Бурштин та с. Дем'янів. Споживачам с. Задністрянське та с. Бовшів подається самопливом безпосередньо із РЧВ.

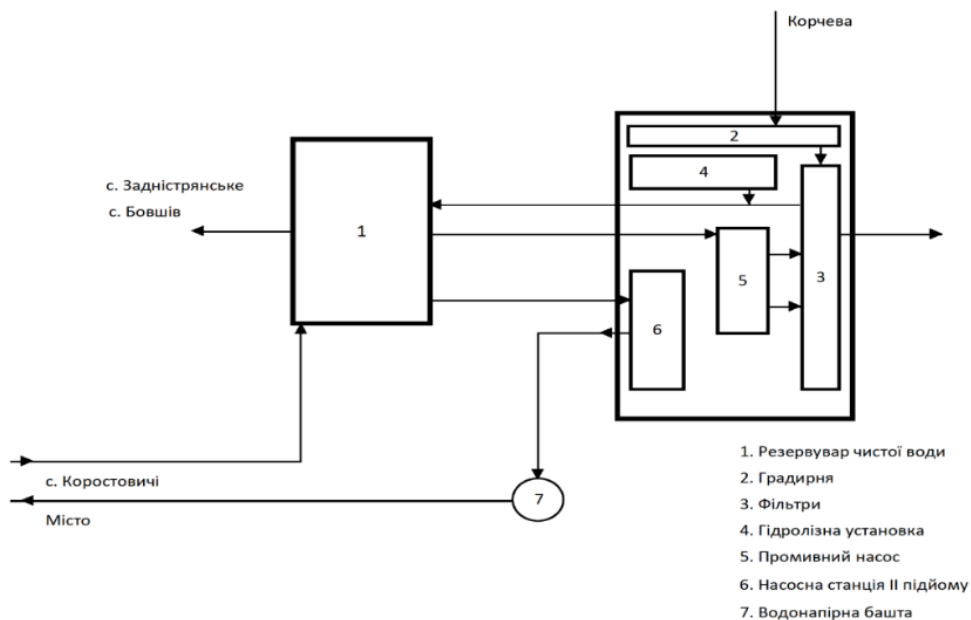


Рис. 4.9 – Технологічна схема водопостачання

За даними паспорта свердловини №2 при встановленому дебіті 30,00 м³/год зафіксовано зниження динамічного рівня на 22,70 м. Ця пара значень є базовою для визначення питомого дебіту, оскільки саме він показує, скільки води дає свердловина на кожен метр депресії рівня, і дає швидку оцінку її “віддачі” та гідрогеологічних умов у зоні фільтрації.

Питомий дебіт свердловини визначають як відношення фактичного дебіту до зниження рівня води відносно статичного стану.

Формула має вигляд.

$$q=Q/s$$

де:

Q– дебіт свердловини (м³/год),

s – зниження рівня води (м).

Для свердловини №2:

$$Q=30,00 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$s=22,71 \text{ м}$$

$$q=30,00 \text{ м}^3/\text{год} \quad 22,71 \text{ м} \approx 1,33 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отримане значення питомого дебіту свердловини №2 становить близько 1,32 м³/год на 1 м зниження рівня, що у практичному сенсі означає можливість отримувати орієнтовно 1,32 м³/год води на кожен метр депресії. Такий показник використовують як швидку характеристику “водовіддачі” свердловини і як індикатор того, наскільки ефективно працює система “свердловина–водоносний горизонт” при заданому режимі відбору.

Питомий дебіт є корисним для порівняння різних свердловин на одній ділянці, тому що він враховує не лише абсолютний дебіт, а й те, “якою ціною” у вигляді зниження рівня цей дебіт досягається. У реальних умовах дебіти різних свердловин можуть суттєво відрізнятися через неоднорідність порід, різну проникність, різну товщину водоносного шару, стан фільтра, ступінь закольматації прифільтрової зони і різні гідравлічні зв’язки з живленням. Саме тому кожен свердловину доцільно аналізувати окремо, а також перевіряти її роботу в кількох режимах, щоб бачити, як змінюється депресія при зростанні витрати.

Для свердловини №2 питомий дебіт на рівні близько 1,32 м³/год/м можна трактувати як достатньо добрий робочий показник, який вказує на прийнятні фільтраційні властивості водоносного горизонту та коректно підібраний режим відбору в межах наведених даних. Це не “абсолютна оцінка”, а інженерний орієнтир, який стає особливо цінним у плануванні експлуатації, коли потрібно збалансувати добову подачу, енергоспоживання насосів і допустимі пониження рівня, щоб не створювати ризиків виснаження запасів, підтягування небажаних домішок або прискореного замулення.

Знання питомого дебіту напряду допомагає організувати експлуатацію більш керовано. Якщо задається потрібний дебіт, можна прогнозувати очікуване зниження рівня, а отже, оцінити запас напору до насоса, ризик “оголення” фільтра, можливість кавітації, і реалістично підібрати режим роботи без перенапруження водоносного шару. Це також створює основу для подальших

рішень по водозабору, включно з вибором обладнання, коректним налаштуванням автоматики, а в технологічній частині і з підбором схем підготовки води, зокрема знезалізнення, якщо склад підземних вод того потребує.

Глибину динамічного рівня доцільно додатково перевірити розрахунком за простою залежністю між статичним рівнем, пониженням і динамічним рівнем.

Залежність має вигляд.

$$H_{дуб} = H_0 + Q/q_{пит}, \text{ м};$$

$$H_{дуб} = 5,30 + 30/1,33 = 28,03 \text{ м}$$

де, $H_{дуб}$ - динамічний рівень води, (м);

H_0 - статичний (п'єзометричний) рівень води, (м);

Q - проектний дебіт свердловини, (м³/год);

$q_{пит}$ - питомий дебіт свердловини, (м³/год /м).

Продуктивність однієї свердловини

- $Q=30 \text{ м}^3/\text{год}$
- $Q=720 \text{ м}^3/\text{добу}$

Відстань між свердловинами. менше $2R$ (де R – радіус впливу свердловини)

Радіус впливу свердловини (R) можна орієнтовно визначити за формулою:

$$R = \sqrt{\frac{K \cdot T}{\pi \cdot S}}$$

де:

- K – коефіцієнт фільтрації (м/добу),
- T – середньодобовий дебіт свердловини (м³/добу),
- S – депресія рівня води у свердловині (м).

Коефіцієнт фільтрації K становить 10 м/добу

Тоді для дебіту 720 м³/добу і депресії 18 м (середнє значення з інтервалу 3-18 м):

$$R = \sqrt{\frac{10 \cdot 720}{\pi \cdot 18}} \approx \sqrt{\frac{7200}{56.55}} \approx \sqrt{127.33} \approx 11.29 \text{ м}$$

Коли експлуатаційні свердловини розміщують надто близько одна до одної, їхні депресійні воронки перекриваються. Це означає, що при відстані між свердловинами меншій за подвійну величину радіуса впливу $2R$ вони починають працювати як взаємопов'язана група, а не як незалежні джерела. У такому режимі пониження рівня формується сумарно від кількох відборів, тому кожна окрема свердловина зазвичай не може стабільно віддавати той самий дебіт, який вона забезпечувала б при одиночній роботі. У підсумку фактична продуктивність кожної свердловини зменшується, а ризик “перетягування” рівнів і підвищених енерговитрат на підйом води зростає.

Для практичного інженерного розрахунку групової роботи часто застосовують коригувальний коефіцієнт взаємовпливу α , який відображає частку “реально доступного” дебіту порівняно з умовно незалежною роботою свердловини. Значення α підбирають залежно від щільності розміщення, кількості свердловин у групі, гідрогеології горизонту та режиму експлуатації. У типових розрахункових підходах для взаємодіючих свердловин α зазвичай приймають у межах 0,7–0,9, де нижча межа відповідає більш щільному розміщенню або сильнішому перекриттю зон впливу, а вища межа характерна для менш вираженої взаємодії.

Як середнє припущення можна прийняти

$\alpha=0,8$, що означає, що в умовах взаємного впливу свердловина віддає близько 80 відсотків “одиночного” дебіту.

$$Q_v = \alpha \cdot Q$$

- Q – дебіт однієї свердловини.

$$Q_v = 0.8 \cdot 30 \text{ м}^3/\text{год} = 24 \text{ м}^3/\text{год}$$

або:

$$Q_v = 0.8 \cdot 720 \text{ м}^3/\text{добу} = 576 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Отже, радіус впливу свердловини орієнтовно становить 11.3 м.

Дебіт взаємодіючої свердловини зменшується до 24 м³/год (576 м³/добу) через взаємодію з іншими свердловинами, розташованими на відстані меншій за 2R.

Такі розрахунки дають змогу кількісно оцінити, як групова робота свердловин змінює їхню фактичну віддачу, тому що при перекритті зон впливу кожна свердловина працює в умовах додаткової депресії, створеної сусідніми відборами, і в результаті її продуктивність знижується порівняно з одиночним режимом. На практиці це дозволяє не лише пояснити різницю між паспортним дебітом і реальними показниками під час експлуатації, а й завчасно закласти коректні значення у проєктні розрахунки, щоб уникнути завищення сумарної продуктивності водозабору.

Крім того, використання коефіцієнта взаємовпливу та аналіз умов $L < 2R$ допомагають більш обґрунтовано планувати схему розміщення свердловин, підбираючи крок між ними так, щоб мінімізувати взаємне “підсаджування” рівнів і зберегти стабільний дебіт у довгостроковій роботі. Це напряму впливає на оптимальне використання водоносного горизонту, тому що зменшується ризик перенапруження прифільтрової зони, знижується енергоємність підйому води, а ресурс свердловин і мережевого обладнання використовується більш раціонально.

Розрахунок мінімального діаметра й довжини фільтра

Діаметр фільтра визначається формулою:

$$Q = \frac{\pi D_{\phi} L_{\phi} \cdot V_{\phi \text{ доп}}}{24}, \text{ м звідки}$$

$$D_{\phi} = \frac{Q}{\pi \cdot L_{\phi} \cdot V_{\phi \text{ доп}}}, \text{ м;}$$

[2.27. А.М.Тугай «Бурова справа в водопостачанні»].

$$D_{\phi} = 0.287 \text{ м.}$$

де, Q – дебіт свердловини, м³/годину;

$V_{\phi \text{ доп}}$ – допустима вхідна швидкість, м³/добу;

L_{ϕ} - довжина робочої частини фільтра умовно приймаємо 8м;

$$V_{\phi \text{ доп}} = 65 \sqrt[3]{K_{\phi}}, \frac{\text{м}}{\text{добу}};$$

[2.28 А.М.Тугай «Бурова справа в водопостачанні»].

$V_{\text{ф. доп.}} = 133,00$ м/добу,

де, $k_{\text{ф}}$ при взаємодії свердловин -8,72 м/добу;

Розмір прохідних отворів з урахуванням гранулометричного складу порід, Водоносний шар складається з середньозернистих до дрібнозернистих пісків, з фракціями від 0,5 до 0,25 мм та від 0,25 до 0,1 мм.

Середній діаметр частинок (d_{50}) приймається рівним 0,27 мм.

За п'ятдесятивідсотковим діаметром частинок водоносного ґрунту (d_{50}) визначаємо діаметр отворів у фільтрі:

$$D_o = (2,5 - 4,0) \cdot d_{50}$$

$$D_o = 4,0 \cdot 0,27 = 1,08 \text{ мм}$$

Гравійне обсіпання на водоносний комплекс четвертинних відкладів $D_{50} = 2,16$

$$D_o \text{ при гр.об.} = 2,2 \text{ мм}$$

Сітчасті фільтри передбачають намотування сітки галунного плетіння на трубчастий каркас з підмоткою (Рис. 5.3).

$$d_{\text{вічка}} = 0,5 \times d_{50}$$

де:

двічка – розмір вічка сітки,

d_{50} – середній діаметр частинок водоносного піску.

Для влаштування сітчастого фільтра застосовують сітку галунного плетіння, яку намотують на трубчастий каркас одним шаром.

Під час намотування забезпечують щільне прилягання сітки до каркаса, щоб не виникали «кишені» та місцеві відшарування під дією потоку води.

У зонах стиків сітку виконують з невеликими загинами, що зменшує ризик розпускання плетіння та підвищує стабільність геометрії фільтра під час роботи свердловини.

Сітку підбирають з урахуванням гранулометричного складу водоносних порід, і орієнтуються на те, щоб через вічка проходило приблизно 30–70 відсотків водоносного піску, що дозволяє сформувати природний піщаний «екран» у прифільтровій зоні та знизити інтенсивність піскування.

Намотування сітки виконують рівномірно по довжині фільтрової частини з контролем натягу, щоб не було провисань і хвиль.

Вертикальний шов сітки формують так, щоб з'єднання не створювало виступів, які можуть зачіпляти обсіпку або концентрувати місцеві напруження.

Фіксацію вертикального шва виконують або припаюванням вертикальних латунних накладок, або зшиванням, що забезпечує жорстке кріплення і запобігає зміщенню сітки та її деформації в експлуатації.

У будь-якому варіанті з'єднання важливо отримати безперервний і міцний контакт сітки з каркасом, щоб при зміні витрати та коливаннях рівня не з'являлися розриви або підсмоктування піску по шву.

Для проектного підбору розміру вічка сітки при неоднорідних породах часто використовують емпіричний підхід, який пов'язує розмір отвору з характерними діаметрами зерен піску.

У практичних розрахунках розмір вічка a доцільно приймати близьким до діаметра зерна, якому відповідає проходження 30–70 відсотків частинок, тобто орієнтуватися на інтервал

За більш неоднорідних пісків зазвичай беруть значення p , ближче до нижньої межі інтервалу, щоб зменшити винесення дрібних фракцій у початковий період роботи.

За більш однорідних пісків допускають вибір p , ближче до середини або верхньої межі інтервалу, щоб знизити гідравлічний опір і поліпшити умови притоку.

Таким чином, для середнього діаметра частинок $d_{50}=0.27$ мм розмір вічка сітки повинен бути приблизно 0.135 мм.

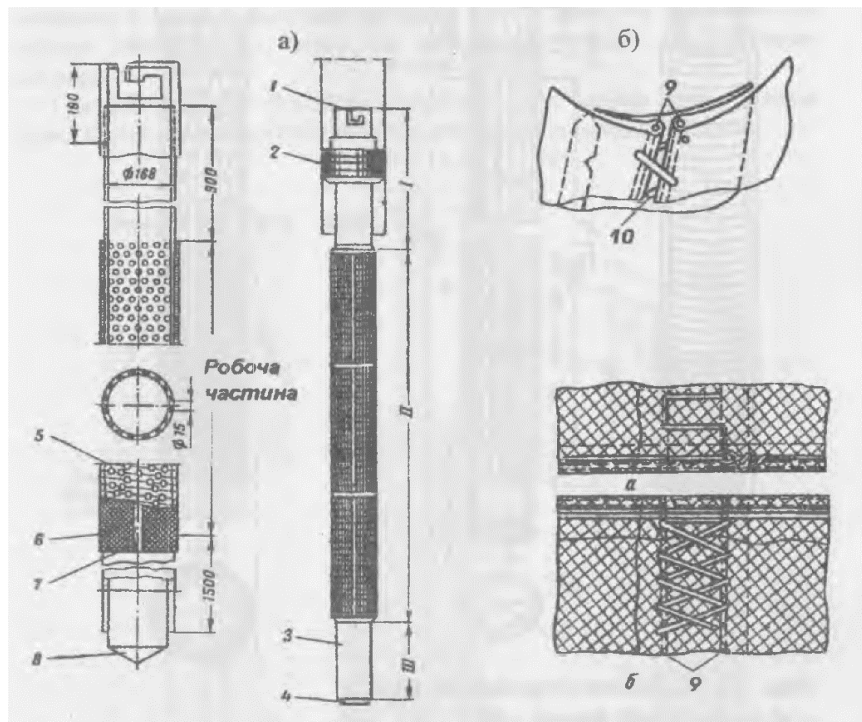


Рис.4.10 – Конструкція сіток

Сітчастий фільтр -а) та обв'язка каркасу сіткою - б) I-надфільтрова труба; II -фільтр; III - відстійник; 1- замок; 2-сальник; 3- відстійник; 4- корок; 5- латунний дріт; б- сітка; 7- повздожжня латунна накладка; 8- дерев'яний корок; 9- стержені; 10- зшивний дріт

4.16 Підсумки та рекомендації по розділу

Проведений комплексний аналіз та гідравлічне моделювання системи водопостачання м. Бурштин дозволили розробити науково обґрунтовану стратегію її модернізації. Застосування сучасних методів моделювання виявилось незамінним інструментом для прийняття виважених інвестиційних рішень в умовах високого ступеня зношеності інфраструктури та фінансових обмежень. Моделювання дозволило кількісно оцінити технічні переваги та недоліки кожного з розглянутих сценаріїв, а також спрогнозувати їх довгострокові економічні наслідки.

На основі проведеного аналізу можна зробити наступні ключові висновки та надати рекомендації:

1. Фінальна рекомендація щодо стратегії модернізації:

- Для системи водопостачання м. Бурштин та с. Дем'янів однозначно рекомендується до реалізації Варіант 2, що передбачає повну заміну

мережі на трубопроводи з ПНД та будівництво другої водонапірної вежі. Незважаючи на найвищі початкові капітальні витрати, цей сценарій є єдиним, що гарантує довгострокову технічну надійність, оптимальне управління тиском у всіх режимах експлуатації та стійкість системи до майбутніх навантажень, включаючи підключення нових промислових об'єктів. Це стратегічна інвестиція в сталий розвиток міста.

- Для с. Бовшів та с. Задністрянське рекомендується зберегти існуючу ефективну конфігурацію з самопливною подачею води з резервуарів чистої води. Однак, для забезпечення надійності та якості водопостачання, необхідно провести повну заміну застарілих трубопроводів на нові, виготовлені з ПНД.

2. Недоцільність альтернативних варіантів:

- Варіант 3 (пряме перекачування з ЧРП) відхиляється через значно вищі експлуатаційні витрати, підвищені ризики, пов'язані із залежністю від стабільності електропостачання, та складність в обслуговуванні.
- Варіант 4 (поетапна реконструкція) є неприйнятним, оскільки не вирішує проблему системно і в довгостроковій перспективі призведе до найвищих витрат на експлуатацію та постійні аварійні ремонти.

3. Подальші кроки для реалізації проекту:

- Провести детальне технічне обстеження трас майбутніх водогонів для уточнення проектних рішень та виявлення можливих перешкод.
- Розробити повний комплект проектно-кошторисної документації на основі обраного Варіанту 2.
- Розробити та впровадити План управління соціальними та екологічними ризиками на етапі будівництва. Особливу увагу слід приділити розробці заходів з мінімізації перебоїв у водопостачанні для населення під час переключень на нові мережі, що включає поетапне виконання робіт та завчасне інформування мешканців.

Проект модернізації системи водопостачання м. Бурштин, заснований на представленій методології, має потенціал стати взірцевим для інших міст України,

які стикаються з аналогічними проблемами. Виклики, що стоять перед Бурштином, є типовими для всього сектору водопостачання країни.¹ Застосований підхід, що поєднує детальний технічний аудит, передове гідравлічне моделювання, ретельний аналіз сценаріїв та фокус на вартості життєвого циклу, пропонує чітку та відтворювану дорожню карту для ефективного планування та реалізації проєктів модернізації критичної інфраструктури. Успішна реалізація цього проєкту, потенційно за підтримки міжнародних фінансових інституцій, може слугувати важливим прецедентом та практичним посібником для відновлення та сталого розвитку комунального господарства України.

5.1 Технічні характеристики водозабору

5.1.1 Водозабір урочище Корчева

Підземні води ур. Корчева збираються із 4 свердловин розміщених на кущах № 1, № 2 із глибини 19-20 м. Водоносний горизонт залягає в товщі порід, які являють собою гравійно-галькові відклади з піщаним заповнювачем надзаплавної тераси р.Дністер. Залягають водоносні відклади на мергелях. Потужність водяного горизонту 4.2-6,1м. Потужність свердловин 95-100 л/с залежно від характеру водоносного горизонту. Живлення водоносного горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів та підтоку із верхньокрейдового водоносного горизонту.

При експлуатації свердловин необхідно вести постійні спостереження за дебітом і рівнем підземних вод і відповідно регулювати водовідбір і глибину занурення насосного обладнання.

Рівень води до відкачування насосами називається статичним. Рівень води, що встановився при рівномірному відкачуванні називається динамічним, він відповідає рівновазі, яка настала між відкачуванням води і приливом її з водоносного шару.

Дебіт води із свердловин – 40 м³/год.

Водоносний горизонт відноситься до незахищених, тому у свердловину вода надходить через фільтр, заглиблений у водоносний шар, стінки свердловини закріплені обсадними трубами Д 570 мм. (325-400мм.), щоб захистити свердловину від обвалів м'яких порід і, тим самим попередити від передчасного зменшення її діаметра.

Фільтри захищають свердловину від проникнення дрібних частинок піску, глини.

Каркас фільтра (Д 325 мм) - це перфорована труба на поверхні якої укріплені сталеві стержні з дроту. Цей каркас опускається в обсадну трубу більшого діаметру, ніж фільтр, простір між внутрішньою стінкою обсадної труби й фільтром заповнюють гравієм і крупним піском. Вода з водоносного горизонту надходить до труби через фільтр.

Для піднімання підземних вод із свердловин застосовуються глибинний насос безпосередньо з'єднаний із електродвигуном – ЕЦВ 8-40-90.

Управління цим агрегатом здійснюється системою автоматичного управління РТ 11 і часовим режимом.

В склад санітарної охорони водопостачання входять три пояси: пояс суворого режиму та два пояси режиму обмежень

Зони перших поясів для кожного із кушів свердловин об'єднані і огорожені, територія має форму трикутників із зрізаними вершинами і сторонами від 250 -280м; від 280м до 263 м.

Другий пояс санітарної охорони – прийнятий довжиною 1638 м. і шириною 1530м.

Третій пояс санітарної охорони – прийнятий довжиною 4060м і шириною 4440м.

Довжина границь першого поясу ЗСО куща № 1 – 793 м. площею 2,968 га.

Довжина границь першого поясу ЗСО куща № 2 – 947 м. площею 6,593 га.

Загальна довжина меж другого поясу 5295м, площею 250 га.

Загальна довжина меж третього поясу 12105 м., площею 681 га.

5.1.2 Водозабір урочище Коростовичі

На водозаборі ур. Коростовичі /4 куш/ розміщено 5 свердловин глибиною 57-61 м. Водонесний горизонт залягає в товщі порід, які являють собою сірий тріщинуватий мергель. Потужність водонесного горизонту - 40 м. Потужність свердловин – 165 л/сек.

При експлуатації свердловин необхідно вести постійні спостереження за дебітом і рівнем підземних вод і відповідно регулювати водовідбір і глибину занурення насосного обладнання.

Дебіт свердловин – 40 - 60 м³/год.

Водонесний горизонт відноситься до захищених.

Стінки свердловин закріплені обсадними трубами 325 – 426 мм., з затрубною цементациєю. Вода надходить через фільтр з піщано-гальковим включенням.

Для піднімання підземних вод із свердловин застосовується глибинний насос ЕЦВ 10-65-110, 8-40-120.

Для захисту водоносного горизонту від забруднення та передчасного виснаження зона санітарної охорони складається із трьох поясів.

В склад ЗСО входять три пояси: пояс суворого режиму та два пояси режиму обмежень.

Довжина границь ЗСО першого поясу свердловини № 2 має чотирикутну форму з розмірами сторін 51,7х52,4х31,8х51,1м.

Площа першого поясу для свердловин № 2 становить 0,2676 га

Довжина границь ЗСО першого поясу свердловини № 3 має чотирикутну форму з розмірами сторін 59,3х59,6х59,1х59,4 м.

Площа першого поясу для свердловин № 3 становить 0,3523 га

Довжина границь ЗСО першого поясу свердловин № 4 та 5 є спільною та має неправильну шестикутну форму з розмірами сторін 53,0х44,4х50,3х19,0х7,0х30,0 м.

Площа першого поясу для свердловин № 4 та 5 становить 0,247 га.

Загальна довжина меж другого поясу становить 4515м.

Площа другого поясу ЗСО становить 113 га.

Загальна довжина меж ЗСО третього поясу – 9570 м.

Площа третього поясу – 411 га.

У разі зменшення дебіту експлуатаційної свердловини чи погіршення якості води організується спеціальне комісійне обстеження свердловини.

На підставі результатів обстеження свердловин вживаються такі заходи:

У разі зниження продуктивності – відновлення дебіту свердловини шляхом проведення капітального ремонту чи її тампонування;

У разі погіршення якості води, пов'язаного з надходженням до свердловини забруднених речовин, – ремонт свердловини з наступною дезінфекцією.

Дезінфекція свердловин в процесі експлуатації проводиться розчином гіпохлориту натрію (РГН) згідно з главою 5 «Інструкції із застосування гіпохлориту натрію для знезараження води в системах централізованого

питного водопостачання та водовідведення», затвердженої Наказом Мінжитлокомунгоспу України 18.05.2007 № 18 (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства від 15.05.2015 № 105).

Після закінчення періоду дезінфекції здійснюється відкачування води у звичайному режимі експлуатації до зникнення у воді запаху хлору, після чого відбирають воду для проведення санітарно-бактеріологічних аналізів згідно з чинними нормативно-правовими актами.

Введення свердловини в експлуатацію після дезінфекції здійснюється при задовільних аналізах води.

Коли дослідженнями встановлено, що має місце надходження до свердловини забруднених вод через дефекти в обсадних трубах чи через затрубний простір, така свердловина ремонтується або тампонується.

Один раз на рік в період, залежно від місцевих умов, проводиться генеральна перевірка стану свердловини, устаткування і всіх трубопроводів.

У ході генеральної перевірки встановлюється ступінь зносу устаткування і самої свердловини, причини зміни продуктивності, якості води і гідрогеологічних умов експлуатації водоносного горизонту, стан обсадних труб, фільтру тощо. На підставі результатів генеральної перевірки визначається вид ремонту і вживаються заходи для забезпечення умов нормальної експлуатації.

5.1.3 Насосне обладнання водозабору

Для забору води використовуюся занурювальні глибинні електронасосні агрегати.

Експлуатація встановлених в свердловинах насосних агрегатів здійснюється згідно з інструкціями заводів, що виготовляють насосні агрегати.

Вибір насосних агрегатів проводиться з врахуванням технічної характеристики свердловин та тиску, що забезпечує прихід, доставку води від свердловин до ВОС.

Час роботи насосів регулюється таймером відповідно до потреб в роботі тієї чи іншої свердловини.

Узагальнена характеристика водозаборів системи водопостачання (ВНС) за їх продуктивністю, методом регулювання режиму роботи, потужністю встановленого насосного обладнання і його енергоефективністю.

Таблиця 5.1 – Огляд електронасосних агрегатів водозабору

Назва водозаборів	Вид ел.насосного обладнання	Кількість шт	Потужність агрегатів кВт	Продуктивність м ³ /год	Питоме енергоспоживання кВт-год/м ³
урочище Корчева	ЕЦВ 8-40-90	2	18	40	
урочище Коростовичі	ЕЦВ 8-40-120	1	22	40	
урочище Коростовичі	ЕЦВ10-65-110	2	32	60	

Водозабір ур. Коростовичі 5 свердловин, з них: 3 – діючі, 2 – резервні; водозабір ур. Корчева 4 свердловини, з них: 2 – діючі, 2 – резервні.

Електронасосні агрегати в процесі експлуатації яких зменшується ККД, з'явилась вібрація, змінюються покази приладів, спрацьовує захист та т.д. - експлуатувати забороняється. Проводиться демонтаж такого агрегату та встановлення іншого.

5.2 Станція знезалізнення води. ВОС

Знезалізнення води доцільно передбачати тоді, коли концентрація заліза перевищує нормативні вимоги або коли навіть при близьких до норми значеннях залізо погіршує споживчі властивості води.

Потреба у знезалізненні найчастіше виникає за кількома типовими сценаріями.

- Перевищення нормативного рівня 0,3 мг/дм³ призводить до випадіння залізного осаду, який поступово накопичується у трубах, арматурі та фільтрах і зменшує їх пропускну здатність.

- Погіршення органолептики проявляється металевим присмаком, характерним запахом і зміною забарвлення води від жовтуватого до буро червоного відтінку.

- Експлуатаційні проблеми в мережі посилюються через утворення відкладень, які прискорюють корозійні процеси на металевих елементах системи та збільшують частоту ремонтів і промивок.

- Для здоров'я надлишок заліза зазвичай не є критично токсичним у малих дозах, але може спричиняти дискомфорт з боку шлунково кишкового тракту та опосередковано впливати на засвоєння окремих мінералів, зокрема цинку і міді.

Залежно від форми заліза у воді, його концентрації та супутніх домішок застосовують різні технологічні підходи.

- Аерація полягає у насиченні води киснем, який переводить розчинене двовалентне залізо у нерозчинні форми, що далі вилучаються механічною фільтрацією.

- Каталітична фільтрація використовує спеціальні завантаження, які прискорюють окиснення та одночасно затримують сформований осад у товщі фільтра.

- Іонний обмін працює через заміщення іонів заліза на іони натрію або водню на іонообмінних смолах, але потребує коректного врахування складу води та режиму регенерацій.

- Озонування забезпечує інтенсивне окиснення заліза озоном з подальшим вилученням продуктів реакції на фільтрах, але вимагає складнішого обладнання та контролю безпеки процесу.

- Хімічне окиснення передбачає введення реагентів окисників, наприклад хлору або перманганату калію, щоб швидко перевести залізо у форму, придатну до відділення фільтрацією.

Вибір методу завжди прив'язується до реальної аналітики води, умов експлуатації, вимог до якості очищеної води та економіки життєвого циклу системи.

Для вашого випадку, з огляду на вміст заліза у воді з водоносних горизонтів до 5,5 мг/дм³ у еоценових відкладах та 0,3–1,3 мг/дм³ у четвертинних відкладах, швидкі фільтри з цеолітовим завантаженням можуть бути технологічно обґрунтованим рішенням.

Такий варіант добре працює, коли потрібно поєднати окиснення і вилучення осаду в одному компактному вузлі з прогнозованим режимом промивок.

Ключові сильні сторони цеолітових швидких фільтрів проявляються у декількох аспектах.

- Висока ефективність зниження заліза досягається завдяки здатності цеолітових матеріалів утримувати сполуки заліза та частину інших металів у пористій структурі завантаження.

- Каталітичний ефект полягає у прискоренні переходу Fe^{2+} у Fe^{3+} з утворенням пластівців, які краще затримуються у шарі фільтра та легше видаляються під час промивки.

- Економічність проявляється у відносно простій схемі споруд і можливості відновлення робочих властивостей завантаження через регламентні промивки та регенераційні операції, що зменшує експлуатаційні витрати у порівнянні з більш реагентозалежними рішеннями.

- Зниження потреби у хімічних реагентах часто є додатковою перевагою, оскільки система може працювати з мінімальним реагентним супроводом за умови правильного підбору режимів аерації та фільтрації.

Технологічний процес на швидких фільтрах із цеолітом доцільно описувати як послідовність взаємопов'язаних етапів.

Спочатку виконується попередня аерація, під час якої вода контактує з повітрям і отримує необхідну кількість розчиненого кисню для стартового окиснення заліза.

Далі вода надходить на швидкі фільтри з цеолітовим завантаженням, де відбувається доокиснення, формування осаду та його затримання у поровому просторі шару.

Після накопичення відкладень фільтр переводиться на зворотну промивку, щоб видалити осад заліза і відновити фільтраційну здатність.

За потреби та відповідно до інструкцій виробника завантаження виконується регенерація, яка може проводитися слабкими розчинами, що повертають робочі властивості матеріалу і подовжують термін його служби.

Для впевненого впровадження рішення варто закласти кілька практичних рекомендацій.

Лабораторні та, за можливості, дослідно промислові випробування води з обох горизонтів дозволять уточнити оптимальну інтенсивність аерації, тривалість контакту і робочі швидкості фільтрації.

Регулярний моніторинг якості води після фільтрів, а також контроль перепаду тиску на завантаженні дасть змогу вчасно визначати момент промивки та не допускати погіршення якості очищення.

Вибір якісного цеолітового завантаження і коректна прив'язка його характеристик до реальних витрат та коливань складу води прямо впливають на стабільність процесу та експлуатаційні витрати.

З огляду на наведені концентрації заліза та типову логіку роботи швидких фільтрів, знезалізнення на цеолітовому завантаженні можна вважати придатним і ефективним рішенням для вашого проєкту, якщо його параметри будуть підтвержені аналізами води та правильною наладкою режимів аерації, фільтрації і промивок.

Водоочисні споруди (ВОС) знаходяться с. Дем'янів вул. Промислова 13.

Потужність водоочисних споруд 8000 м³/добу. Стійкість технологічного режиму та роботи обладнання станції забезпечується при потужності виробництва знезалізненої води у межах від 1 до 6000 м³/добу.

Кількість технологічних ліній

Градирня – 3.

Фільтри - 14

Метод виробництва – аерація води із свердловин з її фільтруванням.

Таблиця 5.2 – Коротка характеристика обладнання

Назва обладнання	Кількість, шт	Характеристика
Градирня	3	Дерев'яний короб із жалюзями 8x4x4
Контактний резервуар	3	4x4x3 V _{сумарне} - 144 м ³
Фільтри	14	Резервуар 2x2,5x4
Резервуари чистої води	3	V _{сумарне} - 3000 м ³
Промивний насос	2	8К-18А

Характеристика сировини і матеріалів для фільтрів станції знезалізнення води для якісного процесу очистки наведена в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Характеристика сировини і матеріалів для фільтрів станції знезалізнення

№ п/п	Назва сировини, матеріалів, напівпродуктів	Міждержавний, державний або галузевий стандарт	Діаметр, мм	Висота шару в фільтрі, мм	Об'єм матеріалів на 1 фільтр, м ³
1	гравій	ДСТУ Б В 2.7-75-98	40	500	2,5
2	гравій	ДСТУ Б В 2.7-75-98	20	500	2,5
3	Цеоліт (кварцовий пісок)	ДСТУ Б В 2.7-12-94 (ГОСТ22551-77)	10,5-1,2	600	3

Об'єм фільтрувальної загрузки – 8 м³

Опис технологічного процесу очистки (знезалізнення): у підземних водах залізо найчастіше зустрічається у вигляді розчиненого двоховалентного заліза, тому знезалізнення відбувається за допомогою аерації.

Сутність методу знезалізнення за допомогою аерації полягає у тому, що при аерації йде виділення частини вуглекислоти та відбувається насичення води киснем повітря. За рахунок цього кисню відбувається окислення двоховалентного заліза, яке міститься у воді, до трьохвалентного. При певних значеннях рН води трьохвалентне залізо гідролізується та утворений гідроокис заліза коагулює. Також відбувається розпад вуглекислоти та сірководню.

Вода зі свердловини ур.Корчева глибинними насосами ЕЦВ 8-40-90 трубопроводом подається на градирню, де відбувається вилив у розподільчі

лотки. За рахунок висоти падіння – 8м. та конструкції дерев'яної частини відбувається збагачення води необхідною кількістю кисню повітря.

Вода із дерев'яних насадок збирається у піддон, далі по трубопроводі переливається у контактний резервуар і самопливом відводиться на фільтри. Проходячи фільтруюче завантаження, вода звільнюється від заліза збирається дренажними трубками і трубопроводом, куди підведена робоча доза реагенту гіпохлориту натрію, знезаражується та відводиться в резервуари чистої води РЧВ №1,2.

Промивка фільтрів проводиться промивним ел.насосом водою з РЧВ. Після промивки фільтрів вода відводиться в каналізацію. Фільтри

Процес фільтрування: в фільтрувальному залі знаходяться 14 фільтрів з'єднаних між собою трубопроводами та запірною арматурою.

Призначення фільтрів – затримувати пластівці гідроксиду заліза, які надходять з водою.

Промивка фільтрів здійснюється промивним насосом 8К-18А потоком води від РЧВ №1,2.

Фільтр – це резервуар об'ємом 2х2,5х4 м завантажений фільтруючим матеріалом, обладнаний пристроєм для подачі сирі води, збору профільтрованої води і промивки фільтруючого матеріалу. По середині фільтра розміщений лоток, який ділить фільтр на дві рівні частини і служить для подачі сирі води для фільтрування і відводу забрудненої води в каналізацію під час промивки фільтра.

На дні фільтра розміщений щілиноподібний дренаж, який забезпечує рівномірний відвід профільтрованої води в резервуар, а також, що особливо важливо, рівномірне розподілення води, яка подається знизу вверх для промивки фільтра. Дренаж складається із колектора діаметром 273 мм., довжиною 2,5 м., відгалужень від колектора кількістю 22 шт., діаметром 55 (90) мм., довжиною 750 мм., в кожному відгалуженні міститься 32 щілиноподібні отвори.

Зверху на дренаж насипається фільтрувальний матеріал, який складається із гравійного шару товщиною 500 мм, грубої фракції (40 мм) та гравійного шару

товщиною – 500 мм дрібної фракції (20 мм.), кварцовий пісок (цеоліт) товщина 600 мм, фракція 10,5-1,2мм.

Підтримуючий шар – гравій;

Фільтруючий шар – кварцовий пісок (цеоліт).

Об'єм фільтрувальної загрузки 8 м³

Експлуатація фільтрів: вода із контактного резервуару градинні самопливом поступає на фільтри по водопідводному лотку. Переливаючись через лоток, який ділить фільтр на дві рівні частини, вода поповнює фільтр і проходить через шар піску (цеоліту) і гравію, збирається дренажними трубами і відводиться по трубопроводу в резервуар. Спочатку вода проходить через зовсім чистий пісок (цеоліт), де затримуються тільки найбільші завислі частини. Протягом 10-15 хв. від початку фільтрування на поверхні піску (цеоліту) і в порах між його зернами утворюється (дозріває) плівка з дуже дрібних частинок і бактерій. Ця плівка починає затримувати найдрібніші частинки бактерій, що містяться у воді.

Критерієм роботи фільтра є його залізоємність – кількість осаду в кілограмах, який затримується на поверхні в порах фільтруючого матеріалу.

Робочий цикл фільтра (міжпромивний період) в годинах залежить від загального вмісту завислих речовин у воді, яка фільтрується і швидкості фільтрування.

В результаті фільтрування вміст у воді завислих речовин знижується до 1-2 мг/л., а товщина плівки на фільтрувальному матеріалі збільшується, тиск над поверхнею піску (цеоліту) стає малий для фільтрування, тобто вода піднімається вище встановленого рівня, фільтр потрібно промивати.

Інтенсивність промивки 13-15 л/ сек. на м² площі протягом 5 хвилин. Промивку фільтра проводять з метою відновлення його фільтруючої властивості, видаленням забруднення, яке міститься у фільтрувальному матеріалі. Промивна вода розпушує, змулює, переміщує пісок і відмиває каламуть, яка осіла на поверхні піску. Брудна вода, що відносить каламуть піднімається вище лотка і відводиться ним у каналізацію. Щоб пісок (цеоліт) не виносило разом з водою,

відстань від поверхні піску до верхнього краю промивного лотка повинна бути 0,6-0,7 м.

Товщина шару води над піском (цеолітом) дорівнює приблизно 1,2 м.

Принцип промивки фільтра:

1. Закрити засувку на трубі, яка підводить сиру воду із контактних резервуарів на фільтр.
2. Перерозподілити воду на фільтри, які в даний час є резервними.
3. Спрацювати воду, яка є у фільтрі і при досягненні води верхнього краю промивного лотка закінчити фільтрування.
4. Закрити засувку на трубі, яка відводить чисту воду в резервуар.
5. Повністю відкрити засувку на трубі, яка відводить воду після промивки в каналізацію.
6. Поступове відкриття запірної арматури на промивній трубі, по якій промивна вода від промивного насоса проходить на фільтр.
7. Включити промивний насос.

Промивку фільтра проводять до тих пір, доки забруднена вода не очиститься.

Момент закінчення промивки оператор визначає самостійно. Час промивки залежить від ступені забрудненості фільтра (15-20 хв).

Після візуальної перевірки на прозорість і каламутність завершують промивку, закривши запірну арматуру на промивній трубі, зупиняють промивний насос.

Відновлення процесу фільтрування у промитому фільтр:

1. Закрити запірну арматуру на трубі яка відводить воду в каналізацію.
2. Відкрити запірну арматуру на трубі, яка підводить сиру воду із контактного резервуару на фільтр.

В кінці воду перевіряють на прозорість та каламутність, відкривають запірну арматуру резервуару чистої води.

Повністю або до рівня піску воду із фільтра спускають тільки на випадок крайньої необхідності, при огляді стану поверхні наповнення, при очищенні

піску (цеоліту) від намулу, якщо фільтр по якихось причинах був спорожнений, то до напуску в нього сирії води для очистки, його необхідно заповнити до лотка знизу через дренаж поступово, щоб не пошкодити поверхні піску.

Управління роботою фільтра: Регулювання поступлення води на очистку, швидкість фільтрування води і проведення промивки для видалення затриманого фільтром забруднення.

Протягом періоду корисної роботи фільтра на поверхні і в порах фільтрувального матеріалу накопичується забруднення. По мірі росту забруднення зростає гідравлічний опір фільтра від нуля до максимуму і швидкість фільтрування при цьому теж змінюється від максимуму до нуля, а це не допустимо.

Управління роботою фільтра передбачає регулювання швидкості фільтрування вручну.

Перед початком роботи фільтра запірну арматуру РЧВ відкривають не повністю, по мірі забруднення і збільшення опору засувку поступово відкривають повністю, зменшуючи тим самим опір і збільшуючи швидкість фільтрування.

Якщо можливість регулювання роботи фільтра вичерпано, водяний стовп над поверхнею фільтрувального шару збільшується вище вказаної мітки та настає можливість переливу фільтра. Фільтр відключають від роботи на промивку.

Контроль за роботою фільтра: Відбувається постійний контроль вмісту заліза загального з під фільтрів вимірювальною лабораторією підприємства, відповідно до вимірювань оператори регулюють роботу фільтрів.

Контрольна промивка фільтра здійснюється один раз в місяць.

Для цього спускають воду у фільтрі на 15-20 см. нижче поверхні фільтруючого шару. При позитивній промивці поверхні піску (цеоліту) повинна бути рівною, чистою, без горбів та ямок, на ній не повинні бути грудки із намулу.

При виявленні зниження рівня піску (цеоліту) потрібно провести досипку до рівня 0,6-0,7м. до верхнього краю промивного лотка фільтру.

Таблиця 5.4 – Неполадки в роботі фільтрів та методи їх усунення

№ п/п	Неполадки	Можливі причини	Дії оперативного персоналу і способи усунення неполадок
1	Наявність провалів і ямок в піщаному шарі	Поломка дренажної системи фільтра	Виключити фільтр для капітального ремонту
2	Нерухомість фільтруючого шару під час промивки	Закупорка дренажної системи.	Виключити фільтр для капітального ремонту
3	При виникненні дефектів в корпусі запірної арматури, або порив трубопроводу.	Несправність обладнання	Закрити засувку сирової води із контактного резервуару, включити дренажний насос для відкачки води і відключити фільтр у ремонт
4	Переповненість фільтрів	Недостатня кількість робочих фільтрів	Включити додатковий фільтр в роботу
5	Переповненість фільтрів при промивці	Не відкрилась каналізаційна засувка	Відкрити каналізаційну засувку механічно (вручну)

5.3 Установа гідролізна «Полум'я-2» для виробництва гіпохлориту натрію

Для знезараження питної води застосовується гіпохлорит натрію, який виробляється блочною електролізною установкою «Полум'я -2», яка відповідає ТУ У14307735002-94.

Гіпохлорит натрію - сильний окислювач по бактерицидній ефективності і впливу на якість обробленої води, відповідає дії рідкого хлору, хлорного вапна і інших хлоровмісних реагентів.

Блочна електролізна установка застосовується для отримання знезаражуючого реагенту (розчину гіпохлориту натрію) методом електролізу розчину кухонної солі.

Установка працює по принципу електролізу розчину хлористого натрію в однокамерному електролізері.

Гіпохлорит натрію отриманий в результаті роботи даної установки використовується для знезараження питної води, та для дезінфекції водопровідних мереж на станції водопідготовки (знезалізнення).

Отриманий реагент дозується в підготовлену воду безперервно.

Умови експлуатації електролізної установки «Полум'я -2» повинні відповідати ДСТУ 151,50-69, кліматичне виконання УХЛ, категорія приміщення 4, температура повітря від +1°C до +35°C, відносна вологість повітря 80% при температурі +25°C.

Для експлуатації блочної електролізної установки необхідно подати тиск води 0,2-0,4 Мпа.

Продуктивність установки по активному хлору 20 кг/добу.

Витрата солі для отримання гіпохлориту натрію 70 кг. на добу.

Жорсткість вхідної води на електролізну установку - 0,1 мг екв/л.

Для зниження жорсткості води до даного показника використовується іонообмінна установка пом'якшення води продуктивністю 0,6м³/год.

Активний компонент – смола іонообмінна КУ-2-8 час 50 кг.

При зниженні активності потребує заміни.

Витрати солі на регенерацію - 5 кг на добу.

До факторів, що впливають на стабільність РНГ, належать його концентрація і температура, наявність іонів важких металів, освітлення (при дії світла швидкість розкладу РНГ збільшується приблизно в 2 рази).

Таблиця 5.5 – Технічні характеристики кухонної солі та смоли іонообмінної

№п/п	Назва	Стандарт	Примітки	Об'єм
1.	Сіль кухонна	ДСТУ 3583-97	1 помол без домішок	75 кг на добу
2.	Смола іонообмінна КУ-2-8			50 кг

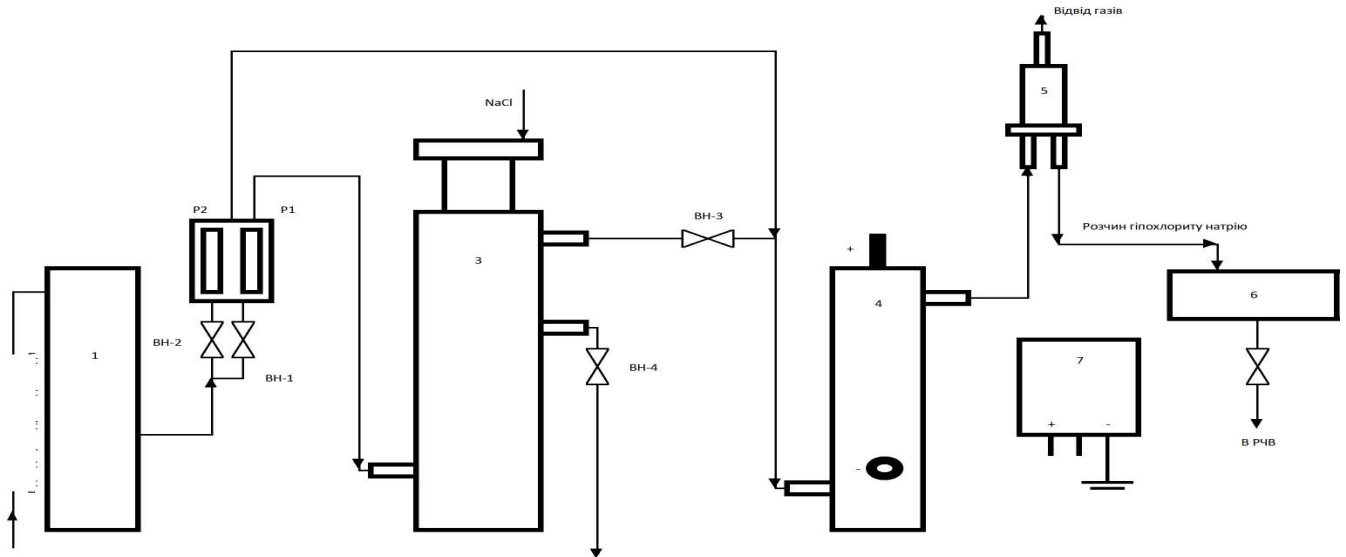


Рисунок 5.1 – Технологічна схема гідролізої установки «Полум'я-2» для виробництва гіпохлориту натрію:

1. Пом'якшувальна установка
2. Регулюючі поплавки
3. Бак солерозчинника
4. Електролізер з електродами
5. Газовивідний поплавок
6. Бак 500л
7. Трансформатор

5.4 Резервуари чистої води та водонапірна вежа

5.4.1 Резервуари чистої води

Згідно технологічної схеми, вода від свердловин ур.Коростовичі трубопроводом надходить безпосередньо в резервуари чистої води (РЧВ) №1,2,3., вода урочища Корчева надходить після очистки (знезалізнення) в РЧВ №1,2.

В лінію подачі очищеної води до РЧВ №1,2 також подається розчин гіпохлориту натрію.

Кількість резервуарів – 3 шт.,

Об'єм - РЧВ №1 500 м³

РЧВ №2 500 м³

РЧВ №3 2000 м³

Резервуари чистої води забезпечують вирівнювання режимів роботи свердловин та зберігання регулюючих, аварійних та протипожежних запасів води, а також води на технологічні потреби споруд.

Всі резервуари обладнані технологічними, з'єднувальними, переливними і спускними трубопроводами, а також вентиляцією.

Регулювання використання РЧВ здійснюється запірною арматурою на технологічних трубопроводах. Рівень води в РЧВ та в баку водонапірної вежі контролюється за допомогою рівнемірів. Інформація про кількість води в РЧВ та в баку водонапірної вежі надходить на пульт машинного залу.

Експлуатація РЧВ та водонапірних веж здійснюється згідно з вимогами розділу 8 «Правил технічної експлуатації систем водопостачання та каналізації населених пунктів України», затверджених наказом Державного комітету України по житлово-комунальному господарству від 5 липня 1995 року № 30.

Входи до люків-лазів, в резервуари герметично зачинені і опломбовані. Порядок входу в резервуар чи бак водонапірної башти встановлюється відповідними інструкціями.

Не рідше одного разу на рік проводиться контроль герметичності резервуарів, їх очищення та дезінфекція, усіх трубопроводів, запірної арматури, люків-лазів, тощо.

Водонапірна вежа. Це залізобетонна конструкція висотою 60 м. На висоті 40 м. в приміщенні водонапірної вежі встановлений металічний бак об'єм $V = 400 \text{ м}^3$, товщина стінок і дна баку 6-8 мм.

Вода на водонапірну вежу подається із РЧВ електронасосами насосної станції другого підйому.

Вода яка подається на водонапірну вежу очищена, пройшла змішування і пройшла дезінфекцію та відповідає ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Господарсько-питна вода самопливом поступає в водопровідну мережу м.Бурштин та с.Демянів.

На виході в мережу регулюється запірною арматурою та регулятором тиску. Рекомендований тиск на виході в водопровідну мережу – 3 атм.

5.4.2 Дезінфекція

Дезінфекція резервуарів, водопровідної мережі здійснюється згідно графіку погодженого управлінням Держпродспоживслужби, та робочих програм на виконання даних робіт.

Дезінфекція резервуарів чистої води може бути профілактичною (після періодичного чищення або після ремонтно-аварійних робіт), а також за епідемічними показниками (у разі їх забруднення, унаслідок чого створюється загроза виникнення спалахів кишкових інфекцій).

Дезінфекція РЧВ та баку водонапірної вежі здійснюється у відповідності до вимог «Інструкції із застосування гіпохлориту натрію для знезараження води в системах централізованого питного водопостачання та водовідведення», затвердженої Наказом Мінжитлокомунгоспу України 18.05.2007 № 18.

Виконання робіт з очищення, ремонту резервуарів оформлюється наказом по підприємству. Після закінчення очищення, або ремонту в резервуарах (баках водонапірних веж) складається спеціальний акт, в якому вказують:

1. Перелік проведених робіт;
2. характеристику санітарно-технічного стану резервуару;
3. час закінчення робіт і спосіб дезінфекції;
4. відповідального за проведення робіт;
5. час встановлення пломб;
6. дослідження питної води (відповідність вимогам ДсанПіНу-10).

Після закінчення ремонту або очищення обов'язково виконують дезінфекцію розчином гіпохлориту натрію (розчином хлорного вапна) - для резервуарів великої місткості методом зрошування розчином сполук активного хлору з концентрацією 200 мг/дм³. Згідно розрахунку 200г хлорного вапна на 1 дм³ води.

Після дезінфекції резервуар, (бак водонапірної вежі) промивають чистою водопровідною водою. Резервуар може бути включений в експлуатацію після задовільних хіміко бактеріологічних аналізів.

Інструменти для очищення резервуарів перед початком роботи оброблюються розчином гіпохлориту натрію.

У процесі очищення резервуарів РЧВ в першу чергу видаляються осади з дна, потім очищаються стіни і колони щітками, а стіни і колони двічі обмиваються з брандспойта. Після цього відмивається дно резервуара, а всі поверхні резервуара повторно обмиваються з брандспойта.

Перед входом у резервуар встановлюють бачок з розчином гіпохлориту натрію для обмивання чобіт.

Дезінфекція баку водонапірної вежі та водопровідної мережі здійснюється згідно «Інструкції із застосування гіпохлориту натрію для знезараження води в системах централізованого питного водопостачання та водовідведення», затвердженої Наказом Мінжитлокомунгоспу України 18.05.2007 №18., «Робочої програми по промивці, дезінфекції магістральних, внутрішньоквартальних та абонентних водоводів ВОС м. Бурштин.»

Промивка стінок водоводів проводиться з метою звільнення від оксидів заліза, мулу, мікроорганізмів, які відклалися в процесі експлуатації. Найбільш ефективний результат промивки одержується з використанням хлорного вапна. Згідно ДБН В.2.5. -74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди.

На 1 м^3 води потрібно $0,4$ кг хлорного вапна.

Загальний об'єм заповнення $V = 638\text{ м}^3$

$Q = 0,4\text{ кг} \cdot 638 = 255\text{ кг}$ хлорного вапна.

Допуск персоналу до резервуарів, башт і на їх територію обмежений необхідними випадками, які обумовлені чинними інструкціями. Допуск сторонніх осіб на територію резервуарів і водонапірної вежі категорично заборонений.

Люки-лази резервуарів чистої води опечатані. Ключі зберігаються у інженера-технолога ВОС.

Мінімальна витрата хлорованого вапна на дезінфекцію:

Свердловини – 120 кг,

Градірня та контактні резервуари – 120 кг на 3 лінії,

РЧВ – 160 кг,

Водонапірна вежа та водонапірна мережа - 255кг.

Таблиця 5.6 – Витрата хлорованого вапна

№п/п	назва	норми	Масова частка активного хлору	Кількість на рік, кг
1	Хлороване вапно		28%	655

5.5 Насосна станція другого підйому, промивні електронасоси

В приміщенні машинного залу ВОС (водоочисних споруд) знаходиться насосна станція другого підйому та промивні насоси.

Завдяки насосній станції другого підйому проводиться закачування господарсько-питної води із РЧВ в водонапірну вежу.

Насосна станція другого підйому – обладнана трьома відцентровими горизонтальними насосами якими проводиться забір води залежно від потреби, з РЧВ на різних рівнях а також з різною потужністю:

1. Господарсько - питний насос №1 – Д 315-75, продуктивність 315 м³/год., з електродвигунами потужністю 90 кВт.
2. Господарсько - питний насос №2 – Д 300-65, продуктивність 300 м³/год., з електродвигунами потужністю 90 кВт.
3. Пожежний насос – ЗВ 200-2, продуктивність 350 м³/год., з електродвигунами потужністю 125 кВт.
4. Два промивні насоси – 8К-18А відцентрові горизонтальні, продуктивність 283 м³/год., з електродвигунами потужністю 22 кВт., використовуються для промивки фільтрів, з забором води із РЧВ.

Відцентровий горизонтальний насос. Основною робочою деталлю відцентрового насоса є розміщене на валу всередині спірального корпусу робоче колесо з лопатками. Корпус має два патрубки до яких приєднано всмоктувальний і напірний трубопроводи з розміщеною на них запірною арматурою.

Кожен відцентровий насос має приймальний клапан, який утримує в насосі і у всмоктувальному трубопроводі воду, зворотній клапан на напірному трубопроводі для запобігання зворотного руху води з трубопроводу.

У верхній частині корпусу є кран для випускання повітря а також манометр приєднаний до напірного патрубку насоса - для визначення тиску, що розвивається насосом.

Робоче колесо за допомогою валу з'єднане з електродвигуном. При запуску насоса робоче колесо обертається і розвивається відцентрова сила під впливом якої вода переміщується в напрямку від центра до краю і викидається в спіральну камеру, а потім рухається по напірному трубопроводі в резервуар водонапірної башти.

Під впливом тиску водяного стовпа з РЧВ вода через всмоктувальний трубопровід безперервно надходить у насос, який заповнюється відразу після того, як відкривається засувка на всмоктувальному трубопроводі, який розміщений нижче рівня води.

При надмірному спаданні тиску в середині рідини утворюються пустоти і настає кавітація. При кавітації розвивається суцільний потік води і порушується правильність її течії. Це призводить до зменшення продуктивності насоса і зниження тиску, різкого спадання ККД і може спричинити руйнування робочого колеса. При кавітації насоси можуть працювати зі сторонніми звуками.

Щоб запобігти кавітації, насоси встановлені на такій висоті відносно рівня води в приймальній камері, що тиск при вході в насос більший ніж тиск води, що перекачується. Всмоктувальний трубопровід встановлений нижче основної відмітки валу насоса.

Технологічний режим роботи насосів. Перед підготовкою насоса до запуску перевіряють ротор насоса (вал із зібраним на ньому робочим колесом), щоб переконатись в тім, що в середині корпусу насоса немає сторонніх предметів, перевірити стан підшипників, наявність змазки, а також стан та ступінь підтяжки сальників, фундаментальних болтів та болтів муфти, які з'єднують електродвигун з насосом.

Після підготовки насоса до запуску перевіряють пускову апаратуру, поступово відкривають засувку на напірному трубопроводі відкривають кран для випуску повітря і включають електронасос.

Після включення необхідно слідкувати за тиском на манометрі, станом підшипників (температура не більше 80⁰), а також відсутність сторонніх звуків, вібрації.

Порядок зупинки відцентрового насоса:

закрити засувку на напірному трубопроводі,
зупинити електронасос.

Контроль за роботою електронасосного обладнання здійснюється машиністом.

5.6 Міська водопровідна мережа

Експлуатаційні показники водопровідної мережі, яка знаходиться на балансі підприємства.

Трубопровід ур. Коростовичі – ВОС довжина 7,2 км. ,
діаметри трубопроводу : 225 , 250, 325 мм.,
матеріал ПЕ, чавун, сталь.

Трубопровід ур Корчева - ВОС 2 вітки загальною довжиною 7,3 км.,
діаметри трубопроводу : 219 , 250 мм., матеріал ПЕ, сталь.

Трубопровід ВОС-ТЕС 2 вітки 2,640 км. і 2,620 км
діаметри трубопроводу : 225 , 250 мм.,
матеріал ПЕ, сталь.

Трубопровід ВОС- м.Бурштин 2 вітки по 2,100 км.
діаметри трубопроводу : 225 , 250 мм.,
матеріал ПЕ, сталь.

Міська мережа 15,54 км.

діаметри трубопроводу 100 , 150 , 200 мм.,
матеріал ПЕ, чавун, сталь.

Загальна довжина 39,2 км.

Показники стану водопровідної мережі за матеріалами, віком, станом та аварійністю, наведено таблиці.

Таблиця 5.7 – Експлуатаційні показники водопровідної мережі

Трубопроводи			Термін експлуатації						Аварійність	
Матеріал	Довжина,		> 50 років		25 - 50 років		< 25 років		ав./ 100 км /рік	
	км	%	км	%	км	%	км	%	2019	2020
Сталь	14,7	38	7,9	42,2	6,8	81,0				
Чавун	9,5	24	9,5	50,8						
ПЕ	15	38			1,6	19,0	13,4	100		
Разом	39,2	100	18,8		8,4		12,1		0,007	0,005

Водопровідна мережа Бурштина значно зношена: приблизно 47% із загальних 39,2 км трубопроводів відпрацювали свій експлуатаційний ресурс. Така широко розповсюджена застаріла інфраструктура ставить під загрозу надійність та ефективність водопостачання системи.

Значна частина, приблизно 18,4 кілометра трубопроводу перебувають у критичному стані і потребують негайного ремонту. Ці ділянки мережі мають високий ризик виходу з ладу, що потенційно може призвести до перебоїв у водопостачанні та збільшення витрат на обслуговування.

Лише 12,4 км трубопроводів мають вік менше 25 років, що свідчить про обмеженість нещодавніх зусиль з модернізації.

Стан існуючих водопровідних мереж та матеріал, з якого вони побудовані: 68,3% водопровідних мереж були введені в експлуатацію в період з 1964 по 1965 роки. 47% досягли кінця терміну експлуатації і потребують негайної заміни. Починаючи з 2002 року, компанія поступово замінює старі трубопроводи на труби . Загальна довжина замінених трубопроводів становить 14 км, що складає близько 38% від загальної мережі.

Це підкреслює необхідність інвестицій в модернізацію інфраструктури для забезпечення довгострокової стійкості.

Контроль технологічного процесу та якості очистки води здійснюється цілодобово вимірювальною лабораторією по визначенню якості питної води КП «Житловик».

Свідоцтво про технічну компетентність № ІФ 392.

Видане 12.04.2022р., чинне до 11.04.2025р.

Фактична адреса с. Демянів вул.Промислова 13.

Лабораторія є технічно компетентною при проведенні вимірювань та відповідає вимогам ДСТУ ISO10012:2005 «Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання».

Виконання вимірювань проводяться відповідно до галузі технічної компетентності та робочої програми розробленої на основі діючого ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», графіку відбору проб.

Контроль води на бактеріологічні показники здійснюється по угоді з мікробіологічною лабораторією Рогатинського міськміжрайонного відділу Державної установи «Івано-Франківський обласний лабораторний центр Міністерства охорони здоров'я України. Контроль здійснюється згідно робочої програми розробленої на основі діючого ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», графіку відбору проб.

Робоча програма та графік відбору проб погоджено із управлінням Держпродспоживслужби.

Характеристика очищеної води. Якість води , яка пройшла всі стадії очистки повинна відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 „Гігієнічні вимоги до води питної , призначеної для споживання людиною ”.

Таблиця 6.1 – Основні вимоги до якості питної води

№ п/п	Показник	Одиниця вимірюв.	Норма	Методи
1	Водневий показник рН	одиниці рН	6.5-8.5	Вимірюється на рН-метрі скляними електродами ГОСТ 4011-72
2	Залізо (Fe)	мг/дм ³	<= 0,2 (1.0)	ГОСТ 4151-72
3	Твердість загальна	мг/екв-дм ³	<= 7.0 (10.0)	ГОСТ 4974 -72
4	Марганець (Mn)	мг/дм ³	<= 0.05	ГОСТ 4388-72
5	Мідь (Cu ⁺⁺)	мг/дм ³	<= 1,0	ГОСТ 4389-72
6	Сульфати (SO ₄)	мг/дм ³	<= 250 (500)	ГОСТ 18164-72
7	Сухий залишок	мг/дм ³	<=	ГОСТ 4245-72
8	Хлориди (Cl)	мг/дм ³	1000(1500)	ГОСТ 18165-81
9	Алюміній (Al ³⁺)	мг/дм ³	<= 250 (350)	ГОСТ 18294-81
10	Берилій (Be ⁺⁺)	мг/дм ³	<= 0,20	ГОСТ 18308-72
11	Молібден (Mo ⁺⁺)	мг/дм ³	<= 0,0002	ГОСТ 4152-81
12	Миш'як (As)	мг/дм ³	<= 0,07	ГОСТ 18826-73
13	Нітрати (NO ₃)	мг/дм ³	<= 0,01	ГОСТ 4192-82
14	Нітриди ⁺⁺	мг/дм ³	<= 50,0	ГОСТ 18293-72
15	Свинець (Pb)	мг/дм ³	<= 0,5 (0,1)	ГОСТ 23950-80
16	Стронцій (St)	мг/дм ³	<= 0,010	ГОСТ 19413-81
17	Селен (Se)	мг/дм ³	<= 7.0	ГОСТ 4386-81
18	Фтор (F)	мг/дм ³	<= 0,01	ГОСТ 3351-74
19	Запах при 20 ⁰ С	бали	<= 1,5	ГОСТ 3351-74
20	Смак	бали	<= 2	ГОСТ 3351-74
21	Забарвленність	градуси	<= 2	ГОСТ 3351-74
22	Каламутність	мг/дм ³	<= 20	ГОСТ 18963-73
23	Число мікроорганізмів в 1 см ³ води	КУО/см ³	<= 1.0 <= 100	ГОСТ 18963-73
24	Загальні коліформи	КУО/см ³		ГОСТ 18963-73
25	E coli	КУО/см ³	відсутність	ГОСТ 18963-73
26	Ентерококи	КУО/см ³	відсутність	ГОСТ 18190-72
27	Хлор залишк. вільний	мг/дм ³	відсутність	ГОСТ 18190-72
28	Хлор залишк. зв'язаний	мг/дм ³	<= 0,5 <= 1,2	

7.1 Загальні положення та організаційно-підготовчі роботи

У рамках модернізації системи водопостачання м. Бурштин, метою якої є оптимізація напорів та забезпечення якості води, ключовим етапом є виконання будівельно-монтажних робіт із заміни аварійних ділянок мережі та прокладання нових магістралей. З огляду на високий ступінь зношеності існуючих мереж (47%) та складні гідрогеологічні умови (наявність суглинків та мергелів), проєктним рішенням передбачено використання напірних труб з поліетилену високої щільності (ПНД, PE-100/PE-80). Цей вибір обґрунтований їхньою корозійною стійкістю, низьким коефіцієнтом гідравлічного опору та довговічністю (до 50-100 років), що є критичним для забезпечення сталості гідравлічної моделі, розробленої в EPANET.

Технологічний процес монтажу регламентується вимогами ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди» та ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва». Перед початком основних робіт виконується комплекс підготовчих заходів:

Геодезична розбивка траси: Винесення в натуру осей трубопроводу та кутів повороту згідно з робочим проєктом. Закріплення точок виконується тимчасовими реперами. Враховуючи щільну забудову м. Бурштин, особлива увага приділяється шурфуванню місць перетину з існуючими комунікаціями (теплотраси від ТЕС, газопроводи).

Розчищення смуги відведення: Зняття родючого шару ґрунту (гумусу) та його складування для подальшої рекультивації.

Вхідний контроль матеріалів: Перевірка труб та фасонних частин на відповідність сертифікатам якості, маркуванню (SDR 17/11, PE-100), відсутність механічних пошкоджень та овальності торців.

7.2 Земляні роботи та влаштування основи

Специфіка ґрунтів на ділянках водозаборів «Корчева» та «Коростовичі» (гравійно-галечникові відклади, суглинки, мергелі) вимагає диференційованого підходу до розробки траншей.

Розробка траншей

Розробка ґрунту здійснюється механізованим способом за допомогою одноківшевих екскаваторів зі зворотною лопатою (ємність ковша 0,65–1,0 м³).

Геометрія траншеї: Мінімальна ширина траншеї по дну (В) для труб діаметром до 315 мм визначається формулою $V = D_{\text{зовн}} + 0,5$ м, що забезпечує необхідний простір для монтажних робіт та якісного ущільнення пазух.

Укріплення стінок: При глибині траншеї понад 1,25 м у суглинкових ґрунтах без укосів передбачається влаштування інвентарних щитових кріплень для запобігання обвалів та забезпечення безпеки праці.

Недобір ґрунту: Механізована розробка ведеться з недобором ґрунту 10-15 см до проєктної відмітки. Остаточне зачищення дна виконується вручну безпосередньо перед укладанням труб, щоб зберегти природну структуру материкового ґрунту.

Підготовка основи

Поліетиленові труби є гнучкими конструкціями, чутливими до точкових навантажень. В умовах наявності твердих включень (мергель, каміння) у ґрунтах Бурштина, обов'язковим є влаштування піщаної підготовки.

Піщана подушка: На дно траншеї відсипається шар піску товщиною 100–150 мм.

Ущільнення: Пісок ущільнюється вібротрамбівками до коефіцієнта ущільнення $K 0,95$.

Прямки: У місцях стикових з'єднань влаштовуються прямки для розміщення зварювального обладнання та зручності роботи оператора.

7.3 Технологія монтажу та зварювання труб ПНД

Для з'єднання труб ПНД у єдину герметичну систему в проєкті застосовуються методи контактного зварювання нагрітим інструментом встик (для лінійних ділянок) та терморезисторного зварювання (для фасонних частин та ремонтних вставок).

Зварювання встик (Butt Fusion)

Це основний метод монтажу магістральних водогонів діаметром від 110 мм. Процес базується на нагріванні торців труб до в'язко-текучого стану та їх з'єднанні під тиском, що забезпечує монолітність шва, міцність якого не поступається міцності самої труби.

Технологічні етапи зварювання:

Центрування та торцювання: Труби закріплюються у затискачах гідравлічного центратора. Торці обробляються електроторцювачем для забезпечення плоскопаралельності поверхонь та видалення оксидного шару. Допустимий зазор між торцями після обробки не повинен перевищувати 0,5 мм.

Нагрівання (Оплавлення): Між торцями вводиться нагрівальний елемент («дзеркало») з тефлоновим покриттям, розігрітий до температури 210 °С. Труби притискаються до нагрівача до утворення первинного грата (валика розплаву).

Прогрівання: Тиск знижується майже до нуля ($P \approx 0,02$ МПа), і відбувається прогрівання маси поліетилену вглиб стінки. Час прогрівання залежить від товщини стінки (SDR).

Видалення нагрівача: Технологічна пауза на видалення дзеркала має бути мінімальною (5–10 с), щоб уникнути охолодження розплаву.

Осадка та зварювання: Торці зводяться під робочим тиском зварювання. Тиск підтримується до повного охолодження стику.

Охолодження: Природне охолодження стику під тиском. Штучне прискорення охолодження (водою) заборонено, оскільки це призводить до виникнення внутрішніх напружень.

Таблиця 7.1 – Орієнтовні параметри зварювання труб ПЕ-100 (SDR 17)

Діаметр труби, мм	Висота первинного грата, мм	Час прогрівання, с	Час наростання тиску, с	Час охолодження під тиском, хв
110	1,0	80–100	5–6	10–12
160	1,5	120–140	6–8	14–16
225	1,5	180–200	8–10	18–20
315	2,0	240–260	10–12	22–25

Терморезисторне (електромуфтове) зварювання

Застосовується у важкодоступних місцях, при врізках у існуючі мережі та монтажі вузлів засувок. Використовуються деталі із закладними нагрівальними елементами.

Підготовка: Обов'язкове механічне зняття оксидного шару скребком з поверхні труби на глибину 0,1–0,2 мм та знежирення зони зварювання спеціальними серветками.

Процес: Зварювальний апарат автоматично зчитує штрих-код фітинга, встановлює напругу та час нагрівання. Енергія передається на спіраль, яка розплавляє поліетилен, утворюючи з'єднання.

Контроль: Візуальний контроль за виходом індикаторів зварювання на фітингу.

Укладання трубопроводу

Зварені у пліті труби (довжиною до 100 м) опускаються у траншею за допомогою кранів-трубоукладачів або екскаваторів, використовуючи м'які рушники («полотенця»), щоб не пошкодити поверхню труби.

Укладання «змійкою»: ПНД має високий коефіцієнт лінійного теплового розширення. Укладання «змійкою» дозволяє компенсувати зміну довжини труби при коливаннях температури ґрунту та води.

Обсипання: Після укладання виконується первинне обсипання труби піском або м'яким ґрунтом на висоту 30 см над верхом труби з обов'язковим підбиттям пазух для забезпечення бічної підтримки.

7.4 Випробування водогону

Для підтвердження якості будівельно-монтажних робіт та надійності системи проводяться гідравлічні випробування згідно з ДБН В.2.5-74:2013. Випробування поділяються на попередні (на міцність) та остаточні (на герметичність).

Попереднє випробування (на міцність)

Проводиться до засипки стикових з'єднань, щоб забезпечити візуальний контроль герметичності швів.

Заповнення: Трубопровід заповнюється водою з нижньої точки, повітря видаляється через вантузи у верхніх точках.

Тиск: Випробувальний тиск ($P_{\text{випр}}$) встановлюється на рівні: $P_{\text{випр}} = 1,5 \cdot P_{\text{роб}}$ (але не менше величин, вказаних у нормах для даного типу труб). Для ПЕ-100 $P_{\text{випр}}$ зазвичай становить не менше 1,0–1,2 МПа.

Витримка: Тиск підтримується підкачуванням протягом 30 хвилин (період релаксації поліетилену, який під тиском трохи розширюється). Потім проводиться огляд усіх стиків. Трубопровід вважається таким, що витримав випробування, якщо при огляді не виявлено розривів, протікань та деформацій.

Остаточне випробування (на герметичність)

Проводиться після повної засипки траншеї, але не раніше ніж через 24 години після заповнення водою (для стабілізації ґрунту та температури).

Методика: Тиск піднімається до випробувального і витримується протягом певного часу (зазвичай 1 година).

Оцінка: Випробування вважається успішним, якщо падіння тиску не перевищує допустимої величини (наприклад, не більше 0,02 МПа за годину) і фактичний витік води (визначений мірним бачком при підкачуванні) не перевищує нормативного значення для даного діаметра та довжини ділянки.

Промивка та дезінфекція

Завершальним етапом перед введенням водогону в експлуатацію є його санітарна обробка, що критично важливо для забезпечення якості питної води відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Промивка

Здійснюється гідропневматичним методом (подача водо-повітряної суміші) для видалення будівельного сміття, піску та мулу. Швидкість руху води повинна бути не менше 1,0–1,5 м/с. Промивка триває до досягнення на виході показників каламутності, що відповідають воді джерела водопостачання (для водозабору «Коростовичі» — не більше 1,5 мг/дм³).

5.2. Дезінфекція (Хлорування)

Для дезінфекції використовується розчин гіпохлориту натрію, який на КП «Житловик» виробляється власною електролізною установкою «Полум'я-2».

Концентрація: Трубопровід заповнюється розчином з концентрацією активного хлору 75–100 мг/дм³.

Контакт: Час контакту дезінфікуючого розчину з внутрішньою поверхнею труб повинен становити не менше 24 годин.

Контроль: Після закінчення часу контакту залишкова концентрація хлору повинна бути не менше 50% від початкової. Якщо вона нижча, проводиться повторне хлорування.

Фінальна промивка: Після дезінфекції мережа промивається чистою водою до зникнення різкого запаху хлору (залишковий хлор 0,3–0,5 мг/дм³).

Аналіз: Бактеріологічна лабораторія підприємства відбирає проби води для аналізу. Дозвіл на пуск в експлуатацію надається лише при отриманні задовільних результатів (відсутність коліформних бактерій, індекс E.coli — відсутність).

Таблиця 7.2 – Потреба в реагентах для дезінфекції (розрахункова)

Діаметр труби, мм	Об'єм води в 1 км труби, м ³	Кількість активного хлору на 1 км (при дозі 100 г/м ³), кг	Кількість гіпохлориту натрію (при концентрації 5 г/л), л
110	9,5	0,95	190
160	20,1	2,01	402
225	39,7	3,97	794
315	77,9	7,79	1558

8.1 Аналіз умов праці та ідентифікація небезпечних виробничих факторів

Згідно з ГОСТ 12.0.003-74, виробничі процеси на об'єктах водопостачання м. Бурштин (водозабори «Корчева», «Коростовичі», станція знезалізнення, насосні станції, мережі) супроводжуються впливом низки небезпечних та шкідливих факторів.

Фізичні небезпечні фактори

Рухомі частини машин і механізмів.

На насосних станціях II підйому та водозаборах експлуатуються потужні насосні агрегати (Д 315-75, Д 300-65, ЗВ 200-2) з електродвигунами потужністю 90-125 кВт. Основним джерелом механічної небезпеки є обертові елементи: вали, муфтові з'єднання насоса з двигуном, а також робочі колеса вентиляторів охолодження. Відсутність або пошкодження захисних кожухів на муфтах може призвести до захоплення одягу або частин тіла персоналу.

Підвищена напруга в електричному ланцюзі.

Експлуатація електрообладнання (насоси, електролізна установка «Полум'я-2», шафи управління, частотні перетворювачі) відбувається в умовах підвищеної вологості, що характерно для водопровідних споруд. Напруга живлення основних агрегатів становить 380 В. Замикання фази на корпус при пошкодженні ізоляції створює безпосередню загрозу ураження електричним струмом. Особливу увагу слід приділити впровадженню частотно-регульованих приводів (ЧРП), які мають конденсатори великої ємності, що зберігають небезпечний заряд навіть після відключення мережі.

Технологічний процес передбачає обслуговування висотних споруд:

Водонапірна вежа: Висота конструкції становить 40 м, загальна висота з баком — до 60 м. Роботи з огляду, ремонту бака або обслуговування датчиків рівня відносяться до верхолазних робіт.

Градирні: Дерев'яні короби розміром 8х4х4 м потребують періодичного очищення розподільчих лотків та заміни насадок на висоті понад 1,3 м, що створює ризик падіння.

Підвищений рівень шуму та вібрації.

Робота насосних агрегатів (особливо типу Д та ЗВ) генерує аеродинамічний та структурний шум. Рівень шуму в машинному залі може перевищувати гранично допустимий рівень (80 дБА), що при тривалій дії викликає втому оператора, зниження концентрації уваги та професійні захворювання органів слуху.

8.2 Хімічні та біологічні фактори

Хімічні речовини.

Для знезараження води на ВОС використовується гіпохлорит натрію, який виробляється на місці електролізною установкою «Полум'я-2» з розчину кухонної солі.

Гіпохлорит натрію (NaOCl): Корозійно-активна речовина, окислювач. При потраплянні на шкіру та слизові оболонки викликає хімічні опіки.

Водень (H₂): Побічний продукт електролізу. При недостатній вентиляції електролізної може накопичуватися у верхній зоні приміщення, утворюючи вибухонебезпечну суміш.

Біологічні фактори.

Під час ремонту фільтрів, чищення резервуарів чистої води (РЧВ) та ліквідації поривів на мережах персонал може контактувати з біологічним мулом, осадом гідроксиду заліза та біоплівкою. Хоча вода з підземних джерел «Корчева» та «Коростовичі» є відносно безпечною, концентрація заліза (до 12 мг/дм³) сприяє розвитку залізобактерій, а осад у фільтрах є середовищем для розвитку мікроорганізмів.

8.3 Психофізіологічні фактори

Робота оперативного персоналу (диспетчерів, машиністів) характеризується нервово-емоційним напруженням через високу відповідальність за безперебійне водопостачання та необхідність швидкого реагування на аварії (наприклад, зупинка насосів через знеструмлення).

Впровадження системи SCADA змінює характер праці, збільшуючи навантаження на зоровий аналізатор через роботу з моніторами.

Таблиця 8.1 – Карта ідентифікації ризиків на об'єктах КП «Житловик»

Локація / Процес	Небезпечний фактор	Характер дії
Насосна станція II підйому	Рухомі частини, шум, електрострум (380В)	Механічні травми, ураження струмом, профзахворювання
Електролізна «Полум'я-2»	Хімічні опіки (гіпохлорит), вибух (водень)	Хімічне ураження, термічні опіки
Водонапірна вежа (40м)	Падіння з висоти	Травми, несумісні з життям
Ремонт мережі (траншеї)	Обвал ґрунту, наїзд техніки	Механічні травми, асфіксія
Приміщення ВОС	Підвищена вологість	Електробезпека, захворювання дихальних шляхів

8.4 Безпека при модернізації та експлуатації водопровідної мережі

Проект передбачає заміну зношених сталевих та чавунних труб на поліетиленові (ПНД), що вимагає проведення земляних робіт.

Земляні роботи:

Перед початком розриття траншей необхідно отримати письмовий дозвіл на виконання земляних робіт, уточнити наявність підземних комунікацій (кабелі, газопроводи).

Враховуючи геологічні умови Бурштина (суглинки, мергелі), стінки траншей глибиною понад 1,25 м повинні бути укріплені інвентарними щитами або виконуватися з укосами, кут яких відповідає типу ґрунту, для запобігання обвалів.

Місця проведення робіт огорожуються сигнальною стрічкою та знаками безпеки. У нічний час встановлюється сигнальне освітлення напругою не вище 42 В.

Спуск працівників у траншеї дозволяється лише по спеціальних драбинах.

Монтаж трубопроводів ПНД:

Використання поліетиленових труб ¹ значно покращує умови праці порівняно зі сталевими трубами, оскільки відпадає потреба у важких зварювальних роботах та нанесенні бітумної ізоляції (канцерогенний фактор).

Зварювання труб ПНД встик повинно виконуватися атестованим персоналом. Зварювальний апарат повинен бути заземлений (занулений) та підключений через пристрій захисного відключення (ПЗВ), оскільки роботи часто проводяться у вологому середовищі котловану.

При використанні механічних торцювачів необхідно дотримуватись обережності, уникаючи контакту рук з ріжучими елементами.

Охорона праці на водоочисних спорудах та насосних станціях

Електробезпека:

Відповідно до ПУЕ, приміщення насосних станцій та фільтрувальних залів класифікуються як особливо небезпечні через наявність струмопровідних підлог (плитка, бетон) та високої вологості.

Заземлення: Усі металеві неструмоведучі частини обладнання (корпуси насосів, щитів, станини фільтрів) підлягають захисному заземленню. Опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

Система зрівнювання потенціалів: Усі металеві конструкції та трубопроводи об'єднуються у єдиний контур.

Частотні перетворювачі: При обслуговуванні шаф управління з ЧРП забороняється торкатися струмоведучих частин протягом 10 хвилин після відключення живлення до повного розряду конденсаторів. На дверцятах шаф повинні бути попереджувальні знаки.

Безпека при роботі з хімічними реагентами (Електролізна):

Вентиляція: Приміщення електролізної установки «Полум'я-2» повинно бути обладнане окремою примусовою припливно-витяжною вентиляцією для видалення водню. Кратність повітрообміну розраховується на недопущення концентрації водню вище 0,4% (10% від нижньої межі вибуховості).

ЗІЗ: Персонал, що працює з сіллю та гіпохлоритом, забезпечується респираторами, захисними окулярами, гумовими рукавицями та фартухами.

Автоматизація: Процес дозування гіпохлориту повинен бути автоматизований для мінімізації контакту персоналу з реагентом.

Безпека робіт на висоті та у замкнених просторах:

Водонапірна вежа: Доступ на вежу дозволяється лише персоналу, що пройшов медичний огляд та спеціальне навчання. Драхини вежі повинні мати захисне дугове огороження. Люки резервуарів та бака вежі повинні замикатися.

Резервуари чистої води (РЧВ): Роботи з очищення та дезінфекції РЧВ виконуються за нарядом-допуском бригадою не менше 3 осіб (один працює, двоє страхують зверху). Перед спуском проводиться аналіз повітря на відсутність шкідливих газів. Працівники використовують запобіжні пояси з мотузкою та, за необхідності, шлангові протигази.

Виробнича санітарія

Мікроклімат:

Для створення нормативних умов праці (температура 18-23°C, вологість 40-60%) у приміщеннях операторських та диспетчерських пунктів встановлюються системи кондиціонування. У машинних залах та на ВОС, де наявні відкриті дзеркала води (фільтри, градирні), передбачається механічна вентиляція для боротьби з надлишковою вологістю та пліснявою.

Освітлення:

Проектується комбіноване освітлення. Робоче освітлення в залах фільтрів та насосних має становити не менше 200 лк (використання вологозахисених LED-світильників). Для безпечного обслуговування зовнішніх споруд (відстійники, територія вежі) у нічний час передбачається прожекторне освітлення території.

Захист від шуму:

Оскільки насоси Д 315-75 та ЗВ 200-2 є джерелами значного шуму, передбачаються заходи:

Встановлення насосів на віброізолюючі основи.

Використання гнучких вставок на трубопроводах для запобігання передачі вібрації.

Звукоізоляція операторських приміщень (використання склопакетів, звукопоглинальних матеріалів).

Забезпечення персоналу протишумовими навушниками.

Пожежна безпека

Організація пожежної безпеки на об'єкті здійснюється відповідно до Кодексу цивільного захисту України та НАПБ А.01.001-2014.

Категорювання приміщень:

Насосні станції (перекачування холодної води) — категорія Д.

Електрощитові, склади реагентів — категорія В.

Електролізна (можливе виділення водню) — категорія А (вибухопожежонебезпечна). Це вимагає використання іскробезпечного інструменту, вибухозахищеного електрообладнання та влаштування легкоскридних конструкцій.

Засоби пожежогасіння:

Об'єкти комплектуються первинними засобами пожежогасіння:

Вуглекислотні вогнегасники (ВВК-3.5) — для гасіння електроустановок (щитові, двигуни).

Порошкові вогнегасники (ВП-5, ВП-9) — для загальних приміщень.

Пожежні щити з інвентарем (лом, багор, кошма, пісок).

Внутрішній протипожежний водопровід у виробничих будівлях.

Важливим елементом пожежної безпеки міста є забезпечення працездатності насосів ЗВ 200-2 (пожежних), які повинні мати незалежне електроживлення або автоматичне включення резерву (АВР) для гарантованої подачі води на пожежогасіння.

Безпека в надзвичайних ситуаціях

Для системи водопостачання м. Бурштин характерні такі потенційні аварійні ситуації:

Раптове знеструмлення насосних станцій: Призводить до зупинки насосів і виникнення гідравлічного удару, здатного зруйнувати трубопроводи та арматуру.

Заходи безпеки: Встановлення зворотних клапанів, вантузів для впуску/випуску повітря, використання ЧРП з функцією плавного пуску/зупинки.

Витік гіпохлориту натрію:

Дії: Локалізація розливу піском або землею. Нейтралізація розчином сульфіту або тіосульфату натрію. Персонал працює у захисних костюмах та протигазах.

Затоплення машинного залу:

Заходи: Електродвигуни насосів встановлюються на фундаменти висотою не менше 0,5 м від підлоги. Обладнання приямків автоматичними дренажними насосами.

Розрахунок блискавкозахисту водонапірної вежі

Водонапірна вежа висотою 40 м є висотним об'єктом, що підлягає обов'язковому захисту від прямих ударів блискавки згідно з ДСТУ EN 62305.

Враховуючи висоту об'єкта ($h = 40$ м) та його розташування, вежа відноситься до III рівня блискавкозахисту.

Як блискавкоприймач використовується металевий корпус бака (при забезпеченні електричної безперервності) або встановлюється стрижневий блискавкоприймач на вершині покрівлі бака. Струмівідводом слугує металева арматура опори або спеціально прокладений провідник. Заземлювач виконується у вигляді контуру навколо фундаменту вежі. Імпульсний опір заземлювача не повинен перевищувати 10 Ом. Щорічно перед початком грозового сезону проводиться ревізія з'єднань та вимірювання опору розтікання струму

- Констатація системної кризи: Дипломна робота підтверджує, що система централізованого водопостачання міста Бурштин, як і більшість аналогічних систем в Україні, перебуває у глибокій системній кризі. Це проявляється у критичному рівні зношеності основних фондів (близько 47% мереж відпрацювали свій ресурс), низькій енергоефективності та технологічній відсталості, що унеможлиблює дотримання сучасних національних (ДСанПіН 2.2.4-171-10) та європейських (Директива ЄС 2020/2184) стандартів якості питної води.
- Обґрунтованість методології: Для вирішення поставлених завдань було застосовано комплексний та сучасний інженерний підхід. Ключовим інструментом аналізу стало створення та калібрування гідравлічної моделі водопровідної мережі в програмному комплексі EPANET 2.2. Цей метод дозволив не лише діагностувати "вузькі місця" існуючої системи, але й з високою точністю симулювати та порівнювати різні сценарії її майбутньої модернізації, що є доказовою основою для прийняття інвестиційних рішень.
- Аналіз альтернативних сценаріїв: У роботі було детально проаналізовано чотири варіанти модернізації, що базувалися на двох фундаментальних моделях: традиційній гравітаційній системі з водонапірними вежами та сучасній системі прямого перекачування з частотно-регульованими приводами (ЧРП). Моделювання показало суттєві недоліки альтернативних варіантів:
 - Часткова реконструкція (Варіант 4) є економічно не вигідною в довгостроковій перспективі через найвищі експлуатаційні витрати та вартість життєвого циклу (LCC).
 - Система з однією вежею (Варіант 1) та система з ЧРП (Варіант 3) не вирішують проблему надлишкового тиску в мережі в нічні години, що підвищує ризики аварій та невиробничих втрат води. Окрім того, варіант з ЧРП характеризується повною залежністю від стабільності електропостачання та вищими експлуатаційними витратами.

- Визначення оптимальної стратегії: На основі техніко-економічного порівняння, що враховувало капітальні (CAPEX), операційні (OPEX) витрати та вартість життєвого циклу (LCC), оптимальним визнано Варіант 2. Цей сценарій передбачає повну заміну розподільчої мережі на сучасні труби з поліетилену високої щільності (ПНД) та будівництво другої, проектної водонапірної вежі. Незважаючи на найвищі початкові капіталовкладення, цей варіант забезпечує найвищий рівень технічної надійності, оптимальне управління тиском у всіх режимах експлуатації та є найкращою довгостроковою інвестицією в сталий розвиток інфраструктури міста.
- Практична цінність та наукова новизна: Практичне значення роботи полягає у розробці готового техніко-економічного обґрунтування, яке може бути використане комунальним підприємством "Житловик" для залучення фінансування від національних та міжнародних інституцій. Наукова новизна полягає в комплексному застосуванні сучасних методів моделювання та аналізу вартості життєвого циклу для розробки відтворюваної, науково обґрунтованої стратегії модернізації для типової зношеної муніципальної системи водопостачання в Україні, що робить результати роботи релевантними для багатьох інших громад країни.

1. Директива 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики»;
2. Директива Ради 2020/2184/ЄС від 16 грудня 2020 року «Про якість води, призначеної для споживання людиною»;
3. Посібник із планування забезпечення безпечності води. Покрокові рекомендації з управління ризиками для надавачів послуг із постачання питної води Друге видання.
4. Посібник "Розрахунок водопровідних мереж" Н.Н. Абрамова 1983 р.
5. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування.
6. ДБН а.2.2-1:2021 Склад та зміст матеріалів ;з оцінки впливу на довкілля (ОВД)
7. ДБН б.2.2-12:2019 планування і забудова територій;
8. ДБН Б.1.1-15:2012 Склад та зміст генерального плану населеного пункту;
9. ДБН В.1.1-46:2017 "Інженерний захист територій, будинків і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення";
10. Закон України "Про питну воду та питне водопостачання" від 10.01.2002 № 2918-ііі;
11. ДБН В.2.4-3:2010 Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення
12. Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення: Закон України від 10.01.2002 № 2918-ІІІ. URL:(<https://ips.ligazakon.net/document/T022918>) (дата звернення: 20.09.2025).
13. Державні санітарні норми та правила ДСанПіН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною". Затверджено Наказом МОЗ України від 12.05.2010 № 400. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (дата звернення: 20.09.2025).
14. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Затверджено Наказом Мінрегіону України від 08.04.2013 № 133. Київ: Мінрегіон України, 2013.
15. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*, L 327, 22.12.2000, pp. 1–73.
16. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast). *Official Journal of the European Union*, L 435, 23.12.2020, pp. 1–62.
17. Абрамов Н.Н. Расчет водопроводных сетей: Учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Стройиздат, 1983. 184 с.

18. Rossman, L. A. (2000). *EPANET 2 Users Manual*. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH, EPA/600/R-00/057.
19. Lambert, A., & Taylor, R. (2010). *Water Loss Guidelines*. IWA Publishing.
20. Farley, M., & Trow, S. (2003). *Losses in Water Distribution Networks: A Practitioner's Guide to Assessment, Monitoring and Control*. IWA Publishing.
21. Colombo, A. F., & Karney, B. W. (2002). Energy and costs of leaky pipes: toward a sensible loss reduction strategy. *Water management*, 155(2), 76-82.
22. Впровадження програмно-апаратного комплексу SCADA на насосних станціях водопостачання. *Конференція молодих науковців*, Вінницький національний технічний університет, 2025. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/23041/19078> (дата звернення: 20.09.2025).
23. ГІС: нові технології для ефективної роботи. *Київводоканал*. URL: <https://www.vodokanal.kiev.ua/news/gis-novi-texnologii-dlya-efektivnoi-roboty/> (дата звернення: 20.09.2025).
24. WL Plastics. (n.d.). *Top 10 Advantages of HDPE Pipe for Industrial Applications*. Retrieved from <https://www.wlplastics.com/top-10-advantages-of-hdpe-pipe-for-industrial-applications> (accessed 20.09.2025).
25. Grayman, W. M., Murray, R., & Savic, D. A. (2019). A comprehensive review of the state-of-the-art in the application of district metered areas. *Water*, 12(4), 1002.
26. Bentley Systems. (2004). *SCADA and Related Technologies for Drinking Water Systems*. Retrieved from(<https://www.uky.edu/WDST/SCADA.html>) (accessed 20.09.2025).
27. КР_Перегінчук_Пояснювальна_записка.docx
28. Drinking water — essential quality standards | EUR-Lex - European Union, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/drinking-water-essential-quality-standards.html>
29. Про питну воду та питне водопостачання від 10.01.2002 | LIGA ..., доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://ips.ligazakon.net/document/T022918>
30. ЗАКОН УКРАЇНИ, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ukr61613.pdf>
31. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною - БУДСТАНДАРТ Online, доступ отримано жовтня 17, 2025, https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=27272
32. Гігієна води. Вимоги до реалізації фасованої питної води, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://dp.dpss.gov.ua/news/hihiiena-vody-vymohy-do-realizatsii-fasovanoi-pytnoi-vody>

33. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. ДБН В.2.5-74:2013. Зі Зміною N 1 від 08.04.2013 | LIGA:ZAKON, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://ips.ligazakon.net/document/DBN00084>
34. ДБН В.2.5-74:2013 "Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування" №ДБН В.2.5-74:2013 - Портал Єдиної державної електронної системи у сфері будівництва, доступ отримано жовтня 17, 2025, https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3307711387089765865?doc_type=2
35. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Зі Зміною № 1 - БУДСТАНДАРТ Online, доступ отримано жовтня 17, 2025, https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=54058
36. Згідно: Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні ..., доступ отримано жовтня 17, 2025, <http://kpvkhichen.in.ua/tysk.pdf>
37. Директива - 2000/60 - BG - EUR-Lex - Europa.eu, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj?locale=bg>
38. Директива - 2000/60 - EN - EUR-Lex - European Union, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/BG/ALL/?uri=CELEX%3A32000L0060>
39. Water Framework Directive - Wikipedia, доступ отримано жовтня 17, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Water_Framework_Directive
40. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council (without Annexes) - Legislation.gov.uk, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://www.legislation.gov.uk/eudr/2020/2184/body>
41. Drinking Water Directive 2020 - Wikipedia, доступ отримано жовтня 17, 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Drinking_Water_Directive_2020
42. From source to tap - new EU drinking water directive commits the entire supply chain, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://www.aqua-free.com/en/magazine/from-source-to-tap-new-eu-drinking-water-directive-commits-the-entire-supply-chain>
43. DIRECTIVES - EUR-Lex - European Union, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184>
44. Water quality for citizen confidence: The implementation process of 2020 EU Drinking Water Directive in Nordic countries - IWA Publishing, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://iwaponline.com/wp/article/26/8/793/103671/Water-quality-for-citizen-confidence-The>
45. Understanding Water Age in Distribution Systems With EPANET - PMC, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10395319/>
46. EPANET 2 Users Manual - MicroImages, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://microimages.com/documentation/Tutorials/Epanet2UserManual.pdf>

47. EPANET 2.2 Updates (TXT), доступ отримано жовтня 17, 2025,
https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-08/epanet2.2_updates_0.txt
48. ГІС: нові технології для ефективної ... - ПрАТ АК Київводоканал, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://www.vodokanal.kiev.ua/news/gis-novi-texnologii-dlya-efektivnoi-roboty/>
49. ГІС для водопостачання - PortalGIS, доступ отримано жовтня 17, 2025,
<https://portalgis.pro/geoinformacijni-systemy/gis-dlya-vodopostachannya-navychky-ta-instrumenty-dlya-keruvannya-komunalnoyu-merezheju-v-arctgis-utility-network/>
50. Впровадження програмного комплексу для водоканалу в м. Нікополь (1-ий етап), доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://onova.org.ua/projects/vprovadzhennia-prohramnoho-kompleksu-dlia-vodokanaluv-m-nikopol>
51. Top 10 Advantages of HDPE Pipes for Industrial Use - WL Plastics, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://www.wlplastics.com/top-10-advantages-of-hdpe-pipe-for-industrial-applications>
52. Why is Water Conservation Important: The Role of HDPE Pipes - AGRU America, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://agruamerica.com/why-is-water-conservation-important-the-role-of-hdpe-pipes/>
53. Key Advantages of HDPE Piping in Water Treatment Facilities - Coastal Resource Group, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://www.coastalgrp.com/benefits-of-hdpe-piping-systems-for-water-treatment-operations/>
54. HDPE Fittings for Water Management: Benefits & Applications - Anaconda Pipe And Hose, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://anacondapipelineandhose.com/hdpe-pipe/comprehensive-guide-to-hdpe-fittings-for-water-systems/>
55. ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗТРАНШЕЙНОЇ РЕНОВАЦІЇ ТРУБОПРОВІДНИХ, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://pdogf.com.ua/en/article/read/tekhnologiyi-beztransheynoyi-renovatsiyi-truboprovidnikh-sistem>
56. Безтраншейне прокладання каналізації - ТзОВ “ЗахідБурІнвест”, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://burinvest.com.ua/services/beztranshejna-prokladka-kanalizatsii/>
57. МЕТОДИ ВІДНОВЛЕННЯ ВОДОПРОВІДНИХ ТРУБОПРОВІДІВ Т. О. ШЕВЧЕНКО, канд. т, доступ отримано жовтня 17, 2025,
<https://ojs.kname.edu.ua/index.php/area/article/download/2607/2478/>
58. Non-revenue water - Wikipedia, доступ отримано жовтня 17, 2025,
https://en.wikipedia.org/wiki/Non-revenue_water
59. Using The IWA Water Balance To Understand Your Water Loss - Aqua Analytics, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://aquaanalytics.com.au/resources/using-the-iwa-water-balance-to-understand-your-water-loss/>

60. Performance-Based Contracts for Non-Revenue Water Management, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://www.iwa-network.org/our-work/performance-based-contracts-for-non-revenue-water-market-development>
61. DMA - YouTube, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=8Qu0ytHSh7I>
62. district metered areas for water loss management in distribution systems - Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://sigma.yildiz.edu.tr/storage/upload/pdfs/1629796292-en.pdf>
63. Managing leakage by District Metered Areas: a practical approach -.: GEOCITIES.ws :., доступ отримано жовтня 17, 2025, http://www.geocities.ws/kikory2004/39_Water21_5th_article_DMA.pdf
64. Water Network Partitioning into District Metered Areas: A State-Of-The-Art Review - MDPI, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/4/1002>
65. Проект розпорядження КМУ "Про схвалення Концепції Державної цільової економічної програми енергетичної модернізації підприємств, доступ отримано жовтня 17, 2025, https://mindev.gov.ua/storage/app/imported_content/66bb542f75e4f.docx
66. Енергозберігаючі технології в системах водопостачання, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/01/96.pdf>
67. Оптимізація енергоспоживання електроприводів насосних ..., доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/view/23041/19078>
68. Water Distribution System Operation - University of Kentucky, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://www.uky.edu/WDST/SCADA.html>
69. SCADA vs. Traditional Control Systems in Water Treatment - Walchem, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://www.walchem.com/scada-vs-traditional-control-systems/>
70. A Simple Guide to Understanding SCADA for Water Systems - eLynx Technologies, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://water.elynxtech.com/post/a-simple-guide-to-understanding-scada-for-water-systems>
71. 5 Benefits of integrating SCADA in Water Supply Systems, доступ отримано жовтня 17, 2025, <https://water-stats.us/top-5-benefits-of-integrating-scada-into-your-water-supply-system/>
72. СХВАЛІЕНО розпорядженням Кабінету Міністрів України від 2025 ..., доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://mindev.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/11-koncepcija-socvoda.pdf>
73. EPANET 2.2 User Manual | US EPA, доступ отримано жовтня 23, 2025, https://19january2021snapshot.epa.gov/sites/static/files/2020-05/documents/epanet_userss_manual_2.2.0.pdf

74. Disclaimer — EPANET 2.2 documentation - GitHub Pages, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://usepa.github.io/EPANET2.2/>
75. What are the advantages of having a water tower over just using ..., доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://www.quora.com/What-are-the-advantages-of-having-a-water-tower-over-just-using-electric-pumps-directly-for-water-distribution>
76. The No-Nonsense Guide to Identifying Your Water System | PlumbHQ Hub, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://plumbhq.uk/a/central/articles/the-no-nonsense-guide-to-identifying-your-water-system>
77. Exploring Gravity-Fed Water and Pressurized Water Tanks and Towers, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://www.cunninghaminc.org/exploring-gravity-fed-water-and-pressurized-water-tanks-and-towers/>
78. Disinfection Byproducts—Chlorination of Drinking Water | Washington State Department of Health, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://doh.wa.gov/community-and-environment/drinking-water/disinfection/disinfection-byproducts>
79. Distribution System Water Quality Protecting Water Quality Through Water Age Management - EPA, доступ отримано жовтня 23, 2025, https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-04/ds-toolbox-fact-sheets_water-age-mgt_final-508_revised.pdf
80. Understanding Disinfection Byproducts in Drinking Water - Environmental Working Group, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://www.ewg.org/news-insights/news/2025/03/what-are-disinfection-byproducts>
81. Comparing VFDs & On-Off Controlled Pumps, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://www.pumpsandsystems.com/comparing-vfds-controlled-pumps>
82. Advantages and Disadvantages of VFDs | Specific Energy, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://www.specificeenergy.com/blog-posts/adv-and-disadv-flds.html>
83. Should I Put My Pump On a Variable Frequency System?, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://oakvillepump.com/blog/2020/6/3/should-i-put-a-variable-frequency-or-constant-pressure-pump-system-in>
84. 2022 Hydro MPC-E 2CRE 20-2 3x208-230V 99863846 - Grundfos Product Selection Portal, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://www.gogrundfos.com/2022-hydro-mpc-e/2cre-20-2-3x208-230v-99863846>
85. Насосна станція Grundfos Hydro MPC-E 2 CRE 10-6 (91048964 ..., доступ отримано жовтня 23, 2025, https://vik-21.com.ua/ua/catalog/nasosnye_stantsii_hydro_mpc_e/nasosnaya_stantsiya_grundfos_hydro_mpc_e_2_cre_10_6/

86. GRUNDFOS HYDRO MPC-E-95055295-MPCE-CRE10-4-3X208-230 - Hurley Engineering, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://www.hurleyengineering.com/grundfos-hydro-mpce-95055295-mpce-cre10-3x208-230-14>
87. 2022 Hydro MPC-E 3CRE 64-2-1 3x460V 99864024, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://www.gogrundfos.com/2022-hydro-mpc-e/3cre-64-2-1-3x460v-99864024>
88. Hydro MPC-E 3 CRIE 20-4 - 99166938 - Grundfos Product Center, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://product-selection.grundfos.com/ua/products/hydro-mpc/hydro-mpc-e/hydro-mpc-e-3-crie-20-4-99166938>
89. Як працює редуційний клапан - Знання - FOREDE, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://ua.foredesecurity.com/info/how-does-the-pressure-reducing-valve-works-87310606.html>
90. Prescor PRV - Редуктори тиску Prescor PRV | Flamco, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://flamco.aalberts-hfc.com/ua/catalog/produkti-dla-sanitarnoi-vodi/reduktori-tisku-prescor-prv/prescor-prv/groups/g+c+p+view>
91. Редуційний клапан ADCA PRV57 / PRS57 прямої дії з пілотним управлінням, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://primatrading.com.ua/product/pilot-operated-pressure-reducing-valves-adca-prv57-prs57>
92. Користувач Як працює редуційний клапан? - Знання, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://ua.yanhuihydrauliccomponents.com/info/user-how-does-a-pressure-reducing-valve-work-93308187.html>
93. Що таке редуційний клапан - Знання - FOREDE, доступ отримано жовтня 23, 2025, <https://ua.foredesecurity.com/info/what-is-the-pressure-reducing-valve-87310610.html>
94. Другий Проект Розвитку Міської Інфраструктури (ПРМІ-2) Скорочений План Дій з Переселення - КП "Коломияводоканал", доступ отримано жовтня 23, 2025, https://kpvodokanal.if.ua/wp-content/uploads/2020/07/UIP2_ARAP_ukr_publication.pdf
95. Як працює оцінка впливу на довкілля, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://yavorpark.in.ua/oczinka-vplyvu-na-dovkillya-2/>
96. Оцінка впливу на довкілля (ОВД), доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://environmentallab.com.ua/uk/services/oczinka-vplyvu-na-dovkillya-ovd/>
97. Оцінка впливу на довкілля (ОВД) та звіт | Ukrgeorozvidka, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://ukrgeorozvidka.com.ua/services/oczinka-vplyvu-na-dovkillya/>
98. Порядок отримання висновку з оцінки впливу на довкілля - як ..., доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://prikhodko.com.ua/my-i-zmi/my-i-zmi/stattya/poryadok-otrymannya-vysnovku-z-oczinky-vplyvu-na-dovkillya-yak-otrymaty-zvit-z-ovd-v-ukrayini-2/>

99. Висновок з оцінки впливу на довкілля планової діяльності “Зміна цільового призначення земель сільськогосподарського призначення на, доступ отримано жовтня 24, 2025, https://obcity.gov.ua/drupal/uploads/2024/04/visnovok_5694.pdf
100. Decrease Your Construction Environmental Impact | Blog, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://thompsoncontractor.com/blog/ways-to-decrease-your-environmental-impact-in-the-construction-industry/>
101. The Environmental Impacts of Construction Projects and the Next Steps Forward for the Industry, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://esub.com/blog/environmental-impacts-of-construction-projects>
102. Будівельні матеріали та екологія: вплив, стандарти, перспективи - ПІК ПК, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://pic-pk.ua/budivelni-materialy-ta-ekologiya-ta-vplyv-standarty-perspektyvy/>
103. How Does Construction Affect The Environment - Oizom, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://oizom.com/how-does-construction-affect-the-environment/>
104. Evaluating Environmental Risks in Construction Projects, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://www.kowbc.com/post/evaluating-environmental-risks-in-construction-projects>
105. Everything to Know about Environmental Risk - Mastt, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://www.mastt.com/risks/environmental-risk>
106. CONSTRUCTION IMPACTS AND MITIGATION ... - King County, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://your.kingcounty.gov/dnrp/library/wastewater/wtd/construction/Planning/RWSP/FEIS/chap11.pdf>
107. Mitigating environmental risk in construction - WTW, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://www.wtwco.com/en-hk/insights/2024/09/mitigating-environmental-risk-in-construction>
108. How To Reduce Environmental Impact In Construction | Anthesis Group, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://www.anthesisgroup.com/insights/environmental-impacts-of-construction/>
109. Звіт РП від 28.09.21 №21-3 - Рахункова палата, доступ отримано жовтня 24, 2025, https://rp.gov.ua/upload-files/Activity/Collegium/2021/21-3_2021/Zvit_21-3_2021.pdf
110. Індустріальні парки та Оцінка впливу на довкілля - Екологічний досвід, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://ecoexp.dp.ua/2025/industrialni-parky-ta-ocinka-vplyvu-na-dovkillya/>
111. 8 methods to reduce the environmental impacts of construction sites, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://www.converge.io/blog/environmental-impacts-of-construction>
112. Mitigation Measures - Environmental Protection Department, доступ отримано жовтня 24, 2025,

- https://www.epd.gov.hk/epd/misc/construction_noise/contents/index.php/en/home2/mitigation-measures.html
113. Construction Communities: The Social Impact of Construction Projects on Local Areas, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://essentialsiteskills.co.uk/blog/post/social-impact-construction-projects>
114. КОНЦЕПЦІЯ ІНДУСТРІАЛЬНОГО ПАРКУ «СМІЛА», доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://me.gov.ua/download/837dd0e1-2126-4be0-98d9-4c64a88242e1/file.pdf>
115. Звіт з екологічного аудиту Складання та допомога - inseinin, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://inseinin.com.ua/tpost/fsshvt7gr1-zvt-z-ekologchnogo-auditu-skladannya-ta>
116. Звіт про результати аудиту ефективності виконання заходів із зменшення обсягів викидів парникових газів - Рахункова палата, доступ отримано жовтня 24, 2025, https://rp.gov.ua/upload-files/Activity/Collegium/2022/18-2_2022/Zvit_18-2_2022.pdf
117. Briefly explain community impact from industrial development ..., доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://hellolandmark.com/briefly-explain-community-impact-from-industrial-development/>
118. How Construction Can Positively Impact Communities, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://www.jschmitt.cc/blog/the-impact-of-construction-on-communities/>
119. The Economic Impact of Construction on Local Communities - inBuild, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://www.inbuild.ai/posts/impact-of-construction-on-communities>
120. The Positive Social and Economic Impacts of ... - America Place, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://www.americaplace.com/post/the-positive-social-and-economic-impacts-of-commercial-development-in-communities>
121. Як індустріальний парк може забезпечити громаді успішний ..., доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://www.prostir.ua/?news=yak-industrialnyj-park-mozhe-zabezpechyty-hromadi-uspishnyj-rozvytok-i-dobrobut-meshkantsyam>
122. Індустріальні парки як інструмент розбудови регіональної економіки: ретроспектива та проблеми розвитку - Регіональна економіка, доступ отримано жовтня 24, 2025, https://re.gov.ua/re202501/re202501_028_DavymukaSA.pdf
123. ReBuild Ukraine | 13-14 листопада 2025, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://rebuildukraine.in.ua/>
124. Місцевий економічний розвиток: чому важливо розвивати інфраструктуру, доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://www.prostir.ua/?library=mistsevyj-ekonomichnyj-rozvytok-chomu-vazhlyvo-rozvyvaty-infrastrukturu>
125. Співробітництво територіальних громад. Що важливо врахувати ..., доступ отримано жовтня 24, 2025, <https://decide.in.ua/spivrobotnyctvo-terytorialnyh-gromad-shho-vazhlyvo-vrahuvaty/>

126. Проектні пропозиції громад - Чому Луганська область?, доступ отримано жовтня 24, 2025,
https://i-lug.gov.ua/international_technical_assistance/project-proposal
127. Новини Львова: ДФРР профінансує 7 проектів на Львівщині у ..., доступ отримано жовтня 24, 2025,
https://galinfo.com.ua/news/dfrr_profinansuie_7_proiektiv_na_lvivshchyni_u_2025_rotsi_440857.html
128. ПЛАНУВАННЯ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД - Асоціація міст України, доступ отримано жовтня 24, 2025,
<https://www.auc.org.ua/sites/default/files/library/1plangrweb.pdf>
- Why Social Impact Matters | PMI, доступ отримано жовтня 24, 2025,
<https://www.pmi.org/learning/library/pulse-indepth-4-why-social-impact-matters-12358>