

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНИ
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

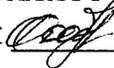
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

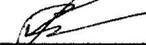
магістра

**на тему: «РЕКОНСТРУКЦІЯ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВОДИ ЗА
КРИТЕРІЄМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ»**

Виконала: магістрант(ка) 2 курсу, група 8.1922-вв-з
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Водопостачання та
водовідведення»

ЄРОФЄЄВ СЕРГІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

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

Рецензент: професор кафедри промислового та цивільно-
го будівництва, докт. техн. наук  В. А. Банах

Запоріжжя
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра _____ міського будівництва і архітектури _____
Рівень вищої освіти _____ магістр _____
Спеціальність _____ 192 Будівництво та цивільна інженерія _____
Освітньо-професійна програма _____ водопостачання та водовідведення _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____



« 03 » _____ травня _____ 2023 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

_____ Єрофееву Сергію Анатолійовичу _____

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Реконструкція мережі транспортування води за критерієм енергоефективності

2. Строк подання роботи: _____ 05.12.2023 _____

3. Вихідні дані до роботи: Схема водопровідної мережі (додаток), мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень, очікувані методи виконання досліджень

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Аналіз особливостей експлуатації мереж транспортування води. 1.1 Експлуатація та утримання мереж транспортування води в умовах війни. 1.2 Водопровідні мережі як найбільш енергомісткий елемент системи водопостачання. 1.3 Види робіт для реконструкції та відновлення мереж транспортування води. 1.4 Аналіз новітніх технологій для реконструкції мереж транспортування води. 1.5 Задачі кваліфікаційної роботи. 2. Методика дослідження 2.1 Вибір об'єктів для дослідження та формування вихідних даних. 2.2 Моделювання зміни умов водоспоживання. 2.3 Аналіз зміни гідравлічних характеристик мережі з урахуванням пропускної здатності окремих ділянок. 3. Оцінка впливу пропускної здатності ділянок на динаміку напорів в мережі. 3.1 Результати попередніх гідравлічних розрахунків водопровідної мережі. 3.2 Визначення п'єзометричних позначок та вільних напорів у вузлах мережі. 3.3 Вплив зміни пропускної здатності окремих ділянок на величину зон недостатнього напору. 3.4 Аналіз гідравлічних характеристик мережі після реконструкції окремих ділянок. 4. Техніко-економічне обґрунтування. 4.1 Розрахунок техніко-економічних витрат з урахуванням заміни

насосного обладнання. 4.2 Розрахунок техніко-економічних витрат з урахуванням реконструкції водопровідної мережі. Висновки.

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

.1П'єзометрична карта вихідної мережі. 2,3 Моделювання пропускні здатності ділянок.4,5. П'єзометрична карти після 10,30 років експлуатації мрежі. 6. Зони тисків.7. П'єзометрична карта з урахуванням реконструкції. 8. Економічні показники.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

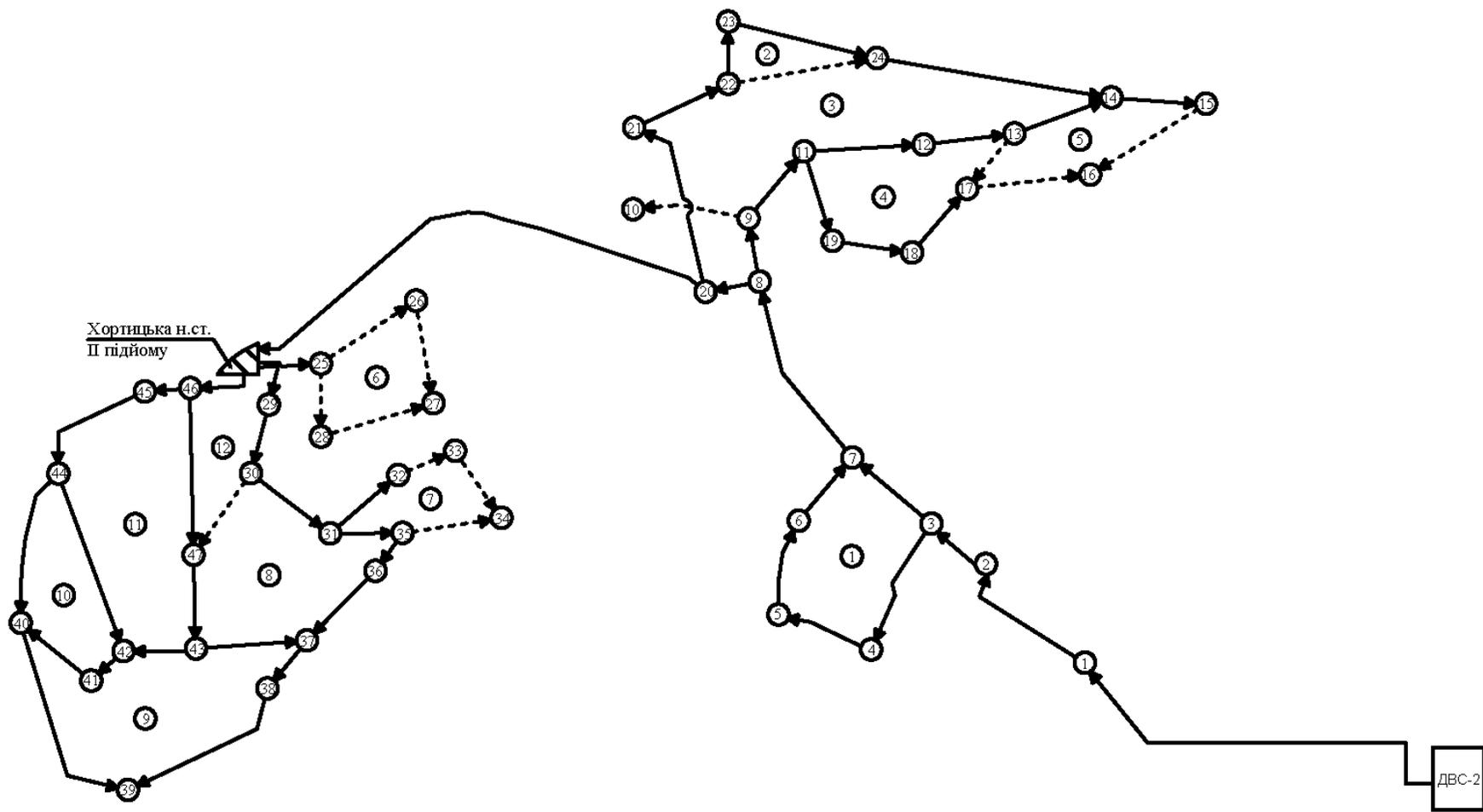
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Примітка
1	1. Аналіз особливостей експлуатації мереж транспортування води.	15.10.23	
2	2. Методика дослідження. 2 Листи 1,2.	5.11.23	
3	3. Оцінка впливу пропускної здатності ділянок на динаміку напорів в мережі. Листи 3,4.	10.11.23	
4	4.Техніко-економічне обґрунтування Лист 5.	15.11.23	
5	.Листи 6-8.	26.11.23	
7	Презентація. підготовка доповіді. Попередній захист	11.12.23	

Студент С.А. Єрофєєв
(підпис) (ініціали та прізвище)

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

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер І.В. Гребенюк
(ініціали)



РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра «Реконструкція мережі транспортування води за критерієм енергоефективності»: 91 с., 13 рис., 12 табл., 38 джерел, 2 додатки.

ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОСПОЖИВАННЯ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, НАПІР, НАСОС, РЕКОНСТРУКЦІЯ, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

Об'єкт дослідження – мережа транспортування води продуктивністю 160450 м³/добу.

Предмет дослідження - гідравлічні параметри мережі транспортування води.

Мета роботи – визначення пріоритетних напрямків реконструкції мережі транспортування води з урахуванням критерію енергоефективності.

В роботі розглянути можливі варіанти реконструкції: насосна станція проєктується для мережі з тисками необхідними на початку експлуатації, а з часом відбудеться реконструкція з врахуванням збільшення втрат тисків; насосне обладнання залишається таким, як на початок експлуатації мережі. Рекомендації щодо врахування впливу пропускної здатності ділянок на розподіл тиску в мережі під час реконструкції: шляхом моделювання пропускної здатності ділянок за результатами гідравлічних розрахунків визначити найбільш проблемні ділянки та обладнати їх контрольним устаткуванням; при зменшенні тиску в контрольних вузлах провести модернізацію насосного обладнання.

SUMMARY

Master's qualification work " Reconstruction of the water transportation network according to the energy efficiency criterion": 91 pages, 13 figures, 12 tables, 38 references, 2 supplements.

WATER SUPPLY, WATER CONSUMPTION, CAPACITY, HYDRAULIC CALCULATION, PRESSURE, PUMP, RECONSTRUCTION, ENERGY CONSUMPTION, ENERGY EFFICIENCY.

The object of the study is a water transportation network with a capacity of 160,450 m³/day.

The subject of research is the hydraulic parameters of the water transportation network.

The purpose of the work is to determine the priority directions for the reconstruction of the water transportation network, taking into account the criterion of energy efficiency.

The work considers possible options for reconstruction: the pumping station is designed for the network with pressures necessary at the beginning of operation, and over time the reconstruction will take place taking into account the increase in pressure losses; the pumping equipment remains the same as at the beginning of network operation. Recommendations for taking into account the influence of the area's capacity on the distribution of pressure in the network during reconstruction: by modeling the area's capacity based on the results of hydraulic calculations, determine the most problematic areas and equip them with control equipment; if the pressure in the control nodes decreases, modernize the pumping equipment.

ВСТУП

Актуальність теми магістерської роботи. Реконструкція мережі транспортування води має високу актуальність із погляду енергоефективності з низки причин. Зниження втрат: багато старих систем транспортування води мають значні втрати через виток води з трубопроводів. Оновлення та реконструкція мереж дозволяють усунути ці витoki, що не тільки заощаджує воду, а й знижує необхідність додаткового використання енергії для підтримки тиску в системі через втрати. Використання енергоефективних технологій: при реконструкції мережі можна впровадити нові технології, такі як енергоефективні насоси, вентиля та датчики, які можуть керуватися автоматично та споживати менше енергії для підтримки необхідних умов роботи системи. Оптимізація інфраструктури: реконструкція дозволяє оптимізувати інфраструктуру, наприклад, встановленням сучасних систем моніторингу, контролю та управління, що дозволяє ефективніше розподіляти воду та ресурси. Це знижує надмірне споживання енергії, необхідної для забезпечення роботи системи. Зниження витрат на обслуговування: старі мережі вимагають більш частого обслуговування через знос та проблеми з витокom. Оновлення мереж дозволяє знизити частоту ремонтів та обслуговування, що заощаджує не лише витрати на роботи з підтримки системи, а й зменшує енерговитрати, пов'язані з цими процесами. Зниження навантаження на навколишнє середовище: покращення енергоефективності водопровідних систем також має позитивний внесок у зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Зменшення споживання енергії знижує викиди парникових газів та загальний вплив на екосистеми. Громадський інтерес до стійкості та енергоефективності стимулює реконструкцію систем транспортування води, оскільки це не тільки покращує роботу інфраструктури, а й сприяє зменшенню споживання енергії та ресурсів, що є важливим для збалансованого та сталого розвитку.

Рішення про відновлення або модернізацію інфраструктури транспортування води в повоєнному періоді не тільки покращить якість життя, але й відіграватиме ключову роль у забезпеченні стійкості та розвитку населених пунктів, що відновлюються, у тому числі для розвитку місцевого бізнесу, що дозволить створити нові робочі місця, що означає розвиток економіки та суспільства в цілому, а енергоефективні підходи дозволять заощаджувати бюджетні кошти.

Дослідженнями впливу зміни гідравлічних характеристик на роботу водопровідних мереж проводилися багатьма інститутами, організаціями та науковцями у різних країнах: Європейська асоціація водопостачання та водовідведення (Eureau), Джон Свіфт, Марія Гарсія-Санчес, Ханс-Йорг Гранде, Софія Ларссон, Богомаз О., Кравченко І., Луценко В., Петренко О. та інші.

Об'єкт дослідження – мережа транспортування води продуктивністю 160450 м³/добу.

Предмет дослідження - гідравлічні параметри мережі транспортування води.

Мета роботи – визначення пріоритетних напрямків реконструкції мережі транспортування води з урахуванням критерію енергоефективності.

Задачі досліджень. Для досягнення вказаної мети було потрібно:

- проаналізувати, як протягом експлуатації змінюються гідравлічні характеристики ділянок водопровідної мережі;
- дослідити вплив зміни гідравлічних характеристик ділянок на розподіл тиску в мережі;
- дослідити можливі варіації утворення та величини зон недостатнього напору в мережі в процесі її експлуатації;
- визначити найбільш економічний спосіб недопущення утворення зон недостатніх напорів;

- розробити рекомендації щодо врахування впливу гідравлічних характеристик ділянок на розподіл тиску в мережі на стадії її проектування.

Методи досліджень. При проведенні досліджень та обробці отриманих результатів використані методи: аналіз зібраних даних про існуючу інфраструктуру частини водопровідної мережі, включаючи інформацію про витрату води, тиск, енергоспоживання насосів, стан трубопроводів та інші параметри; методи математичного моделювання потокорозподілу у водопровідній мережі та методи гідравлічних розрахунків водопровідних мереж.

Наукова новизна отриманих результатів. Розроблено та обґрунтовано методіку визначення зон недостатнього напору при зміні гідравлічних характеристик мережі; запропоновано застосовувати дані про зміну пропускну здатності ділянок для визначення меж зон недостатнього напору.

Практичне значення отриманих результатів. Проведені дослідження дозволяють проєктним відділам комунальних підприємств на стадії проєктування визначити найбільш проблемні ділянки та обладнати їх енергоефективним контролюючим устаткуванням.

Апробація роботи. Головні положення доповідались на III Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», яка проходила 17-20 жовтня 2023 року.

Структура й обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 38 найменувань. Робота викладена на 91 сторінці, містить 12 таблиці, 13 рисунків.

РОЗДІЛ 1. Аналіз особливостей експлуатації мереж транспортування води

1.1 Експлуатація та утримання мереж транспортування води в умовах війни.

Експлуатація та забезпечення працездатності мереж транспортування води в умовах війни є критично важливим завданням забезпечення життєво важливих ресурсів для населення. Військові конфлікти можуть серйозно пошкодити або порушити інфраструктуру водопостачання, створюючи гуманітарні кризи через відсутність доступу до води. Незважаючи на військові умови, міжнародне гуманітарне право наказує на захист цивільного населення та критичної інфраструктури, такої як системи водопостачання.

Військові дії можуть призвести до пошкодження чи руйнації водопровідних мереж, порушення роботи насосних станцій, очисних споруд та інших компонентів інфраструктури водопостачання. У цих ситуаціях важливо проводити заходи захисту цих об'єктів, а також проводити оперативні ремонтні роботи для швидкого відновлення водопостачання для цивільного населення.

Для забезпечення води в умовах воєнних конфліктів можуть застосовуватися такі заходи:

- Захист інфраструктури: це включає проведення заходів щодо запобігання пошкодженню водопровідних систем, насосних станцій і очисних споруд шляхом організації захисту їх території, встановлення противибухових перешкод та ін.
- Екстрений ремонт: швидкі операції з відновлення пошкоджених систем водопостачання, що забезпечують доступ до питної води для населення. Це може включати оперативне усунення витоків, відновлення насосів, ремонт або тимчасове обхідне з'єднання водопровідних труб і т.д. [24].
- Гуманітарна допомога: міжнародні гуманітарні організації та агенції можуть брати участь у постачанні питної води та забезпечення засобів

для очищення води для населення, особливо в зонах, де зруйновано інфраструктуру водопостачання [22].

- Забезпечення безпеки та захисту персоналу: важливо забезпечити безпечні умови для працівників, зайнятих у відновленні інфраструктури, щоб вони не могли виконувати свою роботу без ризику свого життя.

Це складне завдання, яке потребує скоординованих зусиль з боку різних структур, включаючи військові, гуманітарні та цивільні організації. Проте відновлення інфраструктури водопостачання за умов війни є важливою частиною підтримки життєво важливих умов громадянського населення.

Пошкодження в системах водопостачання можуть бути спричинені бомбардуванням, саботажем або випадковими руйнуваннями внаслідок бойових дій. Екстрений ремонт пошкоджених систем водопостачання потребує оперативних дій та спеціалізованих навичок для відновлення доступу до води для цивільного населення. Процес такого ремонту може включати такі кроки:

- Оцінка збитків: фахівці проводять оцінку збитків, щоб визначити масштаб пошкоджень та необхідні ресурси для відновлення. Це дозволяє розробити план дій.
- Безпека: перед початком будь-яких ремонтних робіт необхідно забезпечити безпеку робітників. Це може містити перевірку наявності небезпечних матеріалів або мін на місці пошкодження.
- Ізоляція пошкоджень: зупинка потоку води за допомогою клапанів або тимчасових заглушок, щоб розпочати ремонтні роботи без додаткових витоків.
- Усунення ділянок пошкодження: робочі розпочинають ремонт пошкоджених труб, насосів або інших компонентів системи. Це може включати заміну пошкоджених ділянок труб, відновлення насосів, очищення та відновлення очисних споруд.

- Перевірка та тестування: після завершення ремонтних робіт система проходить перевірку на витік та функціональність, щоб гарантувати, що вода безпечна для використання.
- Відновлення роботи системи: після успішного ремонту система повертається до нормальної роботи для забезпечення питної води для населення.
- Запобігання повторним пошкодженням: важливо вживати заходів для запобігання повторним атакам або пошкодженням, наприклад, через встановлення додаткових захисних заходів або планування заходів безпеки для інфраструктури [33].

Перед початком кожного ремонту необхідно узгоджувати дані дії з військовими структурами, поліцією та гуманітарними організаціями. Взаємодія з військовими підрозділами, поліцією та гуманітарними організаціями необхідна для забезпечення безпеки робітників та отримання підтримки у разі потреби евакуації або термінової допомоги.

Екстрений ремонт водопостачання під час війни потребує високого ступеня організації, координації та ресурсів. Працівники, які проводять ремонт, можуть стикатися з небезпеками, включаючи воєнні дії, нестачу ресурсів і необхідність працювати в умовах підвищеного ризику. Гуманітарні організації та агентства, а також військові структури можуть співпрацювати для забезпечення безпеки робітників та оперативного відновлення систем водопостачання у зонах конфлікту.

Тимчасове обхідне з'єднання водопровідних труб є важливою стратегією в екстреній ситуації, коли необхідно забезпечити безперервність водопостачання під час ремонту або відновлення пошкоджених ділянок водопровідної мережі під час воєнних дій. Це тимчасове з'єднання дозволяє підтримувати постачання питної води для населення в місцевості, де водопостачання було перервано через руйнування або пошкодження інфраструктури.

Процес тимчасового обхідного з'єднання включає такі кроки:

1. Визначення місця пошкодження: Ідентифікація ділянки водопроводу, де виникла поломка або розрив, та оцінка ступеня пошкодження.
2. Підготовка тимчасового з'єднання: Встановлення тимчасових труб, які з'єднують непошкоджені ділянки водопровідної мережі, обминаючи ділянку з пошкодженням. Це може включати використання гнучких труб або інших тимчасових матеріалів, здатних забезпечити потік води вздовж обхідного шляху.
3. Встановлення тимчасових насосів або насосних станцій: Якщо рівень води недостатній або якщо вода повинна бути піднята до рівня обхідної ділянки, можуть бути потрібні тимчасові насоси або насосні станції для забезпечення нормального тиску в системі.
4. Тестування та регулювання потоку: Після встановлення тимчасового обхідного з'єднання важливо перевірити його працездатність та забезпечити рівномірний та безпечний потік води за тимчасовою системою.
5. Моніторинг та обслуговування: Важливо проводити регулярний моніторинг тимчасового обхідного з'єднання для запобігання витоків, а також забезпечувати його обслуговування, щоб гарантувати стабільне водопостачання [34].

Це тимчасове рішення, призначене для забезпечення безперервності водопостачання в умовах військового конфлікту доти, доки не будуть завершені основні ремонтні роботи та система водопостачання не буде повністю відновлена. Такі заходи дають змогу мінімізувати вплив переривання водопостачання на життя цивільного населення в зоні конфлікту.

Для тимчасового обхідного з'єднання водопровідних труб в умовах екстреного ремонту або військових дій можуть використовуватися різні матеріали, які зазвичай вибираються виходячи з доступності, швидкості установки та їх придатності для тимчасового використання. Деякі типові матеріали включають:

- Гнучкі труби: це може включати гумові або полімерні гнучкі труби, які є відносно легкими і можуть бути швидко встановлені для тимчасового з'єднання між розірваними або пошкодженими ділянками водопровідної системи.
- Поліетиленові труби: поліетилен має гарну стійкість до корозії та гнучкості, що робить його придатним для тимчасових рішень водопостачання.
- Армовані шланги: ці шланги часто використовуються для транспортування води і можуть бути використані для створення тимчасового з'єднання між пошкодженими ділянками труб.
- Пластикові сполучні елементи: тимчасові пластикові сполучні елементи можуть бути використані для скріплення різних типів труб разом, забезпечуючи тимчасове функціонування водопроводу.
- Алюмінієва фольга або стрічка ущільнювача: іноді ці матеріали використовуються для тимчасового ущільнення або ремонту невеликих витоків або дефектів на пошкоджених ділянках труб.
- Спеціалізовані тимчасові з'єднувальні компоненти: деякі компанії та організації пропонують тимчасові з'єднувальні компоненти або обладнання, спеціально розроблені для швидкого та тимчасового відновлення водопровідних систем.

Вибір матеріалів залежить від доступності ресурсів, термінів проведення робіт та ступеня пошкодження інфраструктури. Важливо, щоб такі матеріали були придатні для застосування в умовах коли швидкість ремонту має першорядне значення для відновлення водопостачання [34].

Забезпечення безпеки робітників при влаштуванні тимчасового обхідного з'єднання водопровідних труб в умовах екстреного ремонту під час війни є критично важливим з огляду на наявність ризиків через воєнні дії, руйнування інфраструктури та інші небезпеки на місці робіт.

Проведення оцінки ризиків перед початком робіт для ідентифікації потенційних небезпек, таких як уламки, мінні поля, залишки вибухових речовин та інші небезпечні умови на місці проведення робіт.

Для захисту робочої зони виконати встановлення тимчасових бар'єрів або позначення небезпечних ділянок для запобігання доступу на них працівників, які не беруть участь у ремонтних роботах.

Проконтролювати використання захисного спорядження. Забезпечення робочих захисним одягом, шоломами, захисними окулярами та іншими елементами захисту для запобігання травмам або проникненню шкідливих речовин [34].

Провести навчання та інструктаж. Проведення навчання та надання ясних інструкцій робітникам щодо процедур безпеки та протоколів у разі аварійних ситуацій.

Виконувати моніторинг ситуації у місці виконання ремонту й даному регіоні та координацію дій у співпраці з силовими структурами (поліція, збройні сили, за необхідністю служба безпеки).

Вести безперервний моніторинг та координацію дій робітників, щоб уникнути небезпечних ситуацій та своєчасно реагувати на потенційні загрози.

Заздалегідь розробити евакуаційні плани. Розробка планів евакуації у разі виникнення непередбачених небезпек, таких як обстріл або інші воєнні дії. Дані плани повинні включати чіткий та лаконічний перелік послідовності дій кожного робітника та кожної людини присутньої на місці виконання ремонту у разі початку обстрілів та інших надзвичайних ситуацій пов'язаних з воєнними діями [33].

Ці заходи допомагають мінімізувати ризики та забезпечити безпеку робітників, зайнятих у встановленні тимчасових з'єднань водопровідних труб в умовах військового конфлікту. Однак, в таких умовах завжди є ризик, і важливо суворо дотримуватись заходів безпеки та бути готовим до оперативної реакції на будь-які надзвичайні ситуації [35].

1.2 Водопровідні мережі як найбільш енергоємний елемент системи водопостачання.

Водопровідні мережі відіграють ключову роль системі водопостачання, забезпечуючи передачу прісної води від джерел до споживачів. Однак вони часто вважаються одним з найбільш енергоємних елементів у таких системах.

Системи водопровідних мереж вимагають енергії для підтримки тиску, щоб вода могла долати силу тертя та долати відстані від центру подачі води до кінцевих точок споживання [1]. Це включає роботу насосів, які перекачують воду через труби, щоб забезпечити стабільний тиск протягом всієї мережі. Також до енерговитрат відносяться підтримка та обслуговування інфраструктури - труб, насосів, клапанів та інших компонентів системи [12].

Насоси, що використовуються у водопровідних мережах, споживають значні обсяги електроенергії, особливо у випадку, коли потрібно долати великі відстані або підніматися на висоту для доставки води до кінцевих споживачів. У міру збільшення відстані та висоти підйому збільшується і енергоспоживання.

Для зниження енерговитрат у водопровідних мережах йдуть різні інновації, такі як оптимізація роботи насосів, застосування енергоефективних технологій, впровадження сонячних чи інших відновлюваних джерел енергії для живлення систем, а також використання методів регулювання тиску в мережі.

Більш ефективне планування мережі, регулювання тиску, технічне обслуговування та модернізація інфраструктури можуть допомогти знизити енергоспоживання у водопровідних мережах, що у свою чергу сприятиме скороченню витрат на обслуговування систем та зниженню впливу на довкілля [9].

Основні причини високої енергоємності водопровідних мереж включають:

- Тиск та перепад висот. Підтримка необхідного тиску для доставки води до споживачів, особливо у районах з великими перепадами висот, потребує значного енергоспоживання.
- Зношування та витоків. Застаріла інфраструктура, старі труби та системи, схильні до зносу, витоків і неефективної роботи, вимагають великих зусиль та енергії для підтримки нормального функціонування системи.
- Неоптимізований дизайн та експлуатація. Недостатня оптимізація дизайну мережі, неправильне використання насосів або недостатнє технічне обслуговування можуть призвести до надмірного споживання енергії.
- Використання застарілих технологій. Деякі водопровідні системи продовжують використовувати застарілі технології та обладнання, які не є енергоефективними.

Для зниження енергоспоживання у водопровідних мережах можуть бути застосовані різні підходи:

- Енергоефективні насоси та технології. Використання ефективніших насосів та технологій для перекачування води може значно знизити енергоспоживання.
- Моніторинг та управління мережею. Впровадження систем моніторингу та управління, які можуть динамічно регулювати тиск та потік води залежно від фактичних потреб, може допомогти знизити надмірне енергоспоживання.
- Інноваційні підходи до інфраструктури. Розвиток нових методів будівництва та використання інноваційних матеріалів для трубопроводів може підвищити ефективність системи та знизити споживання енергії на обслуговування.
- Використання відновлюваних джерел енергії. Використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна або вітрова енергія,

для живлення насосів та інших систем водопостачання може знизити залежність від традиційних джерел енергії [15].

Загалом, покращення енергоефективності водопровідних мереж не лише допоможе скоротити витрати на обслуговування та експлуатацію, але також сприятиме більш стійкому та екологічно чистому забезпеченню водою для споживачів [16].

Крім того, сучасні технології та інновації відіграють важливу роль у покращенні енергоефективності водопровідних мереж [38]. Ось кілька додаткових методів, які можуть допомогти зменшити споживання енергії:

- Покращене керування даними та аналітика. Використання сучасних систем збору даних та аналітики дозволяє більш точно прогнозувати та оптимізувати споживання води, що у свою чергу дозволяє краще розподіляти енергію, необхідну для підтримки мережі.
- Регулювання тиску. Застосування інтелектуальних систем керування тиском, які адаптуються до потреб мережі, допомагає знизити енергоспоживання та уникнути зайвих витрат.
- Покращена інфраструктура трубопроводів. Використання нових матеріалів для виготовлення трубопроводів, які мають більш високу ефективність та довговічність, знижує втрати та витоків води, що в кінцевому підсумку скорочує необхідність в енерговитратах для компенсації цих втрат.
- Локалізація виробництва води. Розподіл менших систем водопостачання, так званих "мікромереж", дозволяє скоротити втрати енергії, оскільки вода виробляється ближче до кінцевих споживачів, уникаючи довгих перевезень через водопровідні мережі.
- Навчання та оновлення професійних кадрів. Підготовка фахівців та працівників сфери водопостачання щодо використання нових технологій та методів роботи в мережах водопостачання є важливим фактором у зниженні енерговитрат та оптимізації роботи систем [17].

Скорочення енергоспоживання у водопровідних мережах є важливим аспектом для підвищення їх ефективності та стійкості. Інтеграція інноваційних підходів, енергоефективних технологій та покращеного управління дозволить знизити навантаження на енергосистеми та призведе до більш екологічного та ефективного використання водних ресурсів.

Розвиток смарт-технологій та "Інтернету речей" (IoT) також відіграє важливу роль у покращенні енергоефективності водопровідних систем. Впровадження сенсорів та розумних пристроїв в інфраструктуру водопостачання дозволяє в реальному часі відстежувати та контролювати стан мереж, що сприяє ефективному використанню енергії та ресурсів [18].

1. Системи моніторингу та управління. Сенсори, встановлені на ключових точках водопровідних мереж, дозволяють безперервно відстежувати параметри, такі як тиск, витрата води та стан трубопроводів. Ці дані допомагають операторам системи приймати більш обґрунтовані рішення, оптимізувати роботу насосів та регулювати потік води відповідно до поточних потреб, мінімізуючи при цьому втрати енергії.

2. Прогностичне обслуговування. Використання алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту дозволяє передбачати можливі проблеми в інфраструктурі до їх виникнення. Це дозволяє операторам проактивно підтримувати та обслуговувати мережі, запобігаючи втраті енергії через несподівані збої або витоки.

3. Дистанційне керування. З можливістю віддаленого керування системами водопостачання, оператори можуть динамічно адаптувати параметри роботи мереж, такі як тиск і витрата води, в реальному часі, оптимізуючи енергоспоживання відповідно до поточних потреб.

4. Оптимізація маршрутів та графіків роботи. За допомогою даних про споживання води та мережевої інфраструктури можна розробляти оптимальні маршрути та розклад роботи систем, знижуючи енерговитрати на транспортування та обробку води [7].

5. Інтеграція відновлюваних джерел енергії. Смарт-системи дозволяють більш ефективно використовувати відновлювані джерела енергії, такі як сонячні панелі або вітрогенератори, для живлення водопровідних систем, знижуючи залежність від традиційних джерел енергії.

Впровадження цих сучасних технологій у водопровідні мережі допоможе знизити енергоспоживання, підвищити їх ефективність та забезпечити більш стійку та екологічно чисту роботу систем водопостачання.

Більш широке використання концепції цифровізації водопостачання також відчиняє двері для різних інновацій та методів оптимізації, які можуть додатково знизити енергоспоживання у водопровідних мережах:

Інтеграція систем збереження енергії. Використання технологій збереження енергії, таких як акумулятори або інші методи, дозволяє розподіляти енергію більш ефективно, зберігаючи та використовуючи її в тих моментах, коли споживання води і, отже, енергії найбільш високо[4].

Енергоефективні методи обробки води. Розвиток ефективніших методів очищення та обробки води, які вимагають менше енергії, сприяє зниженню загального енергоспоживання водопостачання[3].

Кругового водопостачання концепції. Перехід до концепції циркуляції та повторного використання води для вторинних цілей, таких як полив, охолодження або системи омивки, знижує загальне споживання прісної води і, отже, енергії на її обробку та розподіл.

Освіта та підвищення обізнаності. Розведення громадськості з питань ефективного використання води та енергії сприяє формуванню навичок, спрямованих на більш економне споживання, що у свою чергу знижує загальне навантаження на системи водопостачання та їх енергоспоживання [1,2].

Інтеграція смарт-рішень до інфраструктури міст. Створення інтегрованих систем розумних міст, що включають управління водопостачанням, електропостачанням та іншими аспектами інфраструктури,

дозволяє створити ефективніші, взаємопов'язані системи, які знижують загальне енергоспоживання.

Об'єднання різних інноваційних підходів, технологій та стратегій допоможе створити більш стійкі та енергоефективні водопровідні системи, що сприятимуть зниженню навантаження на енергосистеми, зменшенню витрат та створенню більш стійкого середовища [7].

1.3 Види робіт для реконструкції та відновлення мереж транспортування води.

Роботи з реконструкції та відновлення мереж транспортування води можуть включати різні діяльності, залежно від стану інфраструктури і необхідних поліпшень.

Заміна та ремонт трубопроводів. Включає заміну старих або пошкоджених труб на нові, міцніші або довговічніші матеріали, такі як поліетилен, чавун, сталь, або ПВХ.

Очищення та обслуговування систем фільтрації та очищення. Проведення робіт з очищення, ремонту або заміни фільтрів, скребків, ультрафільтраційних систем та інших елементів, що забезпечують якість води.

Зміцнення та ремонт водонапірних споруд. Роботи з ремонту та зміцнення водонапірних веж, резервуарів, насосних станцій, щоб запобігти витоків та забезпечити правильний тиск у системі[5,6].

Покращення мереж дренажу та каналізації. Роботи з модернізації або заміни старих систем каналізації, включаючи ремонт колекторів, зливової каналізації та очисних споруд.

Використання нових технологій та методів діагностики: використання сучасних технологій для діагностики проблем, таких як системи спостереження, дистанційного моніторингу, а також роботизовані системи для обстеження стану труб та інфраструктури [4].

Впровадження енергоефективних технологій. Наприклад, заміна насосів на більш енергоефективні моделі, що допоможе знизити витрати на енергію та підвищити загальну ефективність системи.

Покращення безпеки систем. Включає встановлення додаткових систем безпеки та моніторингу для запобігання аваріям і витокам.

Вивчення і усунення проблем з водозбором і водоохраненням. Оцінка стану вододжерел, запобігання забруднення, і навіть відновлення чи вдосконалення водосховищ і водозабірних споруд [5].

Ці види робіт з реконструкції та відновлення мереж транспортування води можуть виконуватись інженерними компаніями, що спеціалізуються на водопостачанні та водовідведенні, з урахуванням унікальних потреб конкретної інфраструктури.

Крім описаних вище видів робіт, існують додаткові специфічні дії, які можуть бути необхідні у процесі реконструкції та відновлення мереж транспортування води [8].

Гідравлічний аналіз систем. Проведення детального аналізу гідравліки системи для оптимізації витрати води, тиску та розподілу води через мережу. Це дозволяє покращити ефективність та знизити втрати води.

Моніторинг якості води. Впровадження систем моніторингу, що контролюють якість води у реальному часі, щоб оперативно реагувати на будь-які аномалії чи забруднення.

Апгрейд систем автоматизації. Використання автоматизованих систем керування для покращення ефективності та точності контролю за мережею водопостачання[9].

Розвиток та модернізація інфраструктури. Це включає розширення мережі в нових районах, створення додаткових водосховищ, встановлення нових насосних станцій та інші інженерні заходи для забезпечення сталого та ефективного водопостачання.

Інженерні дослідження. Проведення досліджень, що включають геологічні дослідження, для визначення оптимальних місць для будівництва та реконструкції систем водопостачання [10].

Навчання та консультації. Проведення навчальних програм та консультацій для персоналу, який працює з оновленою інфраструктурою, щоб забезпечити правильне використання та обслуговування систем.

Створення планів надзвичайної ситуації. Розробка планів дій для надзвичайних ситуацій, таких як аварії, повені чи інші критичні ситуації для забезпечення безпеки водопостачання у разі кризи.

Ці види робіт складають широкий спектр діяльності, необхідний для забезпечення надійного, безпечного та ефективного функціонування систем водопостачання та водовідведення. Вони важливі підтримки життєздатності міст і суспільства загалом [14].

Крім перелічених видів робіт, існують ще додаткові аспекти, які важливі при реконструкції та відновленні мереж транспортування води.

Екологічно стійкі рішення. Впровадження екологічно більш дружніх технологій та матеріалів для мереж водопостачання, наприклад, використання відновлюваних джерел енергії, зменшення викидів та використання матеріалів з меншим навколишнім впливом.

Дослідження та розробка нових технологій. Безперервне дослідження та розробка нових методів, матеріалів та технологій для покращення ефективності, довговічності та стійкості систем водопостачання.

Географічне планування та облік особливостей місцевості. Адаптація інженерних рішень до конкретних географічних та кліматичних особливостей, таких як територіальні особливості, рівень підземних вод, та запобігання впливу стихійних лих [17,18].

Залучення спільноти та стейкхолдерів. Важлива взаємодія з місцевим населенням та зацікавленими сторонами для врахування їх потреб та забезпечення прозорості та розуміння процесу реконструкції мереж водопостачання [9].

Фінансування та управління проектами. Розробка бюджетів, залучення фінансування, а також планування та управління проектами для ефективної та своєчасної реалізації планів з реконструкції мереж водопостачання.

Ці додаткові аспекти роботи з реконструкції та відновлення мереж транспортування води відображають складність та множинні аспекти, необхідні для забезпечення ефективної та стійкої інфраструктури водопостачання та водовідведення. Всі ці види робіт та аспекти є важливими для забезпечення стабільного та безпечного доступу до чистої води для суспільства.

Процес виконання робіт з реконструкції та відновлення мереж транспортування води передбачає послідовне проведення кількох етапів:

1. Підготовчий етап:

1.1 Оцінка стану системи:

- проведення ретельного обстеження та діагностики існуючої інфраструктури: визначення ділянок із пошкодженнями, застарілих труб, проблем із насосами, резервуарами, фільтрацією та іншими елементами системи;
- аналіз даних та оцінка пропускнуої спроможності, рівня тиску, якості води та загального стану мережі.

1.2 Планування та проектування:

- розробка плану робіт на основі обстеження, включаючи концепцію реконструкції, вибір матеріалів, технологій, обладнання та витрат;
- створення документації: технічні специфікації, креслення, розрахунки, бізнес-плани та необхідні дозволи.

2. Фаза реалізації:

2.1 Підготовка будівельного майданчика:

- очищення ділянки від рослинності, проведення маркування, встановлення тимчасових огорож, при необхідності - перенесення існуючих комунікацій.

2.2 Виконання робіт із заміни та ремонту:

- заміна старих труб на нові матеріали, усунення витоків, ремонт насосів, фільтрів та інших компонентів системи;
- монтаж нових трубопроводів та обладнання, перевірка герметичності та працездатності.

2.3 Інтеграція нових технологій:

- установка систем моніторингу, дистанційного керування, автоматизованих систем керування, покращених фільтраційних пристроїв та інших нових технологій.

3. Фаза завершення:

3.1 Тестування та налагодження:

- проведення випробувань нових систем, перевірка працездатності, герметичності та відповідності стандартам якості.

3.2 Впровадження та навчання:

- впровадження нових процедур та технологій для обслуговування та управління системою;
- навчання персоналу та суспільства основним аспектам та правилам використання нової інфраструктури.

3.3 Моніторинг та підтримка:

- встановлення планів регулярного обслуговування та технічного обстеження системи.
- постійний моніторинг якості води, пропускної спроможності та загальної працездатності системи.

Крім того, весь процес зазвичай виконується з дотриманням місцевих законів, стандартів та регуляцій; також потрібна постійна взаємодія із заінтересованими сторонами, включаючи місцеве населення, органи влади, екологічні та інженерні організації, для забезпечення ефективного та безпечного завершення проекту [5,10].

4. Контрольний етап та подальша підтримка:

4.1 Оцінка результатів:

- після завершення робіт здійснюється оцінка ефективності та якості впроваджених змін; аналізуються показники ефективності, якості води, рівня витоків та інші ключові метрики.

4.2 Розробка планів дій:

- на основі оцінки результатів розробляються плани подальших дій для підтримки та покращення системи в майбутньому; це може включати рекомендації щодо оптимізації, оновлення та вдосконалення системи.

4.3 Регулярний моніторинг та обслуговування:

- після завершення проекту потрібен постійний моніторинг та обслуговування системи для підтримки її працездатності; регулярні перевірки та обслуговування допомагають запобігати повторним проблемам та гарантувати стабільну роботу.

4.4 Взаємодія з спільнотою та громадськістю:

- важливо продовжувати спілкування з місцевим населенням та зацікавленими сторонами, надавати інформацію про зміни в системі, регулярно консультивати громадськість та приймати відгуки для покращення роботи системи.

4.5 Дотримання стандартів та нормативів:

- усі роботи повинні відповідати стандартам якості, безпеки та екологічним нормативам, встановленим місцевими та міжнародними організаціями та органами.

Це безперервний процес, що вимагає постійної уваги та зусиль для забезпечення ефективного та сталого функціонування системи водопостачання. Кожен етап важливий для забезпечення якості та довгострокової стійкості системи водопостачання та водовідведення [9].

5. Поліпшення та модернізація:

5.1 Інновації та апгрейди:

- системи водопостачання постійно вдосконалюються; впровадження нових технологій, матеріалів та методів аналізу, спрямованих на покращення ефективності та довговічності системи.

5.2 Ефективне використання ресурсів:

- продовження розробки стратегій управління водними ресурсами, спрямованих на підвищення ефективності, мінімізацію втрат та оптимізацію використання води.

5.3 Дослідження та розробки:

- проведення досліджень для виявлення нових методів очищення води, енергозберігаючих технологій, а також ідентифікації проблем, які потенційно можуть виникнути в майбутньому.

6. Співробітництво та обмін досвідом:

6.1 Досвід обміну та участь у спільноті:

- участь у міжнародних та національних форумах, конференціях, де обговорюються проблеми та рішення у галузі водопостачання та водовідведення.

6.2 Співробітництво та партнерство:

- розвиток партнерських відносин з іншими організаціями та інститутами для обміну передовим досвідом, технологіями та найкращими практиками.

6.3 Навчання та підвищення кваліфікації:

- проведення навчальних програм для персоналу та спеціалістів у галузі водопостачання для підвищення кваліфікації та використання передових методів та технологій.

7. Облік екологічних аспектів:

7.1 Екологічна стійкість:

- оцінка впливу на довкілля та розробка планів, що враховують мінімізацію негативного впливу на природу та біорізноманіття.

7.2 Відновлювані джерела енергії:

- інтеграція та використання відновлюваних джерел енергії для зниження впливу на навколишнє середовище та підвищення енергоефективності.

8. Безпека та кризове планування:

8.1 Захист від катастроф та надзвичайних ситуацій:

- розробка планів для запобігання та реагування на катастрофічні події, забезпечення безпеки системи водопостачання у разі надзвичайних ситуацій.

9. Дотримання стандартів та регулювань:

9.1 Дотримання нормативів та ліцензування:

- гарантування дотримання місцевих, національних та міжнародних стандартів якості та безпеки води, а також відповідності всім вимогам щодо ліцензування та регулювання галузі.

10. Громадська участь та зворотний зв'язок:

10.1 Взаємодія із суспільством:

- активне залучення місцевого населення, зворотний зв'язок, врахування думки та потреб суспільства при розробці планів та рішень.

Роботи з реконструкції та відновлення мереж транспортування води потребують комплексного підходу, що враховує не лише технічні аспекти, а й соціальні, екологічні та юридичні норми. Ці аспекти збалансованого підходу є ключовими для забезпечення стійкої, безпечної та доступної води для всіх [1,2].

Процес виконання робіт з реконструкції та відновлення мереж транспортування води – це динамічний цикл, який потребує постійної турботи, уваги та покращень для забезпечення ефективного та стійкого водопостачання та водовідведення. Постійна оцінка, оновлення та вдосконалення системи відіграють важливу роль у забезпеченні доступу до чистої води, а також у підтримці здоров'я та добробуту суспільства.

Кінцева мета реконструкції та відновлення мереж транспортування води полягає у забезпеченні доступу до чистої води, стійкості системи водопостачання та дотриманні екологічних стандартів.

Проведення моніторингу та оцінки ефективності. Після завершення робіт важливо здійснювати постійний моніторинг та оцінку ефективності

нових систем. Це включає регулярні перевірки, тестування та аналіз, щоб переконатися, що системи працюють оптимально [4,5].

Кризове планування та реагування, а саме розробка планів дій для кризових ситуацій, таких як затоплення, землетрус або інші стихійні лиха, для оперативного відновлення та мінімізації впливу на систему водопостачання.

Уведення інновацій в управлінні ресурсами та розробка стратегій управління ресурсами, включаючи ефективний розподіл води, переробку відходів і води, щоб знизити негативний вплив на навколишнє середовище і підвищити рівень стійкості.

Проведення навчання та освіти суспільства, проведення освітніх програм та кампаній для суспільства про важливість економії води, використання чистої води та методи сталого споживання.

Планування довгострокової стійкості, розробка стратегій для сталого розвитку водопостачання, які враховують довгострокові зміни у кліматі, зростання населення та інші фактори, що впливають на водні ресурси [4,5].

Ці додаткові аспекти є важливими компонентами процесу реконструкції та відновлення мереж транспортування води. Вони прагнуть не тільки безпосереднього поліпшення інфраструктури, але й створення стійких і ефективних систем, здатних задовольнити потреби майбутніх поколінь.

1.4 Аналіз новітніх технологій для реконструкції мереж транспортування води.

На даний момент існує кілька новітніх технологій та підходів, які використовуються для реконструкції мереж транспортування води. Ось кілька із них:

- Системи моніторингу та діагностики: сучасні системи моніторингу використовують датчики та IoT-технології для безперервного контролю за станом трубопроводів. Вони дозволяють виявляти

потенційні витoki, зміни тиску та інші проблеми, що допомагає оперативно проводити ремонт та запобігати аваріям.

- Технології реконструкції без копання траншеї (Trenchless Technologies): ці методи дозволяють оновлювати або ремонтувати трубопроводи без необхідності їх повної заміни. До них належать методи горизонтального буріння, ретрофітинг (модернізація), реновація трубопроводів з використанням роботів та спеціальних насадок.
- Застосування композитних матеріалів: розробка та використання більш міцних та довговічних матеріалів для трубопроводів (наприклад, композитні матеріали) дозволяють створювати більш стійкі до корозії та зношування конструкції труб.
- Використання роботизованих систем: роботизовані технології дозволяють проводити інспекцію, обслуговування та ремонт трубопроводів у важкодоступних місцях, що знижує необхідність руйнівних робіт.
- Моделювання та аналіз даних: програмні рішення, засновані на штучному інтелекті та аналізі великих даних, використовуються для прогнозування потенційних проблемних зон та оптимізації процесів обслуговування мереж водопостачання.
- Енергоефективні технології: розробка більш ефективних систем насосів та управління потоком води допомагає знижувати витрати енергії та підвищувати загальну ефективність роботи систем водопостачання.
- Системи очищення та обробки води: нові методи очищення води можуть зменшити корозію труб та покращити якість води в мережі.

Ці технології зазвичай застосовуються у різних комбінаціях залежно від конкретних умов, потреб та доступності ресурсів у різних регіонах та країнах. Разом вони сприяють більш ефективному та сталому управлінню мережами транспортування води [6,8].

Крім того, варто зазначити, що багато з цих технологій та підходів постійно вдосконалюються та розвиваються, впроваджуються нові інновації та ідеї.

Використання нанотехнологій: наноматеріали використовуються для покращення структурних властивостей матеріалів трубопроводів, підвищення стійкості до корозії та покращення якості води.

Системи розумного керування водопостачанням: використання Інтернету речей (IoT) та сенсорів дозволяє не лише моніторити стан систем, але й активно керувати потоками води, оптимізувати витрати та запобігати аварійним ситуаціям [9].

Енергозберігаючі методи: інновації в галузі енергозбереження також знаходять застосування у системах водопостачання. Вони включають можливості для використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна і вітряна енергія для роботи систем.

Геоспаціальне моделювання та планування: використання геоданих та геоспаціальних інструментів допомагає у плануванні та оптимізації систем транспортування води, враховуючи місцеві умови та зміни навколишнього середовища.

Розробка гібридних систем: деякі інженерні рішення пропонують комбіновані або гібридні методи, що поєднують декілька технологій для підвищення ефективності та довговічності мереж водопостачання.

Ці інновації сприяють підвищенню стійкості, надійності та ефективності систем транспортування води, що є критично важливим в умовах зростаючих міст, кліматичної ситуації та необхідності збереження водних ресурсів. Безперервні дослідження та розробки у цій галузі мають велике значення для забезпечення стабільного водопостачання та стійкості інфраструктури [11].

Найновіші системи моніторингу та діагностики для мереж транспортування води є комплексним підходом, що використовує передові

технології для постійного контролю та аналізу стану інфраструктури водопостачання. Вони включають різні елементи.

Датчики та IoT-технології. Розміщення датчиків вздовж мереж трубопроводів для безперервного збору даних про тиск, температуру, витрату води, рівень хлору та інші параметри. Ці дані передаються до центральної системи для аналізу.

Системи віддаленого моніторингу. Дозволяють інженерам та операторам центрального управління відстежувати дані онлайн та в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в системі.

Аналітика великих даних (Big Data). Програмні рішення аналізують великі обсяги даних, використовуючи методи штучного інтелекту та машинного навчання для виявлення аномалій, прогнозування можливих проблем та оптимізації процесів обслуговування.

Технології дистанційного зондування. Включають використання супутників і дронів для моніторингу великих ділянок мереж водопостачання, що дозволяє виявляти витіки та інші проблеми навіть на віддалених ділянках [14].

Системи попередження та сповіщення. Автоматизовані системи попередження дозволяють операторам отримувати миттєві повідомлення про можливі проблеми або аварійні ситуації, що дозволяє проводити необхідні заходи швидко та точно.

Інтеграція ГІС (географічних інформаційних систем). Дозволяє інтегрувати дані про стан мереж транспортування води з географічними картами, забезпечуючи найкраще розуміння місцезнаходження проблемних зон.

Ці системи дозволяють операторам систем водопостачання проактивно реагувати на проблеми, підвищувати ефективність обслуговування і покращувати загальну надійність інфраструктури. Використання новітніх технологій у моніторингу та діагностиці допомагає скоротити тимчасові та

матеріальні витрати на ремонт та обслуговування, а також зменшує втрати води у системах водопостачання [16].

Технології реконструкції мереж транспортування води без копання траншеї, також відомі як Trenchless Technologies, дозволяють оновлювати або ремонтувати трубопроводи, мінімізуючи або повністю уникаючи розтину землі для доступу до труб.

Прокладка труб шляхом горизонтального буріння (Horizontal Directional Drilling, HDD). Цей метод дозволяє прокласти нові трубопроводи без розкриття поверхні землі. Спеціальне бурове обладнання дозволяє прокласти труби під землею по заданому напрямку та глибині.

Реновація трубопроводів з використанням лінерів (Cured-in-Place Pipe, CIPP). Цей метод включає внутрішнє облицювання існуючих труб з використанням спеціальних матеріалів (наприклад, смоли), які тверднуть, створюючи новий шар усередині старої труби. Це дозволяє усунути корозію та інші пошкодження, не вимагаючи повної заміни труб.

Ретрофітинг (модернізація). Цей метод включає поліпшення існуючих трубопроводів шляхом додавання посиленних матеріалів або нових елементів (наприклад, встановлення внутрішніх укріплень або захисних покриттів), щоб продовжити їх термін служби та підвищити надійність.

Методи гідравлічного розриву (Pipe Bursting). Цей метод включає руйнування існуючих труб для подальшого укладання нових труб на їх місце. Це досягається шляхом застосування гідравлічного тиску для руйнування старих труб та укладання нових труб уздовж того ж маршруту.

Роботизовані системи ремонту. Використовуються спеціальні роботи та апарати для виконання ремонту та обслуговування всередині труб, мінімізуючи необхідність у розтині траншеї.

Ці технології зазвичай сприяють скороченню часу та витрат на оновлення мереж транспортування води, зниженню можливих порушень навколишнього середовища, а також зменшенню впливу на населені райони

та інфраструктуру. Крім того, вони зазвичай забезпечують триваліший термін служби систем водопостачання після реконструкції.

Застосування нових композитних матеріалів під час реконструкції мереж транспортування води є важливим напрямом збільшення стійкості трубопроводів, їх довговічності і зниження ймовірності корозії. Композитні матеріали являють собою з'єднання двох або більше різних матеріалів, забезпечуючи унікальні властивості та переваги [17,18].

Склопластик (скловолокно з полімером). Труби зі склопластику мають високу міцність і корозійну стійкість. Вони можуть бути легкими та довговічними, стійкими до хімічної дії води, що дозволяє їм мати тривалий термін служби.

Композити з вуглеволокном. Ці матеріали мають високу міцність і жорсткість при відносно малій вазі. Вони можуть бути ефективними при створенні труб великого діаметру для транспортування води.

Труби з полімерним покриттям, що напилюється. Цей метод включає в себе створення шару полімерного покриття на сталевих трубах. Він захищає труби від корозії, запобігаючи проникненню води та хімічних речовин.

Використання наноматеріалів у комбінації з основними матеріалами для покращення їх властивостей. Наприклад, додавання наночастинок може збільшити міцність та стійкість до корозії трубопроводів.

Труби з полімерними матрицями та армуванням скловолокном або вуглеволокном: Ці труби поєднують у собі міцні полімерні матриці з посиленими скловолокном або вуглеволокном, забезпечуючи легкість, високу міцність та стійкість до корозії.

Застосування композитних матеріалів дозволяє збільшити довговічність трубопроводів, знизити витрати на обслуговування та ремонт, а також зменшити ймовірність руйнування систем водопостачання через корозію чи інші зовнішні впливи. Ці матеріали зазвичай мають кращі характеристики порівняно з традиційними матеріалами, що робить їх привабливими для інженерів та операторів водопостачання [18,19].

Використання роботизованих систем при реконструкції мереж транспортування води відіграє важливу роль в обстеженні, обслуговуванні та ремонті трубопроводів. Роботи забезпечують можливість виконання операцій усередині трубопроводів та інших важкодоступних місць, де людині важко чи небезпечно працювати. Використання роботів в інфраструктурі водопостачання може бути в багатьох випадках та для різних потреб.

Інспекція та моніторинг. Роботи обладнані камерами, сенсорами та іншими пристроями для візуальної перевірки стану труб, виявлення дефектів, витоків та інших проблем усередині трубопроводів.

Очищення та усунення проблем. Роботи здатні виконувати завдання з очищення труб від відкладень, включаючи іржу, відкладення та біологічні відкладення, які можуть призвести до звуження або засмічення у трубопроводах.

Ремонт та зміцнення. Деякі роботи здатні виконувати ремонтні роботи всередині трубопроводів. Наприклад, вони можуть наносити захисні покриття або зміцнювати поверхню труб, запобігаючи корозії.

Діагностика та збір даних. Роботи можуть збирати дані про стан труб та навколишнього середовища, включаючи вимірювання товщини стінок труб, температури, тиску та інших параметрів.

Ремонт у важкодоступних місцях. Роботи можуть обслуговувати труби на ділянках, де доступ для людини обмежений, таких як підземні трубопроводи або області з обмеженим простором [19].

Ці роботизовані системи часто керуються операторами ззовні або можуть бути автономними, залежно від їхньої конструкції та цілей роботи. Вони допомагають підвищити ефективність та безпеку операцій реконструкції та обслуговування мереж транспортування води, зменшують вплив на навколишнє середовище та знижують тимчасові та фінансові витрати на обслуговування інфраструктури водопостачання.

Найновіші методи моделювання та аналізу даних відіграють ключову роль у плануванні, управлінні та реконструкції мереж транспортування води.

Ці методи включають використання передових технологій для аналізу великих обсягів даних і моделювання для більш ефективного управління та оновлення інфраструктури водопостачання.

Геоінформаційні системи (ГІС) дозволяють збирати, зберігати, аналізувати та відображати географічну інформацію. У контексті водопостачання ГІС використовуються для створення цифрових карт мереж трубопроводів, водозабірних вузлів, станцій очищення та іншої важливої інформації.

Моделювання гідравліки та розподілу води дозволяють інженерам та операторам передбачати потоки води, тиск, швидкість та інші характеристики у системах водопостачання. Використовуються для оптимізації процесів розподілу води та планування реконструкції.

Штучний інтелект та машинне навчання. Алгоритми машинного навчання використовуються для аналізу даних та виявлення патернів, що дозволяє передбачати можливі проблеми, такі як витoki, пошкодження чи інші аномалії у роботі систем [20].

Оптимізація ресурсів та ефективності. Аналіз даних дозволяє оптимізувати процеси використання ресурсів, управління витратою води, розподілу тиску та тим самим підвищувати ефективність роботи систем водопостачання.

Системи прогнозування та реагування на надзвичайні ситуації. Моделювання даних використовується для прогнозування можливих ситуацій аварійного характеру або змін як води, що дозволяє операторам систем швидко реагувати та вживати заходів щодо запобігання проблемам.

Ці методи дозволяють аналізувати та використовувати дані для покращення процесів управління та обслуговування мереж транспортування води. Вони допомагають збільшити прозорість, надійність та ефективність водопостачання, що особливо важливо в умовах сталого та безпечного забезпечення водою для населення [19].

Нові енергоефективні технології відіграють важливу роль у підвищенні ефективності та зниженні витрат водопостачання під час реконструкції мереж транспортування води.

Енергозберігаючі системи насосів та керування потоком. Системи керування насосами, які регулюють швидкість насосів відповідно до фактичних потреб, допомагають знизити енергоспоживання та знос обладнання. Це зменшує витрати обслуговування і підвищує ефективність системи водопостачання.

Використання відновлюваних джерел енергії. Впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітряні турбіни, для живлення систем водопостачання та обробки води. Це дозволяє знизити залежність від традиційних джерел енергії, таких як вугілля чи нафту.

Технології рециркуляції та повторного використання води. Впровадження систем рециркуляції та повторного використання води, які дозволяють використовувати воду повторно, наприклад, для зрошення чи промисловості, що зменшує загальний обсяг споживання.

Покращені технології очищення води. Розробка та впровадження більш ефективних та енергоефективних методів очищення води, які дозволяють знизити енергоспоживання систем очищення та покращити якість води [23].

Системи управління та моніторингу енергоспоживання. Впровадження систем моніторингу та управління, які безперервно відстежують та аналізують енергоспоживання інфраструктури водопостачання, що дозволяє виявляти місця втрат та оптимізувати енергоспоживання.

Використання енергоефективних матеріалів та технологій. Застосування нових матеріалів із покращеними енергозберігаючими властивостями для конструкції трубопроводів та інших елементів системи водопостачання.

Ці технології допомагають знизити витрати на енергію, скоротити негативний вплив на довкілля та підвищити загальну ефективність систем водопостачання. Інтеграція енергоефективних технологій у реконструкцію

мереж транспортування води важлива для сталого використання водних ресурсів та підтримки екологічної стійкості.

Нові системи очищення та обробки води, які застосовуються при реконструкції мереж транспортування води, розроблені для покращення якості води, зниження забруднення та забезпечення безпечного водопостачання для населення [24].

Мембранні технології включають ультрафільтрацію, зворотний осмос та мікрофільтрацію, де спеціальні мембрани видаляють частинки, бактерії та забруднювачі з води. Це ефективні методи очищення, які забезпечують високу якість питної води.

Фільтрування через активне вугілля та адсорбція використовується для видалення хімічних забруднень, органічних сполук та важких металів із води. Активне вугілля має здатність адсорбувати різні шкідливі речовини.

Ультрафіолетова (УФ) обробка. УФ-випромінювання використовується для знищення мікроорганізмів та вірусів у воді, забезпечуючи безпеку питної води.

Озонування - процес, під час якого озон застосовується для усунення бактерій, вірусів та органічних забруднень. Озон також допомагає покращити смак та запах води.

Електрохімічна обробка включає використання електрики для знезараження води та усунення забруднень.

Використання нанотехнологій. Наноматеріали використовуються для фільтрації води та видалення найменших забруднень.

Методи обробки хімічними реагентами включають додавання спеціальних хімічних реагентів для осадження, коагуляції та флокуляції забруднень, що полегшує видалення їх з води.

Ці системи призначені для усунення різних забруднень та мікроорганізмів у воді, забезпечуючи її безпеку для споживання. Їх застосування при реконструкції мереж транспортування води допомагає

підвищити якість води та захистити громадське здоров'я, запобігаючи захворюванням, викликаним забрудненою водою [21].

Всі новітні технології, що використовуються при реконструкції мереж транспортування води, прагнуть забезпечення стійкого, ефективного та безпечного водопостачання. Ці інновації включають різноманітні методи: від використання композитних матеріалів для поліпшення міцності трубопроводів до роботизованих систем для внутрішнього обслуговування та моніторингу мереж. Технології моделювання та аналізу даних відіграють ключову роль у плануванні та управлінні, забезпечуючи оптимізацію ресурсів та передбачуваність роботи систем. Енергоефективні рішення дозволяють скоротити витрати на енергію, тоді як нові методи очищення та обробки води гарантують якість питної води споживачам. Загалом ці технології сприяють поліпшенню структурної міцності, безпеки та стійкості мереж транспортування води, сприяючи забезпеченню доступу до чистої та надійної води для суспільства [23].

1.5 Задачі кваліфікаційної роботи

1.5.1. Проаналізувати, як протягом експлуатації змінюються гідравлічні характеристики ділянок водопровідної мережі.

Задача вимагає детального дослідження впливу часу та експлуатаційних факторів на ефективність функціонування гідравлічної системи водопостачання. Ось більш докладний опис кроків, які можуть включатися у вирішення цього завдання:

1. Збір даних про водопровідну мережу: отримання та аналіз схеми водопровідної мережі, включаючи розподіл труб, насосів, резервуарів та інших елементів; збір інформації про початкові параметри системи, такі як діаметр труб, тиск у вузлах, витрата води, висоти підйому насосів і т.д.

2. Моніторинг та вимірювання: розробка плану регулярного моніторингу гідравлічних характеристик мережі; встановлення датчиків для вимірювання таких параметрів, як тиск, витрата води, швидкість потоку та інші важливі параметри.

3. Вивчення змін у часі: аналіз даних, зібраних у різні періоди часу, виявлення змін у гідравлічних характеристиках; дослідження впливу факторів, таких як зношування труб, утворення відкладень, корозія, зміна витрати води через зростання або зменшення чисельності населення, та інші експлуатаційні фактори.

4. Оцінка ефективності насосів та регуляторів: аналіз роботи насосів та регулюючих пристроїв для визначення їх ефективності; оцінка змін у тиску та витраті води під час роботи системи.

5. Моделювання системи: використання математичних моделей для передбачення змін гідравлічних характеристик у майбутньому; сценарне моделювання з метою оцінки впливу планових змін у системі її гідравлічні параметри.

6. Розробка рекомендацій: визначення проблемних ділянок та пропозиція рекомендацій щодо їх поліпшення чи заміни; розробка стратегії підтримки та поліпшення гідравлічних характеристик водопровідної мережі на основі результатів аналізу.

Цей підхід дозволяє не лише моніторити поточний стан гідравлічної системи, а й прогнозувати її майбутній розвиток, що важливо для забезпечення ефективною та надійною роботи водопостачання протягом усього періоду експлуатації.

1.5.2. Дослідити вплив зміни гідравлічних характеристик ділянок на розподіл тиску в мережі.

Дослідження передбачає більш поглиблений аналіз того, як зміни параметрів окремих ділянок можуть вплинути на загальний тиск у системі:

- Визначення вихідних гідравлічних характеристик: збір та аналіз даних про початкові гідравлічні характеристики мережі, включаючи діаметри труб, коефіцієнти шорсткості, висоту рівня води в резервуарах, витрату води та інші параметри.

- Моделювання мережі: використання математичних моделей гідравлічної мережі для створення віртуального представлення системи; врахування моделі особливостей кожної ділянки з урахуванням відомих гідравлічних характеристик.

- Внесення змін на ділянках: зміна гідравлічних характеристик окремих ділянок, таких як заміна труб, додавання чи видалення насосів, регулювання діаметрів труб тощо; оцінює ефект цих змін на гідравлічні параметри ділянок і, отже, на розподіл тиску в мережі.

- Моніторинг тиску: розміщення датчиків тиску на різних ділянках мережі для постійного моніторингу змін; збір даних про тиск у різних точках мережі у різні моменти часу.

- Аналіз даних: дослідження змін у розподілі тиску у системі після внесення змін на ділянках; визначення областей з найбільшими змінами тиску та виявлення причин цих змін.

- Оцінка стабільності системи: оцінка стабільності системи у тих змін гідравлічних характеристик; ідентифікація можливих проблем, як-от зони з недостатнім тиском або перевантажені ділянки.

- Розробка рекомендацій: пропозиція рекомендацій щодо оптимізації гідравлічних характеристик на ділянках з метою покращення розподілу тиску в мережі; розробка плану підтримки оптимальних гідравлічних умов у мережі у довгостроковій перспективі.

Цей процес дозволяє не тільки виявити проблеми у розподілі тиску у водопровідній мережі, але й запропонувати конкретні кроки для їх вирішення та забезпечення більш ефективної та надійної роботи системи загалом.

1.5.3. Дослідити можливі варіації утворення та величини зон недостатнього напору в мережі в процесі її експлуатації.

Ця задача, спрямована на виявлення областей з недостатнім тиском у системі водопостачання протягом часу.

Визначення початкових умов. Збір та аналіз даних про початкові параметри мережі, включаючи гідравлічні характеристики, діаметри труб, витрата води, розподіл насосів та резервуарів, а також інші фактори, що впливають на тиск.

Моніторинг змін у мережі. Встановлення датчиків тиску та витрати води на різних ділянках мережі. Регулярний моніторинг цих параметрів протягом часу з метою виявлення змін натиску в різних зонах мережі.

Вивчення причин змін. Аналіз даних для виявлення можливих причин змін у натиску, таких як зношування труб, корозія, утворення відкладень, зміни у витраті води, збої в роботі насосів та інші експлуатаційні фактори.

Моделювання гідравлічної мережі. Використання математичних моделей для моделювання гідравлічної поведінки мережі з урахуванням змін у гідравлічних характеристиках та інших факторах. Порівняння результатів моделювання із фактичними даними для верифікації моделі.

Визначення зон недостатнього напору. Ідентифікація ділянок мережі, де можливі або відбуваються зони з недостатнім натиском. Оцінка величини та тривалості цих зон.

Розробка стратегії запобігання та усунення проблем. Пропозиція рекомендацій щодо покращення гідравлічних характеристик ділянок з недостатнім натиском. Розробка плану з регулярного технічного обслуговування та профілактики з метою запобігання можливим проблемам.

Оцінка ефективності заходів. Моніторинг системи після внесення змін та заходів щодо покращення напору. Порівняння даних до та після внесення змін для оцінки ефективності запропонованих заходів.

Цей підхід дозволяє не тільки виявити зони недостатнього напору у водопровідній мережі, але й запропонувати конкретні кроки для їх усунення та запобігання майбутньому, забезпечуючи більш стабільне та ефективне функціонування системи водопостачання.

1.5.4. Визначити найбільш економічний спосіб недопущення утворення зон недостатніх напорів.

Це комплексне завдання, що включає аналіз різних технічних, економічних і організаційних аспектів.

Дослідження гідравлічної мережі. Проведення докладного аналізу поточного стану гідравлічної мережі, включаючи вивчення даних про тиск, витрату води, діаметри труб, місцезнаходження насосів і резервуарів.

Оцінка ризиків та вартості існуючих проблем. Ідентифікація ділянок мережі, де можливо утворення зон з недостатнім натиском. Оцінка ступеня впливу цих зон на працездатність системи та рівень обслуговування споживачів.

Аналіз технічних рішень. Розгляд різних методів для запобігання утворенню зон недостатнього напору, таких як збільшення діаметра труб, встановлення додаткових насосів, регулювання тиску та інші інженерні рішення.

Економічне моделювання. Розробка моделі, що враховує вартість застосування різних технічних рішень. Облік витрат на обладнання, матеріали, трудовитрати, обслуговування та енергоспоживання.

Оцінка операційних витрат. Аналіз поточних операційних витрат, пов'язаних із сервісом та ремонтом системи. Оцінка того, як зміни в системі можуть впливати на майбутні операційні витрати.

Порівняльний аналіз. Порівняння різних варіантів щодо їх економічної ефективності. Облік термінів окупності та загальної вартості володіння кожному за варіанта.

Розробка рекомендацій. Формування рекомендацій щодо вибору більш економічного методу запобігання зонам недостатнього натиску в даній системі. Включення плану поетапного застосування змін, якщо це необхідно.

План моніторингу та адаптації. Розробка плану моніторингу з метою оцінки ефективності впроваджених змін. Передбачення можливості коригування стратегії залежить від зміни умов та вимог.

Цей підхід допомагає визначити оптимальний баланс між технічною ефективністю та економічною доцільністю для запобігання зонам недостатнього напору у водопровідній мережі, забезпечуючи стійку та надійну роботу системи в майбутньому.

1.5.5. Розробити рекомендації щодо врахування впливу гідравлічних характеристик ділянок на розподіл тиску в мережі на стадії її проектування.

Завдання, спрямоване забезпечення оптимальної роботи системи вже на етапі створення проекту.

Вихідний аналіз території. Проведення детального аналізу території, на якій буде збудовано водопровідну мережу. Вивчення ландшафту, рельєфу, геологічних особливостей, що можуть впливати на гідравлічні умови.

Визначення споживачів та витрат води. Ідентифікація та класифікація споживачів води (будинки, підприємства, громадські установи). Прогнозування витрат води з урахуванням характеристик споживачів.

Моделювання гідравлічної мережі. Використання спеціалізованих програмних засобів для моделювання гідравлічної поведінки мережі. Включення до моделі всіх ділянок з урахуванням їх гідравлічних характеристик.

Визначення критичних ділянок. Ідентифікація ділянок, де можуть виникнути проблеми з тиском (зони недостатнього чи надлишкового напору). Аналіз причин можливих змін у гідравлічних характеристиках цих ділянок.

Розробка технічних рішень. Пропозиція технічних рішень для обліку та мінімізації впливу гідравлічних характеристик ділянок на розподіл тиску. Розгляд варіантів, таких як оптимізація діаметрів труб, встановлення регулювальних пристроїв, розподіл насосів та інші інженерні рішення.

Економічне обґрунтування. Оцінка економічної ефективності запропонованих технічних рішень. Розробка кошторису витрат за впровадження запропонованих змін.

Розробка рекомендацій. Формулювання конкретних рекомендацій для інженерів та проектувальників щодо обліку гідравлічних характеристик ділянок у процесі проектування. Вказівка на необхідність регулярного оновлення та корекції проекту з урахуванням змін у гідравлічних умовах.

Навчання персоналу. Організація навчання інженерів та проектувальників з правильного обліку гідравлічних характеристик на стадії проектування. Підготовка рекомендацій для персоналу щодо підтримки та моніторингу гідравлічної системи в процесі експлуатації.

Вирішення цього завдання допомагає мінімізувати ризики виникнення проблем із тиском у водопровідній мережі, забезпечуючи стабільне та ефективне функціонування системи від початку її експлуатації.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір об'єктів для дослідження та формування вихідних даних

Метою дослідження є аналіз впливу зміни пропускної здатності ділянок мережі на динаміку тиску в мережі.

Дослідження охоплює ділянку водопровідної мережі у правій прибережній зоні Запорізької області.

Водопровідна мережа в Запорізькій області знаходиться на балансі комунального підприємства "Водоканал" [32].

Джерелом води є річка Дніпро, яка постачає воду від водозабору до очисних споруд на Дніпровській водопровідній станції №2.

Матеріал трубопроводу мережі – це чавун без захисного покриття. Діаметр труб, що були прокладені, від 150 мм до 1600 мм.

Водопровідна мережа – кільцева. Вона має 12 кілець та 60 ділянок на яких розташовано 47 вузлів водорозбору.

Для підтримання необхідного вільного напору водопровідна мережа обладнана Хортицькою насосною станцією – II підйому.

Обраний для дослідження район міста має 5-ти поверхову забудову, тобто мінімальний вільний напір на вводі в будівлю повинен визначатися за формулою [16]:

$$H_B = 6 + 4 \cdot n, \quad (2.1)$$

де H_B – мінімальний вільний напір, м;

n – кількість поверхів.

Вільний напір досліджуваної водопровідної мережі становить:

$$H_B = 6 + 4 \cdot 5 = 26 \text{ м.}$$

Згідно з п.6.3.1 [16] максимальний вільний напір повинен не перевищувати 45 м на вводі в будівлю.

Водоспоживання на східному вузлі повинно бути розподілене по ділянці водопровідної мережі, що підходить до вузла, з дотриманням наступних умов:

$$\sum q_{i-k} - Q_{\text{вуз.}} = 0, \quad (2.2)$$

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

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

Гідравлічна ув'язка мережі виконується для визначення фактичного розподілу потоку вздовж ліній мережі для вже обраних діаметрів труб. Він буде відрізнятися від попереднього розподілу потоку тільки тому, що він був визначений за першим законом Кірхгофа. При цьому не враховувалася умова другого закону Кірхгофа:

$$\sum h_{i-k} = 0, \quad (2.3)$$

де h_{i-k} – втрата напору в лініях, які утворюють кільце.

Ув'язку мережі виконуємо на ЕОМ за програмою «Гідрастр» [20].

Для комп'ютерного розрахунку мережі необхідно підготувати вихідні дані відповідно до вимог програми.

Нижче наведено результати розрахунку гідравлічного зв'язку водопровідної мережі для випадку максимального водоспоживання, а нижче

наведено результати для випадку пожежі при максимальному водоспоживанні.

Після отримання результатів розрахунку слід підготувати остаточну схему мережі для розрахункового режиму роботи. При нанесенні результатів розрахунку на схему всі значення округлюються з точністю до 0,01.

Після оформлення схеми перевіряється додержання умов ув'язки мережі:

$$\sum q_{\text{вузл.}} = 0 ; \sum h_{\text{к.}} \leq 0,01 \quad (2.4)$$

Якщо умова (2.4) виконується, слід проаналізувати значення втрат тиску на кожній ділянці мережі для різних режимів роботи. Якщо втрати тиску на деяких ділянках надмірно високі, діаметр трубопроводу на цій ділянці слід змінити на більший і повторити розрахунки мережі для всіх режимів на комп'ютері.

Гідравлічні розрахунки для водопровідної мережі м. Запоріжжя були виконані на комп'ютері за допомогою програми [20]. Вихідні дані для розрахунків наведені на рисунку 2.1. Результати розрахунків наведені у додатку А на рисунку А.1.

e= .01000 nk= 12 ny= 60
Вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	5118.00	1857.00	1600.00	с	2	742.00	1830.00	1400.00	с	3	500.00	1819.00	1400.00	с
4	1050.00	466.00	700.00	с	5	750.00	400.00	700.00	с	6	750.00	345.00	600.00	с
7	600.00	312.00	600.00	с	8	750.00	1304.00	900.00	с	9	1750.00	1590.00	1200.00	с
10	400.00	463.00	600.00	с	11	800.00	23.00	200.00	с	12	650.00	425.00	600.00	с
13	1000.00	203.00	500.00	с	14	650.00	141.00	400.00	с	15	650.00	48.00	300.00	с
16	450.00	62.00	300.00	с	17	950.00	11.00	150.00	с	18	400.00	40.00	200.00	с
19	600.00	23.00	150.00	с	20	550.00	75.00	300.00	с	21	350.00	108.00	300.00	с
22	800.00	150.00	400.00	с	23	300.00	1099.00	900.00	с	24	1850.00	219.00	500.00	с
25	150.00	144.00	400.00	с	26	350.00	99.00	300.00	с	27	1500.00	84.00	400.00	с
28	1000.00	27.00	200.00	с	29	2100.00	73.00	400.00	с	30	9170.00	801.00	1000.00	с
31	485.00	79.00	300.00	с	32	900.00	34.00	200.00	с	33	900.00	10.00	150.00	с
34	900.00	14.00	150.00	с	35	800.00	26.00	200.00	с	36	343.00	345.00	500.00	с
37	600.00	330.00	500.00	с	38	750.00	140.00	400.00	с	39	630.00	40.00	300.00	с
40	370.00	25.00	200.00	с	41	700.00	10.00	150.00	с	42	850.00	11.00	150.00	с
43	400.00	81.00	400.00	с	44	300.00	49.00	300.00	с	45	550.00	36.00	300.00	с
46	400.00	147.00	400.00	с	47	1400.00	100.00	400.00	с	48	1800.00	161.00	500.00	с
49	500.00	152.00	400.00	с	50	200.00	164.00	400.00	с	51	700.00	130.00	300.00	с
52	700.00	132.00	300.00	с	53	1300.00	78.00	300.00	с	54	1171.00	58.00	300.00	с
55	1100.00	181.00	400.00	с	56	500.00	200.00	500.00	с	57	800.00	154.00	400.00	с
58	400.00	164.00	150.00	с	59	750.00	291.00	500.00	с	60	500.00	377.00	700.00	с

Рисунок 2.1 – Вихідні дані для гідравлічного розрахунку водопровідної мережі

Критичні швидкості на ділянках водопровідної мережі: $v_{max} = 2,21$ м/с (ділянка від вузла №3 до вузла №7) та $v_{min} = 0,49$ м/с (ділянка від вузла №24 до вузла №14). Така мала швидкість зумовлена великою протяжністю ділянки та незначною витратою на ній.

Критичні втрати напору на ділянках водопровідної мережі: $H_{min} = 0,49$ м (ділянка від вузла №2 до вузла №3) та $H_{max} = 10,47$ м (ділянка від вузла №20 до вузла Хортицької насосної станції II підйому). Досить велика втрата напору зумовлена великою протяжністю ділянки – 9170 м.

Наступні рівняння використовуються для визначення п'езометричних позначок та вільного напору води у вузлах мережі:

$$P_i = P_{i+1} - \Delta h_{P_i-P_{i+1}}, \quad (2.5)$$

$$H_{vi} = P_i - z_i, \quad (2.6)$$

де P_i – п'езометрична позначка i -того вузла, м;

P_{i+1} – п'езометрична позначка попереднього вузла, м;

$\Delta h_{P_i-P_{i+1}}$ – втрата напору на ділянці між двома вузлами, м;

H_{vi} – вільний напір i -того вузла, м;

z_i – позначка землі i -того вузла, м.

Мінімальний вільний напір водопровідної мережі м. Запоріжжя $H_v = 26$ м (з рівняння 2.1). Мережа має два вузли з таким напором: вузли №16 та №39. Позначки землі та п'езометричні позначки Дніпровської водопровідної станції – II та Хортицької насосної станції – II-го підйому – відомі: $P_{двс-II} = 113,50$ м та $P_{Хорт.НС} = 142,37$ м.

Отримані результати розрахунку п'езометрів та вільних напорів у вузлах мережі наведені у додатку А в табл.А.1.

П'езометрична карта вихідної мережі зображена у графічній частині [лист 1].

2.2 Моделювання зміни умов водоспоживання

Моделювання зміни умов водоспоживання базується на зміні пропускної здатності трубопроводу через 5, 10, 15, 20 і 30 років експлуатації.

Внутрішній діаметр трубопроводу зменшується в процесі експлуатації через заростання внутрішньої стінки та утворення відкладень.

Відкладення, що утворюються на внутрішній поверхні трубопроводу, є продуктом складних фізико-хімічних процесів, які відбуваються в самому трубопроводі або в нанесеному захисному покритті, а також у воді, що транспортується по трубопроводу. У деяких випадках відкладення в трубопроводах є продуктом біологічної активності мікроорганізмів, які в силу сформованих умов живуть у водопроводі [26].

Характер відкладень в трубопроводах, як правило, визначається:

- фізико-хімічними властивостями води;
- умовами експлуатації мережі;
- тривалістю служби трубопроводів.

На утворення осаду в трубах сильно впливає склад транспортної води, матеріал самих труб, наявність і якість ізоляційного (футерувального) покриття та швидкість, з якою рухається вода. У багатьох випадках утворення осаду супроводжується осіданням зважених речовин у воді. На Запорізькому водогоні утворення мінеральних суспензій все ще відбувається, незважаючи на те, що по трубопроводу транспортується вода з низьким вмістом завислих речовин.

Попередні експерименти щодо хімічного складу осадів у водогонах показують, що у всіх випадках осади містять високий вміст певних хімічних речовин, таких як оксид заліза, органічні сполуки та кальцій. Це вказує на те, що в кожному випадку утворення відкладень спостерігається кілька процесів, один з яких є основним, що спричиняє зменшення пропускної здатності труби [27].

Згідно з попереднім дослідженням деяких існуючих міських та промислових систем водопостачання, основними причинами утворення осаду є:

- випадання карбонату кальцію з води, що транспортується;
- агресивна дія води, що транспортується на внутрішню поверхню труб;
- підвищений вміст заліза, біологічне обростання;
- випадання зважених речовин.

Моделювання пропускної здатності ділянок виконується за трьома варіантами [лист 2]:

- 1 варіант – ділянки діаметром $D=150-200$ мм;
- 2 варіант – ділянки діаметром $D=250-400$ мм;
- 3 варіант – ділянки діаметром $D=150-800$ мм.

2.3 Аналіз зміни гідравлічних характеристик мережі з урахуванням пропускної здатності окремих ділянок

Для аналізу змін гідравлічних характеристик мережі з урахуванням пропускної здатності окремих ділянок використовуються рівняння 1.2, 1.3 і 1.4 для визначення діаметра трубопроводу через 5, 10, 15, 20 і 30 років.

Розрахунок діаметру чавунної труби діаметром $D=150$ мм без внутрішнього захисного покриття: $q=0,01997$ м³/с, $L=400$ м, $h=6,52$ м, $a_1=1,5$, $a_2=0,7$, $k=0,00163$, $B=1,81$, $m=4,90$

а) через 5 років ($T=5$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{6,52}{400} = 0,0163,$$

$$K_{\text{ШОВ}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0163 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,01997^{1,81}}{0,15^{4,90}} = 1,0944,$$

$$K_{S5} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,15}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 5) = 1,7614,$$

$$i = 1,7614 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,01997^{1,81}}{0,15^{4,90}} = 0,0262,$$

$$d_{p5} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0944 \cdot 0,00163 \cdot 0,15^{1,81}}{0,0262}} = 0,136 \text{ м.}$$

Через 5 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p5} = 136$ мм, тобто зменшиться на 9,26%.

б) через 10 років ($T= 10$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{6,52}{400} = 0,0163 ,$$

$$K_{\text{SHOB}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0163 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,01997^{1,81}}{0,15^{4,90}} = 1,0944 ,$$

$$K_{S10} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,15}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 10) = 1,9864 ,$$

$$i = 1,9864 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,01997^{1,81}}{0,15^{4,90}} = 0,0296 ,$$

$$d_{p10} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0944 \cdot 0,00163 \cdot 0,15^{1,81}}{0,0296}} = 0,133 \text{ м.}$$

Через 10 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p10} = 133$ мм, тобто зменшиться на 11,46%.

в) через 15 років ($T= 15$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{6,52}{400} = 0,0163 ,$$

$$K_{\text{SHOB}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0163 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,01997^{1,81}}{0,15^{4,90}} = 1,0944 ,$$

$$K_{S15} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,15}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 15) = 2,1232 ,$$

$$i = 2,1232 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,01997^{1,81}}{0,15^{4,90}} = 0,0316 ,$$

$$d_{p15} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0944 \cdot 0,00163 \cdot 0,15^{1,81}}{0,0316}} = 0,131 \text{ м.}$$

Через 15 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p15} = 131$ мм, тобто зменшиться на 12,65%.

г) через 20 років ($T=20$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{6,52}{400} = 0,0163,$$

$$K_{\text{ШОВ}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0163 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,01997^{1,81}}{0,15^{4,90}} = 1,0944,$$

$$K_{S20} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,15}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 20) = 2,2217,$$

$$i = 2,2217 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,01997^{1,81}}{0,15^{4,90}} = 0,0331,$$

$$d_{p20} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{ШОВ}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0944 \cdot 0,00163 \cdot 0,15^{1,81}}{0,0331}} = 0,130 \text{ м.}$$

Через 20 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p20} = 130$ мм, тобто зменшиться на 13,46%.

д) через 30 років ($T=30$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{6,52}{400} = 0,0163,$$

$$K_{\text{ШОВ}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0163 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,01997^{1,81}}{0,15^{4,90}} = 1,0944,$$

$$K_{S30} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,15}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 30) = 2,3621,$$

$$i = 2,3621 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,01997^{1,81}}{0,15^{4,90}} = 0,0352,$$

$$d_{p30} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{ШОВ}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0944 \cdot 0,00163 \cdot 0,15^{1,81}}{0,0352}} = 0,128 \text{ м.}$$

Через 30 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p30} = 128$ мм, тобто зменшиться на 14,53%.

1. Розрахунок діаметру чавунної труби діаметром $D=200$ мм без внутрішнього захисного покриття: $q=0,03812 \text{ м}^3/\text{с}$, $L=400$ м, $h=5,11$ м, $a_1=1,5$, $a_2=0,7$, $k=0,00163$, $B=1,81$, $m=4,90$

а) через 5 років ($T=5$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{5,11}{400} = 0,0128,$$

$$K_{\text{SHOB}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0128 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,20^{4,90}} = 1,0898,$$

$$K_{S5} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,20}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 5) = 1,7337,$$

$$i = 1,7337 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,20^{4,90}} = 0,0203,$$

$$d_{p5} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0898 \cdot 0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,0203}} = 0,182 \text{ м.}$$

Через 5 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p5} = 182$ мм, тобто зменшиться на 9,04%.

б) через 10 років ($T = 10$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{5,11}{400} = 0,0128,$$

$$K_{\text{SHOB}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0128 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,20^{4,90}} = 1,0898,$$

$$K_{S10} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,20}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 10) = 1,9505,$$

$$i = 1,9505 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,20^{4,90}} = 0,0229,$$

$$d_{p10} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0898 \cdot 0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,0229}} = 0,178 \text{ м.}$$

Через 10 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p10} = 178$ мм, тобто зменшиться на 11,20%.

в) через 15 років ($T = 15$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{5,11}{400} = 0,0128,$$

$$K_{\text{SHOB}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0128 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,20^{4,90}} = 1,0898,$$

$$K_{S15} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,20}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 15) = 2,0823,$$

$$i = 2,0823 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,20^{4,90}} = 0,0244 ,$$

$$d_{p15} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0898 \cdot 0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,0244}} = 0,175 \text{ м.}$$

Через 15 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p15} = 175$ мм, тобто зменшиться на 12,38%.

г) через 20 років ($T=20$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{5,11}{400} = 0,0128 ,$$

$$K_{\text{SHOB}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0128 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,20^{4,90}} = 1,0898 ,$$

$$K_{S20} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,20}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 20) = 2,1773 ,$$

$$i = 2,1773 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,20^{4,90}} = 0,0255 ,$$

$$d_{p20} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0898 \cdot 0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,0255}} = 0,174 \text{ м.}$$

Через 20 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p20} = 174$ мм, тобто зменшиться на 13,17%.

д) через 30 років ($T=30$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{5,11}{400} = 0,0128 ,$$

$$K_{\text{SHOB}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0128 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,20^{4,90}} = 1,0898 ,$$

$$K_{S30} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,20}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 30) = 2,3126 ,$$

$$i = 2,3126 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,20^{4,90}} = 0,0271 ,$$

$$d_{p30} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0898 \cdot 0,00163 \cdot 0,03812^{1,81}}{0,0271}} = 0,172 \text{ м.}$$

Через 30 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p30} = 172$ мм, тобто зменшиться на 14,23%.

2. Розрахунок діаметру чавунної труби діаметром $D=300$ мм без внутрішнього захисного покриття: $q=0,11327\text{м}^3/\text{с}$, $L=350$ м, $h=4,6$ м, $a_1=1,5$, $a_2=0,7$, $k=0,00163$, $B=1,81$, $m=4,90$

а) через 5 років ($T=5$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{4,6}{350} = 0,0131,$$

$$K_{\text{ШОВ}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0131 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,30^{4,90}} = 1,1388,$$

$$K_{S5} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,30}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 5) = 1,7060,$$

$$i = 1,7060 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,30^{4,90}} = 0,0197,$$

$$d_{p5} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{ШОВ}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,1388 \cdot 0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,0197}} = 0,182 \text{ м.}$$

Через 5 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p5} = 276$ мм, тобто зменшиться на 7,92%.

б) через 10 років ($T=10$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{4,6}{350} = 0,0131,$$

$$K_{\text{ШОВ}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0131 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,30^{4,90}} = 1,1388,$$

$$K_{S10} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,30}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 10) = 1,9146,$$

$$i = 1,9146 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,30^{4,90}} = 0,0221,$$

$$d_{p10} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{ШОВ}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,1388 \cdot 0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,0221}} = 0,270 \text{ м.}$$

Через 10 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p10} = 270$ мм, тобто зменшиться на 10,06%.

в) через 15 років ($T=15$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{4,6}{350} = 0,0131,$$

$$K_{\text{SHOB}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0131 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,30^{4,90}} = 1,1388,$$

$$K_{S15} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,30}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 15) = 2,0415,$$

$$i = 2,0415 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,30^{4,90}} = 0,0236,$$

$$d_{p15} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,1388 \cdot 0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,0236}} = 0,266 \text{ м.}$$

Через 15 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p15} = 266$ мм, тобто зменшиться на 11,23%.

г) через 20 років ($T=20$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{4,6}{350} = 0,0131,$$

$$K_{\text{SHOB}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0131 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,30^{4,90}} = 1,1388,$$

$$K_{S20} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,30}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 20) = 2,1328,$$

$$i = 2,1328 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,30^{4,90}} = 0,0246,$$

$$d_{p20} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,1388 \cdot 0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,0246}} = 0,264 \text{ м.}$$

Через 20 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p20} = 264$ мм, тобто зменшиться на 12,02%.

д) через 30 років ($T=30$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{4,6}{350} = 0,0131,$$

$$K_{\text{SHOB}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0131 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,30^{4,90}} = 1,1388,$$

$$K_{S30} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,30}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 30) = 2,2630 ,$$

$$i = 2,2630 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,30^{4,90}} = 0,0261 ,$$

$$d_{p30} = \sqrt[m]{\frac{K_{SHOB} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,1388 \cdot 0,00163 \cdot 0,11327^{1,81}}{0,0261}} = 0,261 \text{ м.}$$

Через 30 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p30} = 261$ мм, тобто зменшиться на 13,08%.

3. Розрахунок діаметру чавунної труби діаметром $D=400$ мм без внутрішнього захисного покриття: $q=0,2253\text{м}^3/\text{с}$, $L=800$ м, $h=9,06$ м, $a_1=1,5$, $a_2=0,7$, $k=0,00163$, $B=1,81$, $m=4,90$

а) через 5 років ($T=5$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{9,06}{800} = 0,0113 ,$$

$$K_{SHOB} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0113 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,40^{4,90}} = 1,1573 ,$$

$$K_{S5} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,40}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 5) = 1,6921 ,$$

$$i = 1,6921 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,40^{4,90}} = 0,0166 ,$$

$$d_{p5} = \sqrt[m]{\frac{K_{SHOB} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0898 \cdot 0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,0166}} = 0,370 \text{ м.}$$

Через 5 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p5} = 370$ мм, тобто зменшиться на 7,46%.

б) через 10 років ($T=10$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{9,06}{800} = 0,0113 ,$$

$$K_{SHOB} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0113 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,40^{4,90}} = 1,1573 ,$$

$$K_{S10} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,40}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 10) = 1,8967 ,$$

$$i = 18967 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,40^{4,90}} = 0,0186,$$

$$d_{p10} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0898 \cdot 0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,0186}} = 0,362 \text{ м.}$$

Через 10 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p10} = 362$ мм, тобто зменшиться на 9,59%.

в) через 15 років ($T= 15$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{9,06}{800} = 0,0113,$$

$$K_{\text{SHOB}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0113 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,40^{4,90}} = 1,1573,$$

$$K_{s15} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,40}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 15) = 2,0210,$$

$$i = 2,0210 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,40^{4,90}} = 0,0198,$$

$$d_{p15} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0898 \cdot 0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,0198}} = 0,357 \text{ м.}$$

Через 15 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p15} = 357$ мм, тобто зменшиться на 10,75%.

г) через 20 років ($T= 20$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{9,06}{800} = 0,0113,$$

$$K_{\text{SHOB}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0113 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,40^{4,90}} = 1,1573,$$

$$K_{s20} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,40}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 20) = 2,1106,$$

$$i = 2,1106 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,40^{4,90}} = 0,0207,$$

$$d_{p20} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{SHOB}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0898 \cdot 0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,0207}} = 0,354 \text{ м.}$$

Через 20 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p20} = 354$ мм, тобто зменшиться на 11,54%.

д) через 30 років ($T = 30$ років):

$$i_1 = \frac{h}{L} = \frac{9,06}{800} = 0,0113,$$

$$K_{\text{ШОВ}} = i_1 \cdot \frac{k \cdot q^B}{D^m} = 0,0113 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,40^{4,90}} = 1,1573,$$

$$K_{S30} = 1 + 0,7 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{0,40}\right) \cdot \log(1 + 1,5 \cdot 30) = 2,2382,$$

$$i = 2,2382 \cdot \frac{0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,40^{4,90}} = 0,0219,$$

$$d_{p30} = \sqrt[m]{\frac{K_{\text{ШОВ}} \cdot k \cdot q^B}{i}} = \sqrt[4,90]{\frac{1,0898 \cdot 0,00163 \cdot 0,2253^{1,81}}{0,0219}} = 0,350 \text{ м.}$$

Через 30 років експлуатації трубопроводу діаметр буде $d_{p30} = 350$ мм, тобто зменшиться на 12,59%.

На основі відсоткових значень, отриманих для кожного року, діаметри труб 500 мм, 600 мм, 700 мм, 800 мм, 900 мм, 1000 мм і 1200 мм через 5, 10, 15, 20 і 30 років після початку експлуатації водопровідної мережі, використовуючи метод узагальнення отриманих значень.

Результати розрахунку наведені у табл.2.1 та у графічній частині дипломної роботи[лист 3].

Таблиця 2.1 – Зміна пропускної здатності ділянок водопровідної мережі через 5, 10, 15, 20, 30 років

Діаметр труби, мм	Діаметр труби									
	через 5 років експлуатації		через 10 років експлуатації		через 15 років експлуатації		через 20 років експлуатації		через 30 років експлуатації	
	%	D, мм	%	D, мм	%	D, мм	%	D, мм	%	D, мм
150	9,26	136	11,46	133	12,65	131	13,46	130	14,53	128

200	9,04	182	11,20	178	12,38	175	13,17	174	14,23	172
300	7,92	276	10,06	270	11,23	266	12,02	264	13,08	261
400	7,46	370	9,59	362	10,75	357	11,54	354	13,59	350
500	8,4	458	10,6	447	11,8	441	12,5	437	13,6	432
600		549		537		529		525		518
700		641		626		618		612		605
800		733		715		706		700		691
900		824		805		794		787		778
1000		916		894		882		875		864
1200		1099		1073		1059		1049		1037
1400		1282		1252		1235		1224		1209
1600		1465		1431		1412		1399		1382

Таблиця 2.1 показує, що пропускна здатність трубопроводу зменшується з кожним роком експлуатації, з середнім зменшенням ІД на 8,4% за п'ять років, 10,6% за 10 років, 11,8% за 15 років та 12,5% за 20 років, 10,6% за 10 років, 11,8% за 15 років та 12,5% за 20 років,

Робоча потужність водопровідної мережі зменшується, але споживання води, яку водопровідна мережа має подати водоспоживачам, залишається незмінною (розглянемо цей випадок). Це свідчить про те, що в досліджуваній мережі відбуваються гідравлічні зміни. Падіння тиску на ділянці збільшується, вода швидше рухається у водопровідній мережі і, як наслідок, зменшується вільний гідравлічний напір п'єзометрів та вузлів.

Завдяки цим змінам можна виявити найбільш пошкоджені ділянки водопровідної мережі та своєчасно провести їх реконструкцію [27].

Тому в розділі 2 цієї роботи розглянуто методику дослідження впливу гідравлічних характеристик водопровідної мережі на динаміку розподілу тиску в її вузлах.

Об'єктом дослідження є ділянка водопровідної мережі в правобережній частині Запорізької області. Матеріал трубопроводу - чавун без захисного покриття. Діаметри труб коливаються від 150 мм до 1600 мм. Водопровідна мережа є кільцевою: складається з 12 кілець та 60 ділянок, з 47

розподільчими пунктами. Мінімальний напір становить 26,00 м. На початку експлуатації водопровідна мережа має несприятливі умови у вузлі 39.

Були розроблені варіанти для моделювання зміни ситуації з водоспоживанням на основі зміни пропускної здатності трубопроводу протягом 5, 10, 15, 20 і 30 років.

Через п'ять років зменшення пропускної здатності становить 8,4%.

Через 10 років - 10,6%, через 15 років - 11,8%, через 20 років - 12,5% і через 30 років - 13,6%.

З часом у досліджуваній мережі відбуваються гідравлічні зміни. А саме, втрата напору на ділянках та збільшення швидкості руху води у водопровідній мережі, що призводить до зменшення п'єзометрії та вільного напору у вузлах.

3. ОЦІНКА ВПЛИВУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ДІЛЯНОК НА ДИНАМІКУ НАПОРІВ В МЕРЕЖІ

3.1 Результати попередніх гідравлічних розрахунків водопровідної мережі.

Для того, щоб визначити вплив зміни пропускної здатності гідравлічних характеристик водопровідної мережі на розподіл тиску в її вузлах, необхідно зробити ряд розрахунків:

- 1) гідравлічний розрахунок через n -років експлуатації мережі;
- 2) визначити п'єзометр у вузлах через n -років експлуатації мережі;
- 3) визначити вільний напір вузла через n -років експлуатації мережі.

Гідравлічні розрахунки водопровідної мережі через 5, 10, 15, 20 і 30 років проводяться на комп'ютері за допомогою програми [20].

Початкові дані гідравлічних розрахунків мережі після п'яти років експлуатації показані на рисунку 3.1. У додатку Б на рисунку Б.1 показані результати цього розрахунку.

e= .01000 nk= 12 ny= 60
Вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	5118.00	1857.00	1465.00	с	2	742.00	1830.00	1282.00	с	3	500.00	1819.00	1282.00	с
4	1050.00	466.00	641.00	с	5	750.00	400.00	641.00	с	6	750.00	345.00	549.00	с
7	600.00	312.00	549.00	с	8	750.00	1304.00	824.00	с	9	1750.00	1590.00	1099.00	с
10	400.00	463.00	549.00	с	11	800.00	23.00	182.00	с	12	650.00	425.00	549.00	с
13	1000.00	203.00	458.00	с	14	650.00	141.00	370.00	с	15	650.00	48.00	276.00	с
16	450.00	62.00	276.00	с	17	950.00	11.00	136.00	с	18	400.00	40.00	182.00	с
19	600.00	23.00	136.00	с	20	550.00	75.00	276.00	с	21	350.00	108.00	276.00	с
22	800.00	150.00	370.00	с	23	300.00	1099.00	824.00	с	24	1850.00	219.00	458.00	с
25	150.00	144.00	370.00	с	26	350.00	99.00	276.00	с	27	1500.00	84.00	370.00	с
28	1000.00	27.00	182.00	с	29	2100.00	73.00	370.00	с	30	9170.00	801.00	916.00	с
31	485.00	79.00	276.00	с	32	900.00	34.00	182.00	с	33	900.00	10.00	136.00	с
34	900.00	14.00	136.00	с	35	800.00	26.00	182.00	с	36	343.00	345.00	458.00	с
37	600.00	330.00	458.00	с	38	750.00	140.00	370.00	с	39	630.00	40.00	276.00	с
40	370.00	25.00	182.00	с	41	700.00	10.00	136.00	с	42	850.00	11.00	136.00	с
43	400.00	81.00	370.00	с	44	300.00	49.00	276.00	с	45	550.00	36.00	276.00	с
46	400.00	147.00	370.00	с	47	1400.00	100.00	370.00	с	48	1800.00	161.00	458.00	с
49	500.00	152.00	370.00	с	50	200.00	164.00	370.00	с	51	700.00	130.00	276.00	с
52	700.00	132.00	276.00	с	53	1300.00	78.00	276.00	с	54	1171.00	58.00	276.00	с
55	1100.00	181.00	370.00	с	56	500.00	200.00	458.00	с	57	800.00	154.00	370.00	с
58	400.00	164.00	136.00	с	59	750.00	291.00	458.00	с	60	500.00	377.00	641.00	с

Рисунок 3.1 – Вихідні дані для гідравлічного розрахунку водопровідної мережі через 5 років її експлуатації.

Початкові дані гідравлічних розрахунків мережі після 10 та 15 років експлуатації показані на рисунках 3.2 та 3.3 відповідно. У додатку Б на рисунках Б.2 та Б.3 показані результати цих розрахунків.

e= .01000 nk= 12 ny= 60
Вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	5118.00	1857.00	1431.00	с	2	742.00	1830.00	1252.00	с	3	500.00	1819.00	1252.00	с
4	1050.00	466.00	626.00	с	5	750.00	400.00	626.00	с	6	750.00	345.00	537.00	с
7	600.00	312.00	537.00	с	8	750.00	1304.00	805.00	с	9	1750.00	1590.00	1073.00	с
10	400.00	463.00	537.00	с	11	800.00	23.00	178.00	с	12	650.00	425.00	537.00	с
13	1000.00	203.00	447.00	с	14	650.00	141.00	362.00	с	15	650.00	48.00	270.00	с
16	450.00	62.00	270.00	с	17	950.00	11.00	133.00	с	18	400.00	40.00	178.00	с
19	600.00	23.00	133.00	с	20	550.00	75.00	270.00	с	21	350.00	108.00	270.00	с
22	800.00	150.00	362.00	с	23	300.00	1099.00	805.00	с	24	1850.00	219.00	447.00	с
25	150.00	144.00	362.00	с	26	350.00	99.00	270.00	с	27	1500.00	84.00	362.00	с
28	1000.00	27.00	178.00	с	29	2100.00	73.00	362.00	с	30	9170.00	801.00	894.00	с
31	485.00	79.00	270.00	с	32	900.00	34.00	178.00	с	33	900.00	10.00	133.00	с
34	900.00	14.00	133.00	с	35	800.00	26.00	178.00	с	36	343.00	345.00	447.00	с
37	600.00	330.00	447.00	с	38	750.00	140.00	362.00	с	39	630.00	40.00	270.00	с
40	370.00	25.00	178.00	с	41	700.00	10.00	133.00	с	42	850.00	11.00	133.00	с
43	400.00	81.00	362.00	с	44	300.00	49.00	270.00	с	45	550.00	36.00	270.00	с
46	400.00	147.00	362.00	с	47	1400.00	100.00	362.00	с	48	1800.00	161.00	447.00	с
49	500.00	152.00	362.00	с	50	200.00	164.00	362.00	с	51	700.00	130.00	270.00	с
52	700.00	132.00	270.00	с	53	1300.00	78.00	270.00	с	54	1171.00	58.00	270.00	с
55	1100.00	181.00	362.00	с	56	500.00	200.00	447.00	с	57	800.00	154.00	362.00	с
58	400.00	164.00	133.00	с	59	750.00	291.00	447.00	с	60	500.00	377.00	626.00	с

Рисунок 3.2 – Вихідні дані для гідравлічного розрахунку водопровідної мережі через 10 років її експлуатації

e= .01000 nk= 12 ny= 60
Вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	5118.00	1857.00	1412.00	с	2	742.00	1830.00	1235.00	с	3	500.00	1819.00	1235.00	с
4	1050.00	466.00	618.00	с	5	750.00	400.00	618.00	с	6	750.00	345.00	529.00	с
7	600.00	312.00	529.00	с	8	750.00	1304.00	794.00	с	9	1750.00	1590.00	1059.00	с
10	400.00	463.00	529.00	с	11	800.00	23.00	175.00	с	12	650.00	425.00	529.00	с
13	1000.00	203.00	441.00	с	14	650.00	141.00	357.00	с	15	650.00	48.00	266.00	с
16	450.00	62.00	266.00	с	17	950.00	11.00	131.00	с	18	400.00	40.00	175.00	с
19	600.00	23.00	131.00	с	20	550.00	75.00	266.00	с	21	350.00	108.00	266.00	с
22	800.00	150.00	357.00	с	23	300.00	1099.00	794.00	с	24	1850.00	219.00	441.00	с
25	150.00	144.00	357.00	с	26	350.00	99.00	266.00	с	27	1500.00	84.00	357.00	с
28	1000.00	27.00	175.00	с	29	2100.00	73.00	357.00	с	30	9170.00	801.00	882.00	с
31	485.00	79.00	266.00	с	32	900.00	34.00	175.00	с	33	900.00	10.00	131.00	с
34	900.00	14.00	131.00	с	35	800.00	26.00	175.00	с	36	343.00	345.00	441.00	с
37	600.00	330.00	441.00	с	38	750.00	140.00	357.00	с	39	630.00	40.00	266.00	с
40	370.00	25.00	175.00	с	41	700.00	10.00	131.00	с	42	850.00	11.00	131.00	с
43	400.00	81.00	357.00	с	44	300.00	49.00	266.00	с	45	550.00	36.00	266.00	с
46	400.00	147.00	357.00	с	47	1400.00	100.00	357.00	с	48	1800.00	161.00	441.00	с
49	500.00	152.00	357.00	с	50	200.00	164.00	357.00	с	51	700.00	130.00	266.00	с
52	700.00	132.00	266.00	с	53	1300.00	78.00	266.00	с	54	1171.00	58.00	266.00	с
55	1100.00	181.00	357.00	с	56	500.00	200.00	441.00	с	57	800.00	154.00	357.00	с
58	400.00	164.00	131.00	с	59	750.00	291.00	441.00	с	60	500.00	377.00	618.00	с

Рисунок 3.3 – Вихідні дані для гідравлічного розрахунку водопровідної мережі через 15 років експлуатації

Початкові дані гідравлічних розрахунків мережі після 20 та 30 років експлуатації показані на рисунках 3.4 та 3.5 відповідно. У додатку Б на рисунках Б.4 та Б.5 показані результати цих розрахунків.

e= .01000 nk= 12 ny= 60
Вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	5118.00	1857.00	1399.00	с	2	742.00	1830.00	1224.00	с	3	500.00	1819.00	1224.00	с
4	1050.00	466.00	612.00	с	5	750.00	400.00	612.00	с	6	750.00	345.00	525.00	с
7	600.00	312.00	525.00	с	8	750.00	1304.00	787.00	с	9	1750.00	1590.00	1049.00	с
10	400.00	463.00	525.00	с	11	800.00	23.00	174.00	с	12	650.00	425.00	525.00	с
13	1000.00	203.00	437.00	с	14	650.00	141.00	354.00	с	15	650.00	48.00	264.00	с
16	450.00	62.00	264.00	с	17	950.00	11.00	130.00	с	18	400.00	40.00	174.00	с
19	600.00	23.00	130.00	с	20	550.00	75.00	264.00	с	21	350.00	108.00	264.00	с
22	800.00	150.00	354.00	с	23	300.00	1099.00	787.00	с	24	1850.00	219.00	437.00	с
25	150.00	144.00	354.00	с	26	350.00	99.00	264.00	с	27	1500.00	84.00	354.00	с
28	1000.00	27.00	174.00	с	29	2100.00	73.00	354.00	с	30	9170.00	801.00	875.00	с
31	485.00	79.00	264.00	с	32	900.00	34.00	174.00	с	33	900.00	10.00	130.00	с
34	900.00	14.00	130.00	с	35	800.00	26.00	174.00	с	36	343.00	345.00	437.00	с
37	600.00	330.00	437.00	с	38	750.00	140.00	354.00	с	39	630.00	40.00	264.00	с
40	370.00	25.00	174.00	с	41	700.00	10.00	130.00	с	42	850.00	11.00	130.00	с
43	400.00	81.00	354.00	с	44	300.00	49.00	264.00	с	45	550.00	36.00	264.00	с
46	400.00	147.00	354.00	с	47	1400.00	100.00	354.00	с	48	1800.00	161.00	437.00	с
49	500.00	152.00	354.00	с	50	200.00	164.00	354.00	с	51	700.00	130.00	264.00	с
52	700.00	132.00	264.00	с	53	1300.00	78.00	264.00	с	54	1171.00	58.00	264.00	с
55	1100.00	181.00	354.00	с	56	500.00	200.00	437.00	с	57	800.00	154.00	354.00	с
58	400.00	164.00	130.00	с	59	750.00	291.00	437.00	с	60	500.00	377.00	612.00	с

Рисунок 3.4 – Вихідні дані для гідравлічного розрахунку водопровідної мережі через 20 років експлуатації

e= .01000 nk= 12 ny= 60
Вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	5118.00	1857.00	1382.00	с	2	742.00	1830.00	1209.00	с	3	500.00	1819.00	1209.00	с
4	1050.00	466.00	605.00	с	5	750.00	400.00	605.00	с	6	750.00	345.00	518.00	с
7	600.00	312.00	518.00	с	8	750.00	1304.00	778.00	с	9	1750.00	1590.00	1037.00	с
10	400.00	463.00	518.00	с	11	800.00	23.00	172.00	с	12	650.00	425.00	518.00	с
13	1000.00	203.00	432.00	с	14	650.00	141.00	350.00	с	15	650.00	48.00	261.00	с
16	450.00	62.00	261.00	с	17	950.00	11.00	128.00	с	18	400.00	40.00	172.00	с
19	600.00	23.00	128.00	с	20	550.00	75.00	261.00	с	21	350.00	108.00	261.00	с
22	800.00	150.00	350.00	с	23	300.00	1099.00	778.00	с	24	1850.00	219.00	432.00	с
25	150.00	144.00	350.00	с	26	350.00	99.00	261.00	с	27	1500.00	84.00	350.00	с
28	1000.00	27.00	172.00	с	29	2100.00	73.00	350.00	с	30	9170.00	801.00	864.00	с
31	485.00	79.00	261.00	с	32	900.00	34.00	172.00	с	33	900.00	10.00	128.00	с
34	900.00	14.00	128.00	с	35	800.00	26.00	172.00	с	36	343.00	345.00	432.00	с
37	600.00	330.00	432.00	с	38	750.00	140.00	350.00	с	39	630.00	40.00	261.00	с
40	370.00	25.00	172.00	с	41	700.00	10.00	128.00	с	42	850.00	11.00	128.00	с
43	400.00	81.00	350.00	с	44	300.00	49.00	261.00	с	45	550.00	36.00	261.00	с
46	400.00	147.00	350.00	с	47	1400.00	100.00	350.00	с	48	1800.00	161.00	432.00	с
49	500.00	152.00	350.00	с	50	200.00	164.00	350.00	с	51	700.00	130.00	261.00	с
52	700.00	132.00	261.00	с	53	1300.00	78.00	261.00	с	54	1171.00	58.00	261.00	с
55	1100.00	181.00	350.00	с	56	500.00	200.00	432.00	с	57	800.00	154.00	350.00	с
58	400.00	164.00	128.00	с	59	750.00	291.00	432.00	с	60	500.00	377.00	605.00	с

Рисунок 3.5 – Вихідні дані для гідравлічного розрахунку водопровідної мережі через 30 років її експлуатації

За результатами гідравлічних розрахунків водопровідної мережі через 5, 10, 15, 20 і 30 років (рис. 3.2, 3.5, 3.6, 3.9 і 3.10) були досліджені ділянки № 1, 4 і 40. Отримані дані представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Гідравлічні характеристики ділянок №1, №4 та №40 в період експлуатації водопровідної мережі

№ ділянки	Час експлуатації, роки	Діаметр труби, мм	Довжина ділянки, м	Витрата води, л/с	Швидкість руху води, м/с	Втрата напору на ділянці, м
1	5	1465,00	5118,00	1857,00	1,10	4,11
4		641,00	1050,00	369,02	1,14	2,65
40		182,00	370,00	24,79	0,95	3,41
1	10	1431,00	5118,00	1857,00	1,15	4,62
4		626,00	1050,00	370,22	1,20	2,99
40		178,00	370,00	24,80	1,00	3,82
1	15	1412,00	5118,00	1857,00	1,19	4,95
4		618,00	1050,00	370,48	1,24	3,20
40		175,00	370,00	24,79	1,03	4,15
1	20	1399,00	5118,00	1857,00	1,21	5,17
4		612,00	1050,00	370,70	1,26	3,38
40		174,00	370,00	24,80	1,04	4,28
1	30	1382,00	5118,00	1857,00	1,24	5,51
4		605,00	1050,00	370,40	1,29	3,59
40		172,00	370,00	24,83	1,07	4,54

З таблиці 3.1 видно, що зі зменшенням пропускної здатності водопровідної мережі значення гідравлічних характеристик, швидкості потоку води та перепаду тиску на ділянці, зростають з роками експлуатації водопровідної мережі.

На рисунках 3.6 та 3.7 показано залежність швидкості потоку та перепаду тиску на ділянці від часу експлуатації водопровідної мережі для прикладу першої ділянки відповідно.

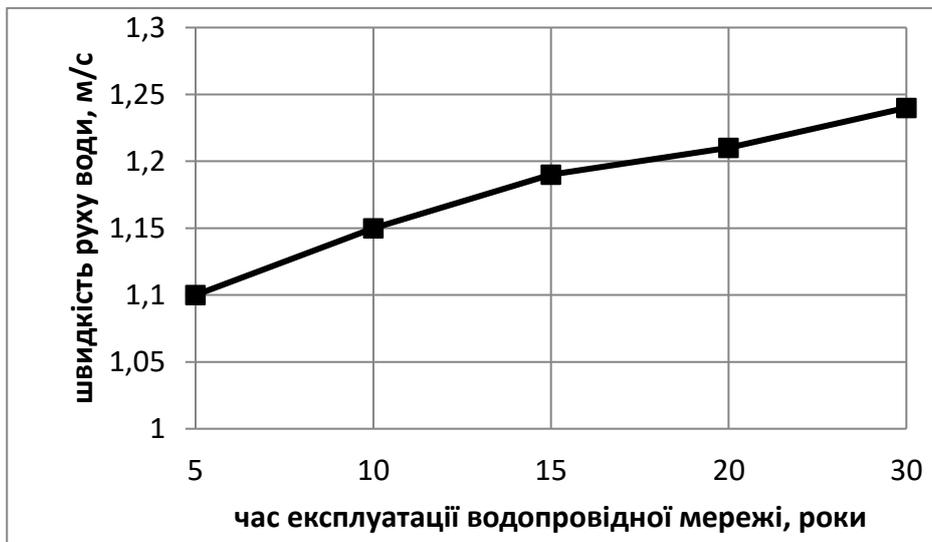


Рисунок 3.6 - Залежність швидкості руху води від часу експлуатації водопровідної мережі.



Рисунок 3.7 - Залежність втрати напору води від часу експлуатації водопровідної мережі.

За рахунок перерозподілу потоку води в мережі змінюється водоспоживання ділянки при виконанні I та II законів Кірхгофа (рівняння 2.2-2.3). Отримані результати показують, що отримані значення суттєво не відрізняються від значень на початку експлуатації водопровідної мережі.

3.2 Визначення п'єзометричних позначок та вільних напорів у вузлах мережі.

Рівняння 2.5 та 2.6 використовуються для визначення п'єзопозначки та вільного напору води у вузлі мережі через n років.

Результати розрахунку п'єзометрів та вільного напору води у вузлах мережі через п'ять років представлені у додатку Б в таблиці Б.1.

Таблиця 3.2 – Вузли з недостатнім вільним напором, утворені за 5 років експлуатації водопровідної мережі.

№ п.п.	Вузол	Мінімальний вільний напір у вузлі, м	Фактичний вільний напір у вузлі, м	Відхилення фактичного вільного напору від мінімального	
				м	%
1	4	26,00	24,81	1,19	4,58
2	15		20,39	5,61	21,58
3	16		6,03	19,97	76,81
4	17		18,4	7,60	29,23
5	18		23,09	2,91	11,19
6	24		25,45	0,55	2,12
7	34		23,91	2,09	8,04
8	37		22,03	3,97	15,27
9	38		20,59	5,41	20,81
10	39		12,48	13,52	52,00
11	42		22,42	3,58	13,77

З таблиці Б.1 додатку Б видно, що протягом п'ятирічного періоду експлуатації водопровідної мережі спостерігається зменшення вільного напору та п'єзометричних відміток вузлів з урахуванням зміни пропускної здатності трубопроводу. Середнє значення цих показників становить 7,90.

Вузли з тисками нижче необхідних значень 4, 15, 16, 17, 18, 24, 34, 37, 38, 39,42.

Після п'яти років експлуатації водопровідної мережі прогнозується, що тиск буде нижче необхідного рівня в 11 вузлах. У таблиці 3.2 показані вузли з недостатнім вільним напором.

Результати розрахунків для п'езометрів та вільного гідравлічного напору у вузлах мережі через 10 років представлені у додатку Б в таблиці Б.2.

З таблиці Б.2 додатку Б видно, що вільний напір та п'езометричні позначки вузлів зменшилися протягом 10-річного періоду експлуатації водопровідної мережі з урахуванням зміни пропускної здатності трубопроводу. Середнє значення цих показників становить 10,69.

Після 10 років експлуатації водопровідної мережі прогнозується, що тиск буде нижчим за необхідний рівень у 13 вузлах. У таблиці 3.3 показані вузли з недостатнім вільним напором.

Таблиця 3.3 – Вузли з недостатнім вільним напором, утворені за 10 років експлуатації водопровідної мережі.

№ п.п.	Вузол	Мінімальний вільний напір у вузлі, м	Фактичний вільний напір у вузлі, м	Відхилення фактичного вільного напору від мінімального	
				м	%
1	2	3	4	5	6
1	4	26,00	23,71	2,29	8,81
2	14		21,25	4,75	18,27
3	15		14,9	11,10	42,69
4	16		-0,83	26,83	103,19
5	17		12,58	13,42	51,62
6	18		17,97	8,03	30,88
7	24		20,64	5,36	20,62

Продовження табл.3.3

1	2	3	4	5	6
8	34	26,00	20,74	5,26	20,23
9	36		25,93	0,07	0,27
10	37		18,33	7,67	29,50
11	38		16,46	9,54	36,69
12	39		7,63	18,37	70,65
13	42		18,67	7,33	28,19

Значення зі знаком "-" у таблиці 3.3 свідчать про те, що вода взагалі не доходить до цього вузла. Для нормального функціонування системи водопостачання та забезпечення водою споживачів необхідно вжити заходів для вирішення цієї проблеми; п'єзокарту через 10 років наведено на ілюстрації [аркуш 4] цієї роботи.

Розрахункові значення п'єзометрів та вільного напору води у вузлах мережі через 15 років наведені у додатку Б в таблиці Б.3.

З таблиці Б.3 додатку Б видно, що протягом 15-річного періоду експлуатації водопровідної мережі спостерігається зменшення безвузлового напору та п'єзометричних відміток з урахуванням зміни пропускної здатності трубопроводу. Середнє значення зміни цих показників становить 12,60.

Після 15 років експлуатації водопровідної мережі очікується падіння тиску нижче необхідного рівня у 19 вузлах. У таблиці 3.4 наведено вузли з недостатнім вільним напором.

Порівняно з даними, отриманими за 10 років експлуатації водопровідної мережі, кількість вузлів з недостатнім вільним напором води (б) значно збільшилася.

Результати розрахунків п'єзометрів та вільного напору води у вузлах мережі через 20 років представлені в таблиці Б.4 додатку Б.

З таблиці Б.4 додатку Б видно, що вільний напір та п'єзометричні позначки вузлів зменшилися за 20-річний період експлуатації водопровідної мережі з урахуванням зміни пропускної здатності трубопроводу. Середнє значення зміни цих показників становить 13,81.

Таблиця 3.4 – Вузли з недостатнім вільним напором, утворені за 15 років експлуатації водопровідної мережі

№ п.п.	Вузол	Мінімальний вільний напір у вузлі, м	Фактичний вільний напір у вузлі, м	Відхилення фактичного вільного напору від мінімального	
				м	%
1	2	3	4	4	6
1	4	26,00	23,00	3,00	11,54
2	10		24,52	1,48	5,69
3	13		23,57	2,43	9,35
4	14		17,79	8,21	31,58
5	15		11,18	14,82	57,00
6	16		-5,70	31,70	121,92
7	17		8,55	17,45	67,12
8	18		14,45	11,55	44,42
9	23		24,33	1,67	6,42
10	24		17,44	8,56	32,92
11	26		25,32	0,68	2,62
12	34		18,54	7,46	28,69
13	36		23,98	2,02	7,77
14	37		15,76	10,24	39,38
15	38		13,59	12,41	47,73
16	39	26,00	4,25	21,75	83,65
17	40		24,68	1,32	5,08
18	41		24,30	1,7	6,54
19	42		16,03	9,97	38,35

Після 20 років експлуатації водопровідної мережі прогнозується падіння тиску нижче необхідного рівня у 20 вузлах. У таблиці 3.9 показані вузли з недостатнім вільним напором.

Таблиця 3.5 – Зони з недостатнім вільним напором, утворені за 20 років експлуатації водопровідної мережі

№ п.п.	Вузол	Мінімальний вільний напір у вузлі, м	Фактичний вільний напір у вузлі, м	Відхилення фактичного вільного напору від мінімального	
				м	%
1	4	26,00	22,49	3,51	13,50
2	10		23,05	2,95	11,35
3	13		21,52	4,48	17,23
4	14		15,55	10,45	40,19
5	15		8,80	17,20	66,15
6	16		-8,56	34,56	132,92
7	17		6,03	19,97	76,81
8	18		12,22	13,78	53,00
9	19		24,31	1,69	6,50
10	23		22,39	3,61	13,88
11	24		15,35	10,65	40,96
12	26		24,51	1,49	5,73
13	34		17,19	8,81	33,88
14	36		22,71	3,29	12,65
15	37		14,15	11,85	45,58
16	38		11,79	14,21	54,65
17	39		2,13	23,87	91,81
18	40		22,81	3,19	12,27
19	41		22,60	3,4	13,08
20	42		14,4	11,6	44,62

Результати розрахунків для п'езометрів та вільного гідравлічного напору у вузлах мережі через 30 років представлені у додатку Б в таблиці Б.5.

З таблиці Б.5 додатка Б видно, що протягом 30-річного періоду експлуатації водопровідної мережі спостерігається зменшення безвузлового напору та п'езометричних відміток з урахуванням зміни пропускної здатності трубопроводу. Середнє значення зміни цих показників становить 15,59.

Після 30 років експлуатації водопровідної мережі очікується падіння тиску нижче необхідного рівня у 23 вузлах.

Після 20 або 30 років експлуатації водопровідної мережі не спостерігається значного збільшення кількості вузлів з недостатнім вільним напором води. За останнє десятиліття з'явилося лише два нових збиткових вузла.

Таблиця 3.6 – Вузли з недостатнім вільним напором, утворені за 30 років експлуатації водопровідної мережі.

№ п.п.	Вузол	Мінімальний вільний напір у вузлі, м	Фактичний вільний напір у вузлі, м	Відхилення фактичного вільного напору від мінімального	
				м	%
1	4	26,00	21,77	4,23	16,27
2	10		20,77	5,23	20,12
3	12		25,85	0,15	0,58
4	13		18,55	7,45	28,65
5	14		12,31	13,69	52,65
6	15		5,34	20,66	79,46
7	16		-13,10	39,10	150,38
8	17		2,19	23,81	91,58
9	18		8,85	17,15	65,96
10	19		21,53	4,47	17,19
11	21		25,17	0,83	3,19
12	23		19,61	6,39	24,58
13	24		12,33	13,67	52,58
14	26		22,92	3,08	11,85
15	34		15,05	10,95	42,12
16	36		20,93	5,07	19,50
17	37		11,83	14,17	54,50
18	38		9,20	16,80	64,62
19	39		-0,91	26,91	103,50
20	40		20,11	5,89	22,65
21	41		20,13	5,87	22,58
22	42		12,04	13,96	53,69
23	43		25,82	0,18	0,69

Вузли з недостатнім вільним падінням, що утворилися за перші 30 років експлуатації водопровідної мережі, наведені в таблиці 3.6.

П'єзоелектрична карта після 30 років експлуатації водопровідної мережі показана на графічному зображенні цієї роботи [Аркуш 5].

Проаналізувавши всі отриманні данні результатів розрахунку табл.Б.1 - Б.5, було побудовано графіки-діаграми (рис.3.8).

Діаграма прогнозуємих напорів у вузлах мережі через 10, 15 та 30 років

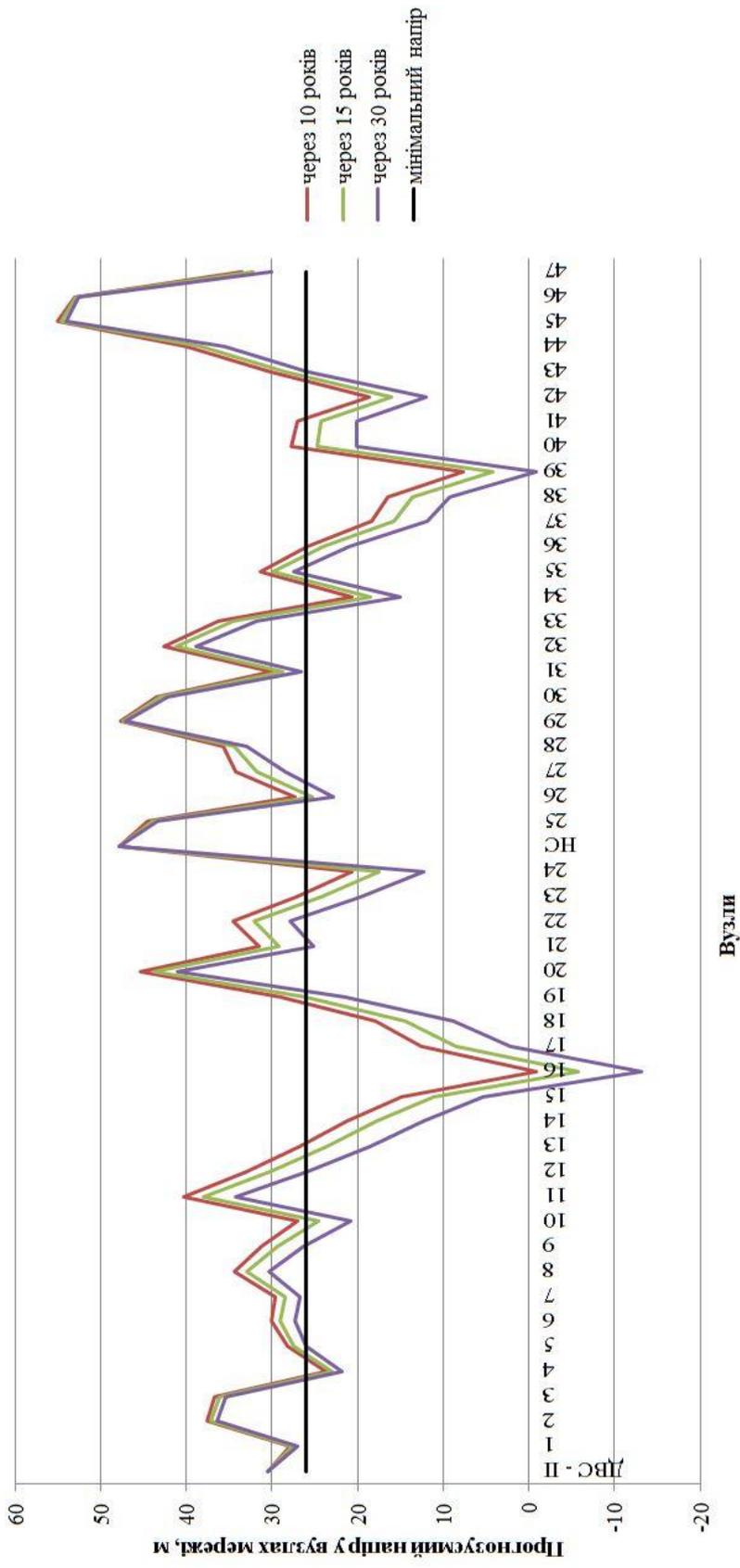


Рисунок 3.8 - Діаграма прогнозуємих напорів у вузлах водопровідної мережі через 10, 15, 30 років

3.3 Вплив зміни пропускної здатності окремих ділянок на величину зон недостатнього напору

Розмір зони дефіциту тиску на окремих ділянках водопровідної мережі можна визначити за допомогою рівняння 3.1 [21].

Зона дефіциту тиску - це умовна площина, утворена навколо вузлів, які задовольняють умову:

$$H_{ei} < H_n, \quad (3.1)$$

де H_{ei} - значення вільного напору в i -му вузлі, м;

H_n - значення необхідного напору [16, п. 6.3.1], м.

Зони недостатнього тиску утворюються при порушенні умови:

$$\sum h_{к.м.-n} \leq (H_{eiln} - H_{н.к.м.}) + (Z_n - Z_{к.м.}), \quad (3.2)$$

де $\sum h_{к.м.-n}$ - сума втрат напору на ділянках мережі від критичної точки до n -го вузла при зміні пропускної здатності окремих ділянок, м;

H_{eiln} - вільний напір у n -му вузлі на початку експлуатації мережі, м;

$H_{н.к.м.}$ - необхідний напір в критичній точці, м;

$Z_n, Z_{к.т.}$ - позначки поверхні землі в n -му вузлі та в критичній точці.

Конфігурація зони недостатніх напорів буде визначатися по довжинах цих ділянок l_i з урахуванням зміни п'єзометричних позначок у вузлах мережі:

$$l_i = \frac{l[H_m - H_{\min}]}{H_{\max} - H_{\min}}, \quad (3.3)$$

де l - загальна довжина ділянки, яка частково знаходиться в зоні недостатнього напору, м;

l_i - довжина ділянки магістральної мережі, м, що обслуговує будинки

за умови $H_e \leq H_n$;

H_{\max}, H_{\min} - значення вільного напору у вузлах мережі на межі розглянутої ділянки, відповідно більшого й меншого за значенням, ніж необхідний, м.

Величина H_n для i -го вузла:

$$H_{ni} = 10 + 4(n - 1), \quad (3.4)$$

де n -поверховість забудови в i -м вузлі/

Враховуючи формулу (3.4), вираз (3.3) можна представити у вигляді [21]:

$$l_i = \frac{l(H_n - H_{\min})}{H_{\max} - H_{\min}} = \frac{l(6 + 4n_{к.в.} - 6 - 4n_{к.в.} + \Delta h)}{6 + 4n_{к.в.} + 1,1il - 6 - 4n_{к.в.} + \Delta h} = \frac{l\Delta h}{1,1il + \Delta h} \quad (3.5)$$

де h - втрати напору на ділянці довжиною l , $h = 1,1il$, м;

i - гідравлічний ухил;

$n_{к.в.}$ - кількість поверхів у будинках, що розташовані поблизу контрольного вузла;

l - довжина ділянки між вузлами, м;

Δh - величина зниження напору, нижчого за необхідний H_n , м.

Графік площі зони дефіциту тиску у водопровідній мережі через 10, 15 та 30 років наведено в графічній частині роботи [стор. 6]. Згідно з цим розрахунком, очікується, що площа зони дефіциту тиску з кожним роком буде збільшуватися. Тому необхідно вжити заходів для відновлення нормальної роботи водопровідної мережі з метою забезпечення водою всіх споживачів.

Розглянемо деякі можливі варіанти відновлення роботи мережі:

1) проектувати насосні станції для мережі на тиск, необхідний на початку експлуатації, і з часом реконструювати насосні станції з урахуванням підвищених втрат тиску;

2) реконструкція ділянок трубопроводу мережі під час її експлуатації.

Більш детальні розрахунки представлені в розділі 5 магістерської роботи.

На основі розрахунків, отриманих у розділі 3.2 магістерської роботи, були проведені розрахунки для трьох попередньо змодельованих альтернативних варіантів на основі 30-річної п'єзокарти водопровідної мережі правобережного району м. Запоріжжя (Рисунок 3.5):

- 1 варіант – ділянки діаметром $D = 150 - 200$ мм;
- 2 варіант – ділянки діаметром $D = 250 - 400$ мм;
- 3 варіант – ділянки діаметром $D = 150 - 800$ мм.

Гідравлічні розрахунки для кожного з трьох варіантів виконані на комп'ютері за допомогою програми [20].

На рисунку 3.9 наведено вихідні дані для гідравлічного розрахунку мережі за першим модельним варіантом для труб діаметром 150 - 200 мм.

Рисунок 3.9 - Вихідні дані для гідравлічного розрахунку водопровідної мережі за першим модельним варіантом для труб діаметром 150 - 200 мм

Діаметр 150 - 200 мм

$e = .01000$ $n_k = 12$ $n_y = 60$

Вихідні дані

n_y	l_y	q	dt	m	n_y	l_y	q	dt	m	n_y	l_y	q	dt	m
1	5118.00	1857.00	1382.00	с	2	742.00	1830.00	1209.00	с	3	500.00	1819.00	1209.00	с
4	1050.00	466.00	605.00	с	5	750.00	400.00	605.00	с	6	750.00	345.00	518.00	с
7	600.00	312.00	518.00	с	8	750.00	1304.00	778.00	с	9	1750.00	1590.00	1037.00	с
10	400.00	463.00	518.00	с	11	800.00	23.00	200.00	с	12	650.00	425.00	518.00	с
13	1000.00	203.00	432.00	с	14	650.00	141.00	350.00	с	15	650.00	48.00	261.00	с
16	450.00	62.00	261.00	с	17	950.00	11.00	150.00	с	18	400.00	40.00	200.00	с
19	600.00	23.00	150.00	с	20	550.00	75.00	261.00	с	21	350.00	108.00	261.00	с
22	800.00	150.00	350.00	с	23	300.00	1099.00	778.00	с	24	1850.00	219.00	432.00	с
25	150.00	144.00	350.00	с	26	350.00	99.00	261.00	с	27	1500.00	84.00	350.00	с
28	1000.00	27.00	200.00	с	29	2100.00	73.00	350.00	с	30	9170.00	801.00	864.00	с
31	485.00	79.00	261.00	с	32	900.00	34.00	200.00	с	33	900.00	10.00	150.00	с
34	900.00	14.00	150.00	с	35	800.00	26.00	200.00	с	36	343.00	345.00	432.00	с
37	600.00	330.00	432.00	с	38	750.00	140.00	350.00	с	39	630.00	40.00	261.00	с
40	370.00	25.00	200.00	с	41	700.00	10.00	150.00	с	42	850.00	11.00	150.00	с
43	400.00	81.00	350.00	с	44	300.00	49.00	261.00	с	45	550.00	36.00	261.00	с
46	400.00	147.00	350.00	с	47	1400.00	100.00	350.00	с	48	1800.00	161.00	432.00	с
49	500.00	152.00	350.00	с	50	200.00	164.00	350.00	с	51	700.00	130.00	261.00	с
52	700.00	132.00	261.00	с	53	1300.00	78.00	261.00	с	54	1171.00	58.00	261.00	с
55	1100.00	181.00	350.00	с	56	500.00	200.00	432.00	с	57	800.00	154.00	350.00	с
58	400.00	164.00	150.00	с	59	750.00	291.00	432.00	с	60	500.00	377.00	605.00	с

Початкові дані для гідравлічних розрахунків мереж другого та третього модельних варіантів наведені на Рисунках 3.10 та 3.11.

Рисунок 3.10 - Вихідні дані для гідравлічного розрахунку водопровідної мережі за другим змодельованим варіантом для ділок діаметром 250 – 400 мм

e= .01000 nk= 12 ny= 60
Вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	5118.00	1857.00	1382.00	с	2	742.00	1830.00	1209.00	с	3	500.00	1819.00	1209.00	с
4	1050.00	466.00	605.00	с	5	750.00	400.00	605.00	с	6	750.00	345.00	518.00	с
7	600.00	312.00	518.00	с	8	750.00	1304.00	778.00	с	9	1750.00	1590.00	1037.00	с
10	400.00	463.00	518.00	с	11	800.00	23.00	172.00	с	12	650.00	425.00	518.00	с
13	1000.00	203.00	432.00	с	14	650.00	141.00	400.00	с	15	650.00	48.00	300.00	с
16	450.00	62.00	300.00	с	17	950.00	11.00	128.00	с	18	400.00	40.00	172.00	с
19	600.00	23.00	128.00	с	20	550.00	75.00	300.00	с	21	350.00	108.00	300.00	с
22	800.00	150.00	400.00	с	23	300.00	1099.00	778.00	с	24	1850.00	219.00	432.00	с
25	150.00	144.00	400.00	с	26	350.00	99.00	300.00	с	27	1500.00	84.00	400.00	с
28	1000.00	27.00	172.00	с	29	2100.00	73.00	400.00	с	30	9170.00	801.00	864.00	с
31	485.00	79.00	300.00	с	32	900.00	34.00	172.00	с	33	900.00	10.00	128.00	с
34	900.00	14.00	128.00	с	35	800.00	26.00	172.00	с	36	343.00	345.00	432.00	с
37	600.00	330.00	432.00	с	38	750.00	140.00	400.00	с	39	630.00	40.00	300.00	с
40	370.00	25.00	172.00	с	41	700.00	10.00	128.00	с	42	850.00	11.00	128.00	с
43	400.00	81.00	400.00	с	44	300.00	49.00	300.00	с	45	550.00	36.00	300.00	с
46	400.00	147.00	400.00	с	47	1400.00	100.00	400.00	с	48	1800.00	161.00	432.00	с
49	500.00	152.00	400.00	с	50	200.00	164.00	400.00	с	51	700.00	130.00	300.00	с
52	700.00	132.00	300.00	с	53	1300.00	78.00	300.00	с	54	1171.00	58.00	300.00	с
55	1100.00	181.00	400.00	с	56	500.00	200.00	432.00	с	57	800.00	154.00	350.00	с
58	400.00	164.00	128.00	с	59	750.00	291.00	432.00	с	60	500.00	377.00	605.00	с

Рисунок 3.11 - Вихідні дані для гідравлічного розрахунку водопровідної мережі за другим змодельованим варіантом для ділок діаметром 150 – 800 мм

e= .01000 nk= 12 ny= 60
Вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	5118.00	1857.00	1382.00	с	2	742.00	1830.00	1209.00	с	3	500.00	1819.00	1209.00	с
4	1050.00	466.00	700.00	с	5	750.00	400.00	700.00	с	6	750.00	345.00	600.00	с
7	600.00	312.00	600.00	с	8	750.00	1304.00	778.00	с	9	1750.00	1590.00	1037.00	с
10	400.00	463.00	600.00	с	11	800.00	23.00	200.00	с	12	650.00	425.00	600.00	с
13	1000.00	203.00	500.00	с	14	650.00	141.00	400.00	с	15	650.00	48.00	300.00	с
16	450.00	62.00	300.00	с	17	950.00	11.00	150.00	с	18	400.00	40.00	200.00	с
19	600.00	23.00	150.00	с	20	550.00	75.00	300.00	с	21	350.00	108.00	300.00	с
22	800.00	150.00	400.00	с	23	300.00	1099.00	778.00	с	24	1850.00	219.00	500.00	с
25	150.00	144.00	400.00	с	26	350.00	99.00	300.00	с	27	1500.00	84.00	400.00	с
28	1000.00	27.00	200.00	с	29	2100.00	73.00	400.00	с	30	9170.00	801.00	864.00	с
31	485.00	79.00	300.00	с	32	900.00	34.00	200.00	с	33	900.00	10.00	150.00	с
34	900.00	14.00	150.00	с	35	800.00	26.00	200.00	с	36	343.00	345.00	500.00	с
37	600.00	330.00	500.00	с	38	750.00	140.00	400.00	с	39	630.00	40.00	300.00	с
40	370.00	25.00	200.00	с	41	700.00	10.00	150.00	с	42	850.00	11.00	150.00	с
43	400.00	81.00	400.00	с	44	300.00	49.00	300.00	с	45	550.00	36.00	300.00	с
46	400.00	147.00	400.00	с	47	1400.00	100.00	400.00	с	48	1800.00	161.00	500.00	с
49	500.00	152.00	400.00	с	50	200.00	164.00	400.00	с	51	700.00	130.00	300.00	с
52	700.00	132.00	300.00	с	53	1300.00	78.00	300.00	с	54	1171.00	58.00	300.00	с
55	1100.00	181.00	400.00	с	56	500.00	200.00	500.00	с	57	800.00	154.00	400.00	с
58	400.00	164.00	150.00	с	59	750.00	291.00	500.00	с	60	500.00	377.00	700.00	с

На рисунках Б.7 та Б.8 зображені результати гідравлічних розрахунків мережі за другим та третім змодельованими варіантами наведені на рисунку.

Для того, щоб визначити п'єзометричні позначки та вільні напори у змодельованих, скористаємося рівняннями 2.5 та 2.6. Результати розрахунків наведені додатку Б у табл.Б.6, Б.7 та Б.8.

За результатами п'єзоелектричних та напірних розрахунків (табл. Б.7 - Б.8 додатка Б) для змодельованих ділянок водопровідної мережі зроблено висновок, що для забезпечення нормального функціонування водопровідної мережі та задоволення всіх потреб водокористувачів необхідна реконструкція водопровідної мережі.

З таблиць додатка Б Б.6 - Б.8 видно, що реконструкція водопровідної мережі необхідна для забезпечення нормального функціонування водопровідної мережі та задоволення всіх потреб споживачів.

З таблиці Б.8 видно, що якщо реконструювати ділянки діаметром від 150 до 800 мм, то у вузлах 4, 16, 34, 37 і 38 буде недостатній тиск. Тому для реконструкції слід обирати ділянки з більшими діаметрами, тобто 900-1600 мм.

3.4 Аналіз гідравлічних характеристик мережі після реконструкції окремих ділянок.

Майже всі обстежені ділянки водопровідної мережі підлягають реконструкції. Це пов'язано з тим, що за 30 років експлуатації зовнішній діаметр трубопроводів значно зменшився, що суттєво вплинуло на роботу водопровідної мережі. Тому кожен варіант змодельованої пропускної здатності водопровідної мережі та часткові зовнішні діаметри ділянок 1, 2, 3, 8 та 9 підлягають реконструкції, оскільки впливають на всю мережу.

що підлягають реконструкції.

Гідравлічні розрахунки водопровідної мережі після реконструкції виконані на комп'ютері з використанням програми [20].

Вихідні дані для гідравлічних розрахунків після реконструктивної водопровідної мережі наведені на рисунку 3.12.

Рисунок 3.12 - Вихідні дані для гідравлічного розрахунку водопровідної мережі після її реконструкції

e= .01000 nk= 12 ny= 60
Вихідні дані

ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m	ny	ly	q	dt	m
1	5118.00	1857.00	1600.00	с	2	742.00	1830.00	1400.00	с	3	500.00	1819.00	1400.00	с
4	1050.00	466.00	700.00	с	5	750.00	400.00	700.00	с	6	750.00	345.00	600.00	с
7	600.00	312.00	600.00	с	8	750.00	1304.00	900.00	с	9	1750.00	1590.00	1200.00	с
10	400.00	463.00	600.00	с	11	800.00	23.00	172.00	с	12	650.00	425.00	600.00	с
13	1000.00	203.00	500.00	с	14	650.00	141.00	400.00	с	15	650.00	48.00	300.00	с
16	450.00	62.00	300.00	с	17	950.00	11.00	150.00	с	18	400.00	40.00	200.00	с
19	600.00	23.00	150.00	с	20	550.00	75.00	300.00	с	21	350.00	108.00	300.00	с
22	800.00	150.00	400.00	с	23	300.00	1099.00	1000.00	с	24	1850.00	219.00	500.00	с
25	150.00	144.00	400.00	с	26	350.00	99.00	300.00	с	27	1500.00	84.00	400.00	с
28	1000.00	27.00	200.00	с	29	2100.00	73.00	400.00	с	30	9170.00	801.00	864.00	с
31	485.00	79.00	300.00	с	32	900.00	34.00	172.00	с	33	900.00	10.00	128.00	с
34	900.00	14.00	128.00	с	35	800.00	26.00	172.00	с	36	343.00	345.00	500.00	с
37	600.00	330.00	500.00	с	38	750.00	140.00	400.00	с	39	630.00	40.00	300.00	с
40	370.00	25.00	172.00	с	41	700.00	10.00	128.00	с	42	850.00	11.00	128.00	с
43	400.00	81.00	400.00	с	44	300.00	49.00	300.00	с	45	550.00	36.00	300.00	с
46	400.00	147.00	400.00	с	47	1400.00	100.00	400.00	с	48	1800.00	161.00	500.00	с
49	500.00	152.00	400.00	с	50	200.00	164.00	400.00	с	51	700.00	130.00	300.00	с
52	700.00	132.00	300.00	с	53	1300.00	78.00	300.00	с	54	1171.00	58.00	300.00	с
55	1100.00	181.00	400.00	с	56	500.00	200.00	500.00	с	57	800.00	154.00	400.00	с
58	400.00	164.00	150.00	с	59	750.00	291.00	500.00	с	60	500.00	377.00	700.00	с

На рисунку Б.9 додатка Б зображено результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі після її реконструкції

На основі отриманих гідравлічних розрахунків реконструйованої водопровідної мережі (рис. Б.9 додатка Б) визначено значення п'єзометрії та вільного напору у вузлах мережі. Результати представлені у додатку Б в таблиці Б.9.

З таблиці Б.9 видно, що після реконструкції ділянки водопровідної мережі вільний напір є вищим за мінімальне значення (26,00 м). Це означає, що всі водокористувачі забезпечені водою. Це означає, що ділянок з дефіцитом напору більше немає.

П'єзоелектрична схема отриманої мережі показана на рисунку 3.7.

Таким чином, вплив пропускної здатності ділянки на динаміку тиску в мережі оцінено в Розділі 3 цієї дисертації.

Зі зменшенням витрати зростають втрати тиску на ділянці. Вони прямо пропорційні значенням вільного напору та п'єзометричних відміток у вузлах мережі. Іншими словами, зі збільшенням перепаду тиску вільний гідравлічний напір і п'єзометричні відмітки зменшуються. При розрахунку

модельних реконструкцій для перерізів діаметром від 150 до 800 мм значення гідравлічних напорів у вузлах мережі залишалися неадекватними. Тому реконструкції підлягають також ділянки з більшими діаметрами 900-1600 мм. Після реконструкції ділянки водогону вільний гідравлічний напір став вищим за мінімальне значення (26,00 м). Це означає, що всі водокористувачі будуть забезпечені водою. Це означає, що більше немає ділянок з дефіцитом тиску.

4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Робота насосних станцій важлива для забезпечення подачі в міста необхідної кількості води під необхідним тиском. Оскільки умови експлуатації водопровідної мережі з часом змінюються (пропускна здатність трубопроводу знижується), необхідно вжити певних заходів для відновлення нормального функціонування мережі, щоб міське населення не відчувало дефіциту води [32].

Можливі варіанти відновлення роботи мережі:

- 1) насосні станції проєктують для мережі з необхідним напором на початку експлуатації і з часом реконструюють з урахуванням збільшення втрат напору;
- 2) робиться реконструкція ділянок трубопроводу мережі, насосне обладнання залишається таким, як на початок експлуатації мережі.

4.1 Розрахунок техніко-економічних витрат з урахуванням заміни насосного обладнання

Для забезпечення міста необхідним об'ємом води на початку експлуатації насосна станція має бути оснащена шістьма робочими насосами марки Д 1250-63 і двома запасними .

Через 30 років перепад тиску збільшиться приблизно на 50% (за даними рисунка 2.3 - гідравлічний розрахунок мережі на початку

експлуатації та рисунка 3.10 - гідравлічний розрахунок мережі через 30 років експлуатації), що означає необхідність реконструкції насосної станції із заміною насосів на більш потужні. Для цього необхідно визначити вільний напір води в точці живлення мережі. У цьому випадку розрахунки п'єзометрів і вільного гідравлічного напору у водопровідній мережі після 30 років експлуатації виконано без урахування реконструкції водопровідної мережі.

За результатами розрахунків значення напорів (табл.В.1 додатка В), підбираємо нове обладнання для насосної станції. Приймаємо насос типу Д 1250-125а [37].

Коротка характеристики обраного насоса:

- подача води 1150 м³/год;
- максимальний напір 102 м;
- потужність 500 кВт.

Таблиця 4.1 - Вартість насосів за проектом та після реконструкції водопровідної мережі.

Марка насосу	Технічні характеристики			Кількість	Ціна за од., грн.	Витрати на заготовчо-складські витрати, грн.	Монтаж, грн.	Загальна вартість, грн.
	продуктивність, м ³ /год.	максимальний напір, м	потужність, кВт					
Д1250-63	1250	63	315	8	600000,00	10 000,00	80000,00	4 890 000,00
Д1250-125а	1150	102	500	8	800000,0	10 000,00	120000,00	6 530 000,0

Знаходимо необхідну кількість насосів:

$$n = \frac{6685,2}{1150} = 6 \text{ шт.}$$

Встановлюємо 6 робочих та 2 резервні насоси марки Д 1150-125а.

Вартість насосів за проектом та після реконструкції водопровідної мережі наведена в табл. 4.1.

З табл.4.1 видно, що заміна старих насосів Д 1250-63 на нові Д 1250-125а становить 6 530 000,00 грн.

Річна витрата електроенергії:

$$A = \frac{\sum P_{\text{мех}} \cdot t \cdot n}{\eta_{\text{ел}}}, \quad (4.1)$$

де $P_{\text{мех}}$ – потужність електродвигуна, $P_{\text{мех}} = 315$ кВт;

t – число годин роботи агрегату протягом року, 8760 год;

n – кількість агрегатів;

$\eta_{\text{ел}}$ – КПД електродвигуна.

$$A = \frac{5 \cdot 315 \cdot 8760 + 315 \cdot 6570}{0,75} = 21\,155\,400 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Постачання на насосних станціях нерівномірне протягом дня: п'ять насосів працюють у першій фазі (шість годин) і шість насосів у другій фазі (працює ще один насос).

Додаткова витрата електроенергії на потреби станції в цілому становить 8% від основної витрати:

$$A_{\text{дод}} = 0,08 \cdot 21\,155\,400 = 1\,692\,432 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Загальна витрата електроенергії становить:

$$A_{\text{новн}} = 21\,155\,400 + 1\,692\,432 = 22\,847\,832 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Вартість електроенергії для КП «Водоканал» згідно з постановою [38] становить 6,44795 грн/кВт*год, тоді вартість електроенергії за рік:

$$D_{\text{ел}} = 6,44795 \cdot 22\,847\,832 = 147\,321\,678,34 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію за рік:

12% від вартості обладнання – $0,12 \cdot 4\,890\,000 = 586\,800,00$ грн;

Вартість поточного ремонту складає 1% від вартості насосів за рік:

$$0,01 \cdot 6\,530\,000 = 65\,300,00 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.2 - Загальні витрати для насосної станції з реконструкцією

№п/п	Найменування основних статей витрат	Витрати за рік, грн.	Витрати за 30 років, грн
1	Купівля і устаткування обладнання		11 420 000,00
2	Витрата на електроенергію	147 321 678,34	4 419 650 350,20
3	Витрати на амортизацію	586 800,00	17 604 000,00
4	Витрати на поточний ремонт	65 300,00	1 959 000,00
	Всього	147 973 778,34	4 450 633 350,20

4.2 Розрахунок техніко-економічних витрат з урахуванням реконструкції водопровідної мережі

Запланована мережа водопостачання складається з чавунних труб різних розмірів, загальною довжиною 58,4 км. У Таблиці 4.4 наведена детальна інформація про довжину мережі. На основі цих даних можна визначити капітальні витрати на систему водопостачання за допомогою рівняння 4.2 [39]:

$$V_B = V'_B \cdot n_B \cdot L_B, \quad (4.2)$$

де V'_B - вартість прокладки водоводу, грн/м;

n_B – кількість ниток водоводу;

L_B – довжина водоводу, м.

Таблиця 4.3 – Довжина ділянки для діаметрів водопровідної мережі

Діаметр,мм	Ділянки	Довжина,м
150	17,19,33,34,41,42,58	5300
200	11,18,28,32,35, 40	4270
300	15,16,20,21,26,31,39,44,45,51,52,53,54	8186
400	14,22,25,27,29,38,43,46,47,49,50,55,57	10750

Продовження табл.4.3

1	2	3
500	13,24,36,37,48,56,59	6843
600	6,7,10,12	2400
700	4,5,60	2300
900	8,23	1050
1000	30	9170
1200	9	1750
1400	2,3	1242
1600	1	5118
Всього		58379

Результати розрахунку вартості обладнання водоводів приведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Результат розрахунку вартості обладнання водопроводу

Діаметр, мм	Довжина, м	Вартість за 1м, грн	Загальна вартість, грн
1	2	3	4
150	5300	2750	14 575 000,00
200	4270	4070	17 378 900,00
300	8186	5700	46 660 200,00
400	10750	7400	79 550 000,00
500	6843	11400	78 010 200,00
600	2400	11850	28 440 000,00
700	2300	14350	33 005 000,00
900	1050	17000	17 850 000,00
1000	9170	19550	179 273 500,00
1200	1750	23250	40 687 500,00
1400	1242	26450	32 850 900,00
1600	5118	29700	152 004 600,00
Всього	58379	Всього	720 285 800,00

Вартість реконструкції ділянки водопровідної мережі після 30 років водопостачання показана в таблиці 4.5 з використанням рівняння 4.2 та даних гідравлічного розрахунку (рис. Б.8).

Таблиця 4.5 – Результат розрахунку вартості реконструкції обладнання водопроводу.

Діаметр, мм	Довжина, м	Вартість за 1м, грн	Загальна вартість, грн
150	5300	2750	14 575 000,00
200	4270	4070	17 378 900,00
300	8186	5700	46 660 200,00
400	10750	7400	79 550 000,00
500	6843	11400	78 010 200,00
600	2400	11850	28 440 000,00
700	2300	14350	33 005 000,00
900	1050	17000	17 850 000,00
1000	9170	19550	179 273 500,00
1200	1750	23250	40 687 500,00
1400	1242	26450	32 850 900,00
1600	5118	29700	152 004 600,00
Всього			720 285 800,00

У графічній частині роботи зображено результати техніко-економічного обґрунтування [лист 8]

Отже, у четвертому розділі дипломної роботи розглянуто техніко-економічне обґрунтування.

Можливі варіанти відновлення роботи мережі:

- 1) насосні станції проектуються для мережі з необхідним напором на початку експлуатації і з часом перебудовуються з урахуванням збільшення втрат напору;
- 2) частина трубопроводів мережі була реконструйована, а насосне обладнання залишилося таким же, як і на початку роботи мережі.

За результатами розрахунків на встановлення нового насосного обладнання (табл. 4.1), загальна вартість якого становить 6530,0 тис. грн, і за результатами розрахунків на реконструкцію водопровідної мережі через 30 років (табл. 4.5), вартість якого складає 720 285,800 тис.грн., ми приймаємо перший варіант відновлення нормального функціонування водопровідної

мережі - насосні станції проектуються для мережі з необхідним напором на початку експлуатації і реконструюються з урахуванням збільшення втрат напору з часом.

ВИСНОВКИ

1. Під час експлуатації водопровідної мережі змінюються гідравлічні характеристики поперечного перерізу та зменшується пропускна здатність поперечного перерізу. Розрахунки показують, що внутрішній діаметр зменшується в середньому на 8,4% за п'ять років, 10,6% за 10 років, 11,8% за 15 років, 12,5% за 20 років і 13,6% за 30 років.
2. Результати досліджень впливу зміни гідравлічних характеристик на розподіл тиску є важливими для оперативного реагування диспетчерських служб на аварійні ситуації у водопровідній мережі. Зменшення пропускної здатності ділянок мережі при цьому призводить до зміни динаміки тиску та утворення зон дефіциту тиску.
3. Виявлено, що розмір зон дефіциту тиску становить 30% від загальної площі, що обслуговується мережею. Розмір цих зон збільшується в середньому на 5% кожні п'ять років експлуатації.
4. Було розглянуто два варіанти забезпечення необхідного тиску під час роботи вузла мережі:
 - 1) насосні станції розраховані на мережу з необхідним напором на початку експлуатації і з часом реконструюються з урахуванням збільшення втрат напору. Заміна старого насоса Д 1250-63 на новий насос Д 1250-125а коштує 637 000,0 грн.
 - 2) ділянки трубопроводу мережі реконструюються, а насосні потужності залишаються такими ж, як і на початку експлуатації мережі.Реконструкції підлягають ділянки Д 1-60, що становить 65% від загальної протяжності мережі. Витрати на реконструкцію становлять 720,2858 млн.грн.
4. Рекомендації щодо врахування впливу пропускної здатності ділянки на розподіл тиску в мережі на етапі проектування: визначити найбільш проблемні ділянки та обладнати їх регулюючим обладнанням.

Модернізувати насосне обладнання при падінні тиску в вузлі регулювання.

5. Аналіз ефективності реконструкції мережі у системі водопостачання міста також призводить до висновку про важливість урахування аспектів енергоефективності. Реалізація запропонованих технічних та організаційних заходів не лише спрямована на зниження втрат води та покращення якості обслуговування міського населення, а й сприяє зниженню енерговитрат у системі водопостачання.
6. Оптимізація процесів обробки та розподілу води, усунення технічних несправностей, а також впровадження сучасних технологій та систем моніторингу дозволяють знизити енергоспоживання системи загалом. Це особливо актуально в умовах постійного зростання цін на енергоресурси та прагнення до зниження впливу на довкілля.
7. Таким чином, магістерська робота надає не лише концептуальні рекомендації щодо покращення водопостачальної системи, але також наголошує на важливості інтеграції заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Водний Кодекс України від 6.06.95 № 213/95 ВРУ
2. Водний кодекс України. Постанова Верховної Ради України від 06.06.1995р.
3. Гігієнічні вимоги і нормативи якості питної води. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://medbib.in.ua/gigienicheskie-trebovaniya-normativuyi.html> .
4. ДСанПіН 2.2.4-171-10 “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною”. Наказ Міністерства охорони здоров’я України від 12.05.2010 р. № 400.
5. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання.
6. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості
7. Закон України “Про питну воду та питне водопостачання” від 10.01.2002 р. № 2918- П // zakon.rada.gov.ua. 26 с.
8. Постанова Кабінету Міністрів України від 18 грудня 1998 р. № 2024 “Про правовий режим зон санітарної охорони водних об’єктів”.
9. Про охорону навколишнього природного середовища. Закон України від 25 червня 1991 року // Відомості Верховної Ради України. 1991. № 41. С. 546.
10. Вишняков І. Б. Тектонічний розвиток південно-західної околиці Східноєвропейської платформи та головні напрямки пошуків покладів вуглеводнів у її межах на Україні / І. Б. Вишняков, В. В. Глушко. - Львів : УкрДГРІ, 1984.
11. Вишняков І. Б. Львівсько-Люблінський палеозойський прогин / І. Б. Вишняков // Геотектоніка Волино-Подолії. – Київ : Наук. думка, 1990. С. 169–177.
12. Водопостачання та водовідведення: енциклопедія / сост.: В. В. Кобзарь, А. В. Кобзарь ; под ред. А. Е. Попова. К. : Логос, 2002. – 488с.

13. Генсірук Степан Антонович, Нижник Марія Степанівна. Географія лісових ресурсів України / С.А. Генсірук (ред.). — Львів, 1995.
14. Географічна енциклопедія України. Другий том, Київ, 1990р.
15. Гончарук Е. И. Изучение влияния загрязненной воды на здоровье населения / Е. И. Гончарук. — К. : Наукова думка, 1990. — 156 с.
16. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води: [підручник] / А. К. Запольський. — Київ: Вища школа, 2005. — 671 с.
17. Ковтун В.В.. Промисловий комплекс України /економіка- екологія- географія/ : Програма для вищих навч. закл. / Національний педагогічний ун-т ім. М.П.Драгоманова. — К. : Логос, 1998.
18. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2019 році
19. Орадовская А. Е. Санитарна охорона водозаборів підземних вод / А. Є. Орадовська, Н. Н. Лапшин. — М.: Недра, 1987.
20. Петровська М. А. Охорона вод (санітарні норми і правила): навч. посібн. / М. А. Петровська. - Львів : ВЦ ЛНУ ім. І. Франка, 2005.- 205 с.
21. Пономарев В.Л., С.Л. Василюк Каталітичні завантаження у водоочищенні. Вода та Водоочисні Технології. 2019. 91(1). 16-19
22. Прокопов В. О. Гігієнічні проблеми водопостачання в Україні / В. О. Прокопов // Досвід та перспектив и наукового супроводу проблем гігієнічної науки та практики. — К., 2011. — С. 106–132.
23. Прокопов В. О. Оцінка якості питної води з підземних вододжерел України з погляду впливу на стан здоров'я населення / В. О. Прокопов, О. Б. Липовецька // Науковий вісник НМУ. — К., 2012. — Вип. 4. — С. 122–126.
24. Ситенко М. А. Забезпечення населення України якісною питною водою — один з головних пріоритетів державної політики і національної безпеки держави / М. А. Ситенко // Водопостачання та водовідведення. — Спецвипуск, 2008. — С. 15–17.
25. Справочне керівництво гідрогеолога : В 2 т. / [за ред. В. М. Максимова]. — Л. : Недра, 1979.

26. Топчієв О.Г. Суспільно-географічні дослідження: методологія, методи, методики: Навч. посібн.– Одеса: Астропринт, 2005. – 632 с.
27. Хільчевський В. К. Водопостачання і водовідведення: гідроекологічні аспекти: підручник / В. К. Хільчевський. – К.: ВВП „Київський університет”, 1999. – 319 с.
28. Фурдуй Р. С. Основи загальної екології: навч. посібник / Р. С. Фурдуй, М. М. Падун. – К.: Либідь, 1995. – 369 с. Шаблій О.І. Основи загальної суспільної географії. – Львів: ВЦ Львів. ун-ту ім. І. Франка, 2003. – 444 с.
29. Шляхи забезпечення сільського населення якісною питною водою / П. Д. Хоружий, Т. П. Хомутецька, А. В. Василюк, Ю. П. Яковенко // Водне господарство України. – 2009. – № 1. – С. 19–22.
30. Яковлєв Є. О. Регіональна оцінка територіального розподілу та екологічного стану підземних вод України (зона активного водообміну) / Є. О. Яковлєв // Водопостачання та водовідведення. – Спецвипуск. – 2008. – С. 46–51.
31. Петровська М. Нормування якості довкілля: навчальний посібник / М. Петровська. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. – 300 с.
32. Сайт Виконавчий комітет Запорізької міської ради Комунальне підприємство «ВОДОКАНАЛ» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: «<https://vodokanal.zp.ua/>»
33. Постанова Кабінету Міністрів України від 13 липня 2011 р. № 753 “ Про затвердження Порядку залучення працездатних осіб до суспільно корисних робіт в умовах воєнного стану”.
34. Сайт Південно-Східного міжрегіонального управління Державної служби з питань праці. «Рекомендації для роботодавців щодо організації виконання робіт підвищеної небезпеки під час воєнних (бойових) дій» від 06 грудня 2022р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: «<https://dp.dsp.gov.ua>»
35. Закон України “Про організацію трудових відносин в умовах воєнного стану” від 15.03.2022 р. № 2136-IX // zakon.rada.gov.ua

36. Закон України “Про внесення змін до деяких законів України щодо уточнення завдань та основ підготовки і ведення національного спротиву” від 27.01.2022 р. № 2024-IX // zakon.rada.gov.ua
37. Закон України “ Про правовий режим воєнного стану” від 12.05.2015р. № 389-VIII // zakon.rada.gov.ua
38. Добровольська О.Г., Каведяєв О.С., Єрофєєв С.А. Аналіз ефективності реконструкції мережі в системі водопостачання міста. Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України: Збірка тез доповідей III Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців, яка проходила 17-20 жовтня 2023 року. Запоріжжя: 2023. С.81-83.

ДОДАТОК А

Результати розрахунку

:номер :ділянки:	: код :ділянки:	: діаметр : труби, мм	: довжина : ділянки, м	: витрата : води, л/с	: швидкість : води, м/с	: втрати : напору, м
: 1	: 0- 0	: 1600.00	: 5118.00	: 1857.00	: .92	: 2.64
: 2	: 0- 0	: 1400.00	: 742.00	: 1830.00	: 1.19	: .73
: 3	: 0- 0	: 1400.00	: 500.00	: 1819.00	: 1.18	: .49
: 4	: 0- 1	: 700.00	: 1050.00	: 365.95	: .95	: 1.67
: 5	: 0- 1	: 700.00	: 750.00	: 299.95	: .78	: .83
: 6	: 0- 1	: 600.00	: 750.00	: 244.95	: .87	: 1.23
: 7	: 0- 1	: 600.00	: 600.00	: 211.95	: .75	: .75
: 8	: 1- 0	: 900.00	: 750.00	: 1404.05	: 2.21	: 4.48
: 9	: 0- 0	: 1200.00	: 1750.00	: 1590.00	: 1.41	: 2.92
: 10	: 3- 0	: 600.00	: 400.00	: 474.54	: 1.68	: 2.34
: 11	: 0- 0	: 200.00	: 800.00	: 23.00	: .73	: 4.01
: 12	: 3- 0	: 600.00	: 650.00	: 436.54	: 1.54	: 3.22
: 13	: 3- 4	: 500.00	: 1000.00	: 209.26	: 1.07	: 3.05
: 14	: 3- 4	: 400.00	: 650.00	: 147.26	: 1.17	: 3.17
: 15	: 3- 5	: 300.00	: 650.00	: 61.42	: .87	: 2.64
: 16	: 0- 5	: 300.00	: 450.00	: 63.88	: .90	: 1.96
: 17	: 0- 5	: 150.00	: 950.00	: 12.88	: .73	: 6.86
: 18	: 5- 0	: 200.00	: 400.00	: 38.12	: 1.21	: 5.10
: 19	: 5- 4	: 150.00	: 600.00	: 15.85	: .90	: 6.36
: 20	: 4- 0	: 300.00	: 550.00	: 80.27	: 1.14	: 3.67
: 21	: 4- 0	: 300.00	: 350.00	: 113.27	: 1.60	: 4.60
: 22	: 4- 0	: 400.00	: 800.00	: 155.27	: 1.24	: 4.31
: 23	: 0- 3	: 900.00	: 300.00	: 1087.46	: 1.71	: 1.08
: 24	: 0- 3	: 500.00	: 1850.00	: 207.46	: 1.06	: 5.56
: 25	: 0- 3	: 400.00	: 150.00	: 132.46	: 1.05	: .60
: 26	: 0- 2	: 300.00	: 350.00	: 91.15	: 1.29	: 2.98
: 27	: 0- 2	: 400.00	: 1500.00	: 76.15	: .61	: 2.16
: 28	: 2- 3	: 200.00	: 1000.00	: 23.31	: .74	: 5.14
: 29	: 0- 3	: 400.00	: 2100.00	: 61.46	: .49	: 2.04
: 30	: 0- 0	: 1000.00	: 9170.00	: 801.00	: 1.02	: 10.47
: 31	: 0- 0	: 300.00	: 485.00	: 79.00	: 1.12	: 3.14
: 32	: 0- 6	: 200.00	: 900.00	: 33.70	: 1.07	: 9.15
: 33	: 0- 6	: 150.00	: 900.00	: 9.70	: .55	: 3.87
: 34	: 6- 0	: 150.00	: 900.00	: 14.30	: .81	: 7.89
: 35	: 6- 0	: 200.00	: 800.00	: 26.30	: .84	: 5.13
: 36	: 0-12	: 500.00	: 343.00	: 252.62	: 1.29	: 1.50
: 37	: 0-12	: 500.00	: 600.00	: 237.62	: 1.21	: 2.32
: 38	: 0- 8	: 400.00	: 750.00	: 191.63	: 1.52	: 6.14
: 39	: 0- 7	: 300.00	: 630.00	: 39.81	: .56	: 1.15
: 40	: 0- 7	: 200.00	: 370.00	: 24.81	: .79	: 2.13
: 41	: 0- 7	: 150.00	: 700.00	: 9.81	: .55	: 3.07
: 42	: 7- 0	: 150.00	: 850.00	: 11.19	: .63	: 4.74
: 43	: 7- 8	: 400.00	: 400.00	: 132.83	: 1.06	: 1.61
: 44	: 0- 8	: 300.00	: 300.00	: 100.63	: 1.42	: 3.11
: 45	: 0- 8	: 300.00	: 550.00	: 87.63	: 1.24	: 4.33
: 46	: 0- 9	: 400.00	: 400.00	: 159.45	: 1.27	: 2.27
: 47	: 0- 9	: 400.00	: 1400.00	: 112.45	: .89	: 4.09
: 48	: 9- 0	: 500.00	: 1800.00	: 148.55	: .76	: 2.91
: 49	: 9-10	: 400.00	: 500.00	: 133.35	: 1.06	: 2.02
: 50	: 9-10	: 400.00	: 200.00	: 145.35	: 1.16	: .95
: 51	: 9-11	: 300.00	: 700.00	: 96.53	: 1.37	: 6.68
: 52	: 8- 9	: 300.00	: 700.00	: 92.81	: 1.31	: 6.20
: 53	: 10- 0	: 300.00	: 1300.00	: 84.20	: 1.19	: 9.49
: 54	: 11-10	: 300.00	: 1171.00	: 72.82	: 1.03	: 6.52
: 55	: 11- 0	: 400.00	: 1100.00	: 202.02	: 1.61	: 10.01
: 56	: 11- 0	: 500.00	: 500.00	: 221.02	: 1.13	: 1.69
: 57	: 12-11	: 400.00	: 800.00	: 225.36	: 1.79	: 9.06
: 58	: 8-12	: 150.00	: 400.00	: 19.98	: 1.13	: 6.52
: 59	: 8-11	: 500.00	: 750.00	: 218.35	: 1.11	: 2.48
: 60	: 12- 0	: 700.00	: 500.00	: 469.38	: 1.22	: 1.27

Рисунок А.1 – Результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі.

Таблиця А.1 - Результати розрахунку п'єзометрів та вільних напорів у вузлах мережі.

Вузол	П'єзометр	Позначка землі	Вільний напір
1	2	3	4
ДВС-II	113,50	83,00	30,50
1	110,86	81,00	29,86
2	110,13	70,00	40,13
3	109,64	70,00	39,64
4	107,97	80,00	27,97
5	107,14	74,00	33,14
6	105,91	70,00	35,91
7	105,16	69,00	36,16
8	102,24	59,00	43,24
9	99,90	58,00	41,90
10	95,89	55,00	40,89
11	96,68	43,00	53,68
12	93,63	45,00	48,63
13	90,46	46,00	44,46
14	87,82	47,00	40,82
15	85,86	50,00	35,86
16	79,00	53,00	26,00
17	84,1	49,00	35,1
18	87,77	50,00	37,77
19	92,37	47,00	45,37
20	101,16	46,00	55,16
21	95,60	50,00	45,60
22	95,00	46,00	49,00
23	92,02	48,00	44,02
24	89,86	51,00	38,86
НС	142,37	94,55	47,82
25	139,23	92,50	46,73
26	130,08	93,00	37,08
27	126,21	79,00	47,21
28	134,10	92,00	42,10
29	140,87	92,00	48,87
30	138,55	92,00	46,55
31	132,41	95,00	37,41

Продовження таблиці А.1

1	2	3	4
32	131,26	80,50	50,76
33	129,13	83,00	46,13
34	126,06	93,00	33,06
35	130,8	91,00	39,8
36	127,69	91,00	36,69
37	123,36	91,00	32,36
38	121,09	89,00	32,09
39	117,00	91,00	26,00
40	119,91	76,00	43,91
41	121,93	80,00	41,93
42	122,88	90,00	32,88
43	129,56	90,00	39,56
44	129,40	80,00	49,40
45	139,41	82,00	57,41
46	141,10	87,00	54,10
47	132,04	91,00	41,04

ДОДАТОК Б

Результати розрахунку

номер ділянки:	код ділянки:	діаметр труби, мм	довжина ділянки, м	витрата води, л/с	швидкість води, м/с	втрати напору, м
1	0-0	1465.00	5118.00	1857.00	1.10	4.11
2	0-0	1282.00	742.00	1830.00	1.42	1.16
3	0-0	1282.00	500.00	1819.00	1.41	.77
4	0-1	641.00	1050.00	369.02	1.14	2.65
5	0-1	641.00	750.00	303.02	.94	1.31
6	0-1	549.00	750.00	248.02	1.05	1.96
7	0-1	549.00	600.00	215.02	.91	1.20
8	1-0	824.00	750.00	1400.98	2.63	7.12
9	0-0	1099.00	1750.00	1590.00	1.68	4.65
10	3-0	549.00	400.00	474.15	2.00	3.74
11	0-0	182.00	800.00	23.00	.88	6.42
12	3-0	549.00	650.00	436.15	1.84	5.15
13	3-4	458.00	1000.00	208.62	1.27	4.74
14	3-4	370.00	650.00	146.62	1.36	4.71
15	3-5	276.00	650.00	61.13	1.02	3.97
16	0-5	276.00	450.00	63.99	1.07	2.99
17	0-5	136.00	950.00	12.99	.89	11.36
18	5-0	182.00	400.00	38.01	1.46	8.37
19	5-4	136.00	600.00	15.48	1.07	9.95
20	4-0	276.00	550.00	80.53	1.35	5.69
21	4-0	276.00	350.00	113.53	1.90	7.19
22	4-0	370.00	800.00	155.53	1.45	6.52
23	0-3	824.00	300.00	1087.85	2.04	1.72
24	0-3	458.00	1850.00	207.85	1.26	8.70
25	0-3	370.00	150.00	132.85	1.24	.89
26	0-2	276.00	350.00	91.96	1.54	4.72
27	0-2	370.00	1500.00	76.96	.72	3.24
28	2-3	182.00	1000.00	22.90	.88	7.96
29	0-3	370.00	2100.00	61.85	.58	3.04
30	0-0	916.00	9170.00	801.00	1.22	16.25
31	0-0	276.00	485.00	79.00	1.32	4.82
32	0-6	182.00	900.00	33.70	1.30	14.81
33	0-6	136.00	900.00	9.70	.67	6.29
34	6-0	136.00	900.00	14.30	.98	12.87
35	6-0	182.00	800.00	26.30	1.01	8.23
36	0-12	458.00	343.00	251.76	1.53	2.37
37	0-12	458.00	600.00	236.76	1.44	3.66
38	0-8	370.00	750.00	191.78	1.78	9.30
39	0-7	276.00	630.00	39.79	.67	1.74
40	0-7	182.00	370.00	24.79	.95	3.41
41	0-7	136.00	700.00	9.79	.67	4.98
42	7-0	136.00	850.00	11.21	.77	7.74
43	7-8	370.00	400.00	132.99	1.24	2.39
44	0-8	276.00	300.00	100.78	1.68	4.86
45	0-8	276.00	550.00	87.78	1.47	6.76
46	0-9	370.00	400.00	159.74	1.49	3.44
47	0-9	370.00	1400.00	112.74	1.05	6.11
48	9-0	458.00	1800.00	148.26	.90	4.50
49	9-10	370.00	500.00	133.53	1.24	3.01
50	9-10	370.00	200.00	145.53	1.35	1.43
51	9-11	276.00	700.00	95.99	1.60	10.27
52	8-9	276.00	700.00	92.96	1.55	9.66
53	10-0	276.00	1300.00	83.73	1.40	14.53
54	11-10	276.00	1171.00	73.54	1.23	10.09
55	11-0	370.00	1100.00	202.27	1.88	15.17
56	11-0	458.00	500.00	221.27	1.34	2.66
57	12-11	370.00	800.00	225.97	2.10	13.77
58	8-12	136.00	400.00	18.98	1.31	9.78
59	8-11	458.00	750.00	217.95	1.32	3.88
60	12-0	641.00	500.00	470.24	1.46	2.03

Рисунок Б.1 – Результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі через 5 років її експлуатації.

Результати розрахунку

номер ділянки	код ділянки	діаметр труби, мм	довжина ділянки, м	витрата води, л/с	швидкість води, м/с	втрати напору, м
1	0-0	1431.00	5118.00	1857.00	1.15	4.62
2	0-0	1252.00	742.00	1830.00	1.49	1.31
3	0-0	1252.00	500.00	1819.00	1.48	.87
4	0-1	626.00	1050.00	370.22	1.20	2.99
5	0-1	626.00	750.00	304.22	.99	1.49
6	0-1	537.00	750.00	249.22	1.10	2.21
7	0-1	537.00	600.00	216.22	.95	1.36
8	1-0	805.00	750.00	1399.78	2.75	8.05
9	0-0	1073.00	1750.00	1590.00	1.76	5.28
10	3-0	537.00	400.00	474.19	2.09	4.21
11	0-0	178.00	800.00	23.00	.92	7.17
12	3-0	537.00	650.00	436.19	1.93	5.79
13	3-4	447.00	1000.00	208.66	1.33	5.39
14	3-4	362.00	650.00	146.66	1.42	5.29
15	3-5	270.00	650.00	61.19	1.07	4.44
16	0-5	270.00	450.00	64.00	1.12	3.35
17	0-5	133.00	950.00	13.00	.94	12.73
18	5-0	178.00	400.00	38.00	1.53	9.41
19	5-4	133.00	600.00	15.47	1.11	11.11
20	4-0	270.00	550.00	80.53	1.41	6.39
21	4-0	270.00	350.00	113.53	1.98	8.08
22	4-0	362.00	800.00	155.53	1.51	7.32
23	0-3	805.00	300.00	1087.81	2.14	1.94
24	0-3	447.00	1850.00	207.81	1.32	9.89
25	0-3	362.00	150.00	132.81	1.29	1.00
26	0-2	270.00	350.00	91.90	1.61	5.29
27	0-2	362.00	1500.00	76.90	.75	3.61
28	2-3	178.00	1000.00	22.91	.92	8.90
29	0-3	362.00	2100.00	61.81	.60	3.39
30	0-0	894.00	9170.00	801.00	1.28	18.49
31	0-0	270.00	485.00	79.00	1.38	5.42
32	0-6	178.00	900.00	33.68	1.35	16.64
33	0-6	133.00	900.00	9.68	.70	7.01
34	6-0	133.00	900.00	14.32	1.03	14.43
35	6-0	178.00	800.00	26.32	1.06	9.22
36	0-12	447.00	343.00	251.73	1.60	2.69
37	0-12	447.00	600.00	236.73	1.51	4.16
38	0-8	362.00	750.00	191.82	1.86	10.45
39	0-7	270.00	630.00	39.80	.70	1.94
40	0-7	178.00	370.00	24.80	1.00	3.82
41	0-7	133.00	700.00	9.80	.71	5.57
42	7-0	133.00	850.00	11.20	.81	8.65
43	7-8	362.00	400.00	133.02	1.29	2.68
44	0-8	270.00	300.00	100.82	1.76	5.46
45	0-8	270.00	550.00	87.82	1.53	7.60
46	0-9	362.00	400.00	159.85	1.55	3.87
47	0-9	362.00	1400.00	112.85	1.10	6.83
48	9-0	447.00	1800.00	148.15	.94	5.07
49	9-10	362.00	500.00	133.44	1.30	3.37
50	9-10	362.00	200.00	145.44	1.41	1.60
51	9-11	270.00	700.00	95.90	1.67	11.52
52	8-9	270.00	700.00	93.03	1.62	10.86
53	10-0	270.00	1300.00	83.71	1.46	16.31
54	11-10	270.00	1171.00	73.55	1.28	11.34
55	11-0	362.00	1100.00	202.26	1.97	17.03
56	11-0	447.00	500.00	221.26	1.41	3.03
57	12-11	362.00	800.00	226.02	2.20	15.47
58	8-12	133.00	400.00	18.91	1.36	10.92
59	8-11	447.00	750.00	217.93	1.39	4.41
60	12-0	626.00	500.00	470.27	1.53	2.30

Рисунок Б.2 – Результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі через 10 років її експлуатації.

Результати розрахунку

:номер :ділянки:	: код :ділянки:	: діаметр : труби, мм	: довжина : ділянки, м	: витрата : води, л/с	: швидкість : води, м/с	: втрати : напору, м
: 1	: 0- 0	: 1412.00	: 5118.00	: 1857.00	: 1.19	: 4.95
: 2	: 0- 0	: 1235.00	: 742.00	: 1830.00	: 1.53	: 1.41
: 3	: 0- 0	: 1235.00	: 500.00	: 1819.00	: 1.52	: .94
: 4	: 0- 1	: 618.00	: 1050.00	: 370.48	: 1.24	: 3.20
: 5	: 0- 1	: 618.00	: 750.00	: 304.48	: 1.02	: 1.59
: 6	: 0- 1	: 529.00	: 750.00	: 249.48	: 1.14	: 2.39
: 7	: 0- 1	: 529.00	: 600.00	: 216.48	: .98	: 1.47
: 8	: 1- 0	: 794.00	: 750.00	: 1399.52	: 2.83	: 8.65
: 9	: 0- 0	: 1059.00	: 1750.00	: 1590.00	: 1.81	: 5.66
: 10	: 3- 0	: 529.00	: 400.00	: 474.07	: 2.16	: 4.56
: 11	: 0- 0	: 175.00	: 800.00	: 23.00	: .96	: 7.81
: 12	: 3- 0	: 529.00	: 650.00	: 436.07	: 1.98	: 6.27
: 13	: 3- 4	: 441.00	: 1000.00	: 208.63	: 1.37	: 5.79
: 14	: 3- 4	: 357.00	: 650.00	: 146.63	: 1.46	: 5.70
: 15	: 3- 5	: 266.00	: 650.00	: 61.14	: 1.10	: 4.78
: 16	: 0- 5	: 266.00	: 450.00	: 64.07	: 1.15	: 3.61
: 17	: 0- 5	: 131.00	: 950.00	: 13.07	: .97	: 13.88
: 18	: 5- 0	: 175.00	: 400.00	: 37.93	: 1.58	: 10.25
: 19	: 5- 4	: 131.00	: 600.00	: 15.49	: 1.15	: 12.02
: 20	: 4- 0	: 266.00	: 550.00	: 80.44	: 1.45	: 6.90
: 21	: 4- 0	: 266.00	: 350.00	: 113.44	: 2.04	: 8.73
: 22	: 4- 0	: 357.00	: 800.00	: 155.44	: 1.55	: 7.88
: 23	: 0- 3	: 794.00	: 300.00	: 1087.93	: 2.20	: 2.09
: 24	: 0- 3	: 441.00	: 1850.00	: 207.93	: 1.36	: 10.64
: 25	: 0- 3	: 357.00	: 150.00	: 132.93	: 1.33	: 1.08
: 26	: 0- 2	: 266.00	: 350.00	: 92.09	: 1.66	: 5.75
: 27	: 0- 2	: 357.00	: 1500.00	: 77.09	: .77	: 3.89
: 28	: 2- 3	: 175.00	: 1000.00	: 22.84	: .95	: 9.64
: 29	: 0- 3	: 357.00	: 2100.00	: 61.93	: .62	: 3.65
: 30	: 0- 0	: 882.00	: 9170.00	: 801.00	: 1.31	: 19.86
: 31	: 0- 0	: 266.00	: 485.00	: 79.00	: 1.42	: 5.87
: 32	: 0- 6	: 175.00	: 900.00	: 33.66	: 1.40	: 18.18
: 33	: 0- 6	: 131.00	: 900.00	: 9.66	: .72	: 7.51
: 34	: 6- 0	: 131.00	: 900.00	: 14.34	: 1.06	: 15.63
: 35	: 6- 0	: 175.00	: 800.00	: 26.34	: 1.10	: 10.06
: 36	: 0-12	: 441.00	: 343.00	: 251.67	: 1.65	: 2.89
: 37	: 0-12	: 441.00	: 600.00	: 236.67	: 1.55	: 4.47
: 38	: 0- 8	: 357.00	: 750.00	: 191.81	: 1.92	: 11.24
: 39	: 0- 7	: 266.00	: 630.00	: 39.79	: .72	: 2.09
: 40	: 0- 7	: 175.00	: 370.00	: 24.79	: 1.03	: 4.15
: 41	: 0- 7	: 131.00	: 700.00	: 9.79	: .73	: 5.99
: 42	: 7- 0	: 131.00	: 850.00	: 11.21	: .83	: 9.35
: 43	: 7- 8	: 357.00	: 400.00	: 133.02	: 1.33	: 2.88
: 44	: 0- 8	: 266.00	: 300.00	: 100.81	: 1.81	: 5.91
: 45	: 0- 8	: 266.00	: 550.00	: 87.81	: 1.58	: 8.22
: 46	: 0- 9	: 357.00	: 400.00	: 159.85	: 1.60	: 4.17
: 47	: 0- 9	: 357.00	: 1400.00	: 112.85	: 1.13	: 7.34
: 48	: 9- 0	: 441.00	: 1800.00	: 148.15	: .97	: 5.43
: 49	: 9-10	: 357.00	: 500.00	: 133.48	: 1.33	: 3.63
: 50	: 9-10	: 357.00	: 200.00	: 145.48	: 1.45	: 1.73
: 51	: 9-11	: 266.00	: 700.00	: 95.90	: 1.73	: 12.48
: 52	: 8- 9	: 266.00	: 700.00	: 93.04	: 1.67	: 11.75
: 53	: 10- 0	: 266.00	: 1300.00	: 83.67	: 1.51	: 17.64
: 54	: 11-10	: 266.00	: 1171.00	: 73.58	: 1.32	: 12.29
: 55	: 11- 0	: 357.00	: 1100.00	: 202.25	: 2.02	: 18.34
: 56	: 11- 0	: 441.00	: 500.00	: 221.25	: 1.45	: 3.25
: 57	: 12-11	: 357.00	: 800.00	: 226.08	: 2.26	: 16.66
: 58	: 8-12	: 131.00	: 400.00	: 18.86	: 1.40	: 11.78
: 59	: 8-11	: 441.00	: 750.00	: 217.94	: 1.43	: 4.74
: 60	: 12- 0	: 618.00	: 500.00	: 470.33	: 1.57	: 2.46

Рисунок Б.3 – Результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі через 15 років її експлуатації.

Результати розрахунку

:номер :ділянки:	: код :ділянки:	: діаметр : труби, мм :	: довжина : ділянки, м :	: витрата : води, л/с :	: швидкість : води, м/с :	: втрати : напору, м :
: 1	: 0- 0	: 1399.00	: 5118.00	: 1857.00	: 1.21	: 5.17
: 2	: 0- 0	: 1224.00	: 742.00	: 1830.00	: 1.56	: 1.48
: 3	: 0- 0	: 1224.00	: 500.00	: 1819.00	: 1.55	: .98
: 4	: 0- 1	: 612.00	: 1050.00	: 370.70	: 1.26	: 3.38
: 5	: 0- 1	: 612.00	: 750.00	: 304.70	: 1.04	: 1.67
: 6	: 0- 1	: 525.00	: 750.00	: 249.70	: 1.15	: 2.49
: 7	: 0- 1	: 525.00	: 600.00	: 216.70	: 1.00	: 1.53
: 8	: 1- 0	: 787.00	: 750.00	: 1399.30	: 2.88	: 9.07
: 9	: 0- 0	: 1049.00	: 1750.00	: 1590.00	: 1.84	: 5.96
: 10	: 3- 0	: 525.00	: 400.00	: 474.12	: 2.19	: 4.75
: 11	: 0- 0	: 174.00	: 800.00	: 23.00	: .97	: 8.04
: 12	: 3- 0	: 525.00	: 650.00	: 436.12	: 2.01	: 6.53
: 13	: 3- 4	: 437.00	: 1000.00	: 208.64	: 1.39	: 6.08
: 14	: 3- 4	: 354.00	: 650.00	: 146.64	: 1.49	: 5.96
: 15	: 3- 5	: 264.00	: 650.00	: 61.16	: 1.12	: 4.97
: 16	: 0- 5	: 264.00	: 450.00	: 64.04	: 1.17	: 3.75
: 17	: 0- 5	: 130.00	: 950.00	: 13.04	: .98	: 14.36
: 18	: 5- 0	: 174.00	: 400.00	: 37.96	: 1.60	: 10.59
: 19	: 5- 4	: 130.00	: 600.00	: 15.48	: 1.17	: 12.49
: 20	: 4- 0	: 264.00	: 550.00	: 80.48	: 1.47	: 7.19
: 21	: 4- 0	: 264.00	: 350.00	: 113.48	: 2.07	: 9.09
: 22	: 4- 0	: 354.00	: 800.00	: 155.48	: 1.58	: 8.25
: 23	: 0- 3	: 787.00	: 300.00	: 1087.88	: 2.24	: 2.19
: 24	: 0- 3	: 437.00	: 1850.00	: 207.88	: 1.39	: 11.16
: 25	: 0- 3	: 354.00	: 150.00	: 132.88	: 1.35	: 1.13
: 26	: 0- 2	: 264.00	: 350.00	: 91.93	: 1.68	: 5.97
: 27	: 0- 2	: 354.00	: 1500.00	: 76.93	: .78	: 4.04
: 28	: 2- 3	: 174.00	: 1000.00	: 22.94	: .96	: 10.01
: 29	: 0- 3	: 354.00	: 2100.00	: 61.88	: .63	: 3.80
: 30	: 0- 0	: 875.00	: 9170.00	: 801.00	: 1.33	: 20.72
: 31	: 0- 0	: 264.00	: 485.00	: 79.00	: 1.44	: 6.11
: 32	: 0- 6	: 174.00	: 900.00	: 33.67	: 1.42	: 18.75
: 33	: 0- 6	: 130.00	: 900.00	: 9.67	: .73	: 7.82
: 34	: 6- 0	: 130.00	: 900.00	: 14.33	: 1.08	: 16.22
: 35	: 6- 0	: 174.00	: 800.00	: 26.33	: 1.11	: 10.35
: 36	: 0-12	: 437.00	: 343.00	: 251.71	: 1.68	: 3.03
: 37	: 0-12	: 437.00	: 600.00	: 236.71	: 1.58	: 4.69
: 38	: 0- 8	: 354.00	: 750.00	: 191.83	: 1.95	: 11.76
: 39	: 0- 7	: 264.00	: 630.00	: 39.80	: .73	: 2.17
: 40	: 0- 7	: 174.00	: 370.00	: 24.80	: 1.04	: 4.28
: 41	: 0- 7	: 130.00	: 700.00	: 9.80	: .74	: 6.24
: 42	: 7- 0	: 130.00	: 850.00	: 11.20	: .84	: 9.67
: 43	: 7- 8	: 354.00	: 400.00	: 133.02	: 1.35	: 3.02
: 44	: 0- 8	: 264.00	: 300.00	: 100.83	: 1.84	: 6.15
: 45	: 0- 8	: 264.00	: 550.00	: 87.83	: 1.60	: 8.56
: 46	: 0- 9	: 354.00	: 400.00	: 159.87	: 1.62	: 4.36
: 47	: 0- 9	: 354.00	: 1400.00	: 112.87	: 1.15	: 7.68
: 48	: 9- 0	: 437.00	: 1800.00	: 148.13	: .99	: 5.68
: 49	: 9-10	: 354.00	: 500.00	: 133.43	: 1.36	: 3.79
: 50	: 9-10	: 354.00	: 200.00	: 145.43	: 1.48	: 1.80
: 51	: 9-11	: 264.00	: 700.00	: 95.88	: 1.75	: 12.99
: 52	: 8- 9	: 264.00	: 700.00	: 93.04	: 1.70	: 12.24
: 53	: 10- 0	: 264.00	: 1300.00	: 83.70	: 1.53	: 18.37
: 54	: 11-10	: 264.00	: 1171.00	: 73.55	: 1.34	: 12.78
: 55	: 11- 0	: 354.00	: 1100.00	: 202.25	: 2.05	: 19.18
: 56	: 11- 0	: 437.00	: 500.00	: 221.25	: 1.48	: 3.42
: 57	: 12-11	: 354.00	: 800.00	: 226.04	: 2.30	: 17.42
: 58	: 8-12	: 130.00	: 400.00	: 18.88	: 1.42	: 12.29
: 59	: 8-11	: 437.00	: 750.00	: 217.92	: 1.45	: 4.97
: 60	: 12- 0	: 612.00	: 500.00	: 470.29	: 1.60	: 2.59

Рисунок Б.4 – Результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі через 20 років її експлуатації.

Результати розрахунку

номер ділянки	код ділянки	діаметр труби, мм	довжина ділянки, м	витрата води, л/с	швидкість води, м/с	втрати напору, м
1	0-0	1382.00	5118.00	1857.00	1.24	5.51
2	0-0	1209.00	742.00	1830.00	1.59	1.58
3	0-0	1209.00	500.00	1819.00	1.58	1.05
4	0-1	605.00	1050.00	370.40	1.29	3.59
5	0-1	605.00	750.00	304.40	1.06	1.77
6	0-1	518.00	750.00	249.40	1.18	2.66
7	0-1	518.00	600.00	216.40	1.03	1.63
8	1-0	778.00	750.00	1399.60	2.94	9.64
9	0-0	1037.00	1750.00	1590.00	1.88	6.33
10	3-0	518.00	400.00	473.97	2.25	5.09
11	0-0	172.00	800.00	23.00	.99	8.52
12	3-0	518.00	650.00	435.97	2.07	7.00
13	3-4	432.00	1000.00	208.37	1.42	6.44
14	3-4	350.00	650.00	146.37	1.52	6.30
15	3-5	261.00	650.00	60.98	1.14	5.24
16	0-5	261.00	450.00	64.01	1.20	3.97
17	0-5	128.00	950.00	13.01	1.01	15.44
18	5-0	172.00	400.00	37.99	1.64	11.29
19	5-4	128.00	600.00	15.39	1.20	13.36
20	4-0	261.00	550.00	80.60	1.51	7.66
21	4-0	261.00	350.00	113.60	2.12	9.68
22	4-0	350.00	800.00	155.60	1.62	8.76
23	0-3	778.00	300.00	1088.03	2.29	2.33
24	0-3	432.00	1850.00	208.03	1.42	11.88
25	0-3	350.00	150.00	133.03	1.38	1.20
26	0-2	261.00	350.00	92.04	1.72	6.36
27	0-2	350.00	1500.00	77.04	.80	4.28
28	2-3	172.00	1000.00	22.99	.99	10.64
29	0-3	350.00	2100.00	62.03	.64	4.02
30	0-0	864.00	9170.00	801.00	1.37	22.15
31	0-0	261.00	485.00	79.00	1.48	6.49
32	0-6	172.00	900.00	33.69	1.45	19.96
33	0-6	128.00	900.00	9.69	.75	8.48
34	6-0	128.00	900.00	14.31	1.11	17.49
35	6-0	172.00	800.00	26.31	1.13	10.95
36	0-12	432.00	343.00	251.56	1.72	3.22
37	0-12	432.00	600.00	236.56	1.61	4.98
38	0-8	350.00	750.00	191.87	1.99	12.50
39	0-7	261.00	630.00	39.83	.74	2.30
40	0-7	172.00	370.00	24.83	1.07	4.54
41	0-7	128.00	700.00	9.83	.76	6.78
42	7-0	128.00	850.00	11.17	.87	10.42
43	7-8	350.00	400.00	133.04	1.38	3.20
44	0-8	261.00	300.00	100.87	1.89	6.54
45	0-8	261.00	550.00	87.87	1.64	9.10
46	0-9	350.00	400.00	159.89	1.66	4.63
47	0-9	350.00	1400.00	112.89	1.17	8.11
48	9-0	432.00	1800.00	148.11	1.01	6.02
49	9-10	350.00	500.00	133.41	1.39	4.02
50	9-10	350.00	200.00	145.41	1.51	1.91
51	9-11	261.00	700.00	95.84	1.79	13.78
52	8-9	261.00	700.00	93.02	1.74	12.99
53	10-0	261.00	1300.00	83.71	1.56	19.52
54	11-10	261.00	1171.00	73.56	1.37	13.58
55	11-0	350.00	1100.00	202.27	2.10	20.37
56	11-0	432.00	500.00	221.27	1.51	3.63
57	12-11	350.00	800.00	226.17	2.35	18.52
58	8-12	128.00	400.00	18.70	1.45	13.08
59	8-11	432.00	750.00	217.86	1.49	5.28
60	12-0	605.00	500.00	470.44	1.64	2.75

Рисунок Б.5 – Результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі через 30 років її експлуатації.

Таблиця Б.1 - Результати розрахунку п'єзометрів та вільних напорів у вузлах мережі через 5 років її експлуатації.

Вузол	П'єзометр	Позначка землі	Вільний напір
1	2	3	4
ДВС-II	113,5	83	30,5
1	109,39	81,00	28,39
2	108,23	70,00	38,23
3	107,46	70,00	37,46
4	104,81	80,00	24,81
5	103,50	74,00	29,50
6	101,54	70,00	31,54
7	100,34	69,00	31,34
8	95,69	59,00	36,69
9	91,95	58,00	33,95
10	85,53	55,00	30,53
11	86,80	43,00	43,80
12	82,06	45,00	37,06
13	77,35	46,00	31,35
14	73,38	47,00	26,38
15	70,39	50,00	20,39
16	59,03	53,00	6,03
17	67,40	49,00	18,40
18	73,09	50,00	23,09
19	80,28	47,00	33,28
20	93,97	46,00	47,97
21	85,27	50,00	35,27
22	84,38	46,00	38,38
23	79,66	48,00	31,66
24	76,42	51,00	25,42
НС	142,37	94,55	47,82
25	137,55	92,50	45,05
26	122,74	93,00	29,74
27	116,45	79,00	37,45
28	129,32	92,00	37,32
29	140,00	92,00	48,00

Продовження табл.Б.1

1	2	3	4
30	136,34	92,00	44,34
31	127,04	95,00	32,04
32	125,30	80,50	44,80
33	121,89	83,00	38,89
34	116,91	93,00	23,91
35	124,65	91,00	33,65
36	119,79	91,00	28,79
37	113,03	91,00	22,03
38	109,59	89,00	20,59
39	103,48	91,00	12,48
40	107,98	76,00	31,98
41	110,99	80,00	30,99
42	112,42	90,00	22,42
43	122,69	90,00	32,69
44	122,51	80,00	42,51
45	137,68	82,00	55,68
46	140,34	87,00	53,34
47	126,57	91,00	35,57

Таблиця Б.2 - Результати розрахунку п'єзометрів та вільних напорів у вузлах мережі через 10 років її експлуатації.

Вузол	П'єзометр	Позначка землі	Вільний напір
1	2	3	4
ДВС-II	113,50	83,00	30,50
1	108,88	81,00	27,88
2	107,57	70,00	37,57
3	106,70	70,00	36,70
4	103,71	80,00	23,71

Продовження табл.Б.2

1	2	3	4
5	102,22	74,00	28,22
6	100,01	70,00	30,01
7	98,65	69,00	29,65
8	93,37	59,00	34,37
9	89,16	58,00	31,16
10	81,99	55,00	26,99
11	83,37	43,00	40,37
12	77,98	45,00	32,98
13	72,69	46,00	26,69
14	68,25	47,00	21,25
15	64,90	50,00	14,90
16	52,17	53,00	-0,83
17	61,58	49,00	12,58
18	67,97	50,00	17,97
19	76,05	47,00	29,05
20	91,43	46,00	45,43
21	81,54	50,00	31,54
22	80,54	46,00	34,54
23	75,25	48,00	27,25
24	71,64	51,00	20,64
НС	142,37	94,55	47,82
25	136,95	92,50	44,45
26	120,31	93,00	27,31
27	113,30	79,00	34,30
28	127,73	92,00	35,73
29	139,68	92,00	47,68
30	135,52	92,00	43,52
31	125,07	95,00	30,07
32	123,13	80,50	42,63
33	119,31	83,00	36,31
34	113,74	93,00	20,74
35	122,39	91,00	31,39
36	116,93	91,00	25,93
37	109,33	91,00	18,33
38	105,46	89,00	16,46

Продовження табл.Б.2

1	2	3	4
39	98,63	91,00	7,63
40	103,70	76,00	27,70
41	107,07	80,00	27,07
42	108,67	90,00	18,67
43	120,19	90,00	30,19
44	120,01	80,00	40,01
45	137,04	82,00	55,04
46	140,07	87,00	53,07
47	124,60	91,00	33,60

Таблиця Б.3 - Результати розрахунку п'єзометрів та вільних напорів у вузлах мережі через 15 років її експлуатації.

Вузол	П'єзометр	Позначка землі	Вільний напір
1	2	3	4
ДВС-II	113,50	83,00	30,50
1	108,55	81,00	27,55
2	107,14	70,00	37,14
3	106,20	70,00	36,20
4	103,00	80,00	23,00
5	101,41	74,00	27,41
6	99,02	70,00	29,02
7	97,55	69,00	28,55
8	91,89	59,00	32,89
9	87,33	58,00	29,33
10	79,52	55,00	24,52
11	81,06	43,00	38,06
12	75,27	45,00	30,27

Продовження табл.Б.3

1	2	3	4
13	69,57	46,00	23,57
14	64,79	47,00	17,79
15	61,18	50,00	11,18
16	47,30	53,00	-5,70
17	57,55	49,00	8,55
18	64,45	50,00	14,45
19	73,18	47,00	26,18
20	89,80	46,00	43,80
21	79,16	50,00	29,16
22	78,08	46,00	32,08
23	72,33	48,00	24,33
24	68,44	51,00	17,44
НС	142,37	94,55	47,82
25	136,50	92,50	44,00
26	118,32	93,00	25,32
27	110,81	79,00	31,81
28	126,44	92,00	34,44
29	139,48	92,00	47,48
30	135,01	92,00	43,01
31	123,77	95,00	28,77
32	121,68	80,50	41,18
33	117,53	83,00	34,53
34	111,54	93,00	18,54
35	120,89	91,00	29,89
36	114,98	91,00	23,98
37	106,76	91,00	15,76
38	102,59	89,00	13,59
39	95,25	91,00	4,25
40	100,68	76,00	24,68
41	104,30	80,00	24,30
42	106,03	90,00	16,03
43	118,51	90,00	28,51
44	118,32	80,00	38,32
45	136,66	82,00	54,66
46	139,91	87,00	52,91

Продовження табл.Б.3

1	2	3	4
47	123,25	91,00	32,25

Таблиця Б.4 - Результати розрахунку п'єзометрів та вільних напорів у вузлах мережі через 20 років її експлуатації

Вузол	П'єзометр	Позначка землі	Вільний напір
1	2	3	4
ДВС-II	113,50	83,00	30,50
1	108,33	81,00	27,33
2	106,85	70,00	36,85
3	105,87	70,00	35,87
4	102,49	80,00	22,49
5	100,82	74,00	26,82
6	98,33	70,00	28,33
7	96,80	69,00	27,80
8	90,84	59,00	31,84
9	86,09	58,00	28,09
10	78,05	55,00	23,05
11	79,56	43,00	36,56
12	73,48	45,00	28,48
13	67,52	46,00	21,52
14	62,55	47,00	15,55
15	58,80	50,00	8,80
16	44,44	53,00	-8,56
17	55,03	49,00	6,03
18	62,22	50,00	12,22
19	71,31	47,00	24,31
20	88,65	46,00	42,65
21	77,49	50,00	27,49
22	76,36	46,00	30,36
23	70,39	48,00	22,39
24	66,35	51,00	15,35
НС	142,37	94,55	47,82

Продовження табл.Б.4

1	2	3	4
25	136,26	92,50	43,76
26	117,51	93,00	24,51
27	109,69	79,00	30,69
28	125,91	92,00	33,91
29	139,33	92,00	47,33
30	134,64	92,00	42,64
31	122,88	95,00	27,88
32	120,71	80,50	40,21
33	116,43	83,00	33,43
34	110,19	93,00	17,19
35	119,86	91,00	28,86
36	113,71	91,00	22,71
37	105,15	91,00	14,15
38	100,79	89,00	11,79
39	93,13	91,00	2,13
40	98,81	76,00	22,81
41	102,60	80,00	22,60
42	104,40	90,00	14,40
43	117,39	90,00	27,39
44	117,18	80,00	37,18
45	136,36	82,00	54,36
46	139,78	87,00	52,78
47	122,36	91,00	31,36

Таблиця Б.5 - Результати розрахунку п'єзометрів та вільних напорів у вузлах мережі через 30 років її експлуатації

Вузол	П'єзометр	Позначка землі	Вільний напір
1	2	3	4
ДВС-II	113,50	83,00	30,50
1	107,99	81,00	26,99
2	106,41	70,00	36,41
3	105,36	70,00	35,36
4	101,77	80,00	21,77
5	100,00	74,00	26,00
6	97,34	70,00	27,34
7	95,71	69,00	26,71
8	89,38	59,00	30,38
9	84,29	58,00	26,29
10	75,77	55,00	20,77
11	77,29	43,00	34,29
12	70,85	45,00	25,85
13	64,55	46,00	18,55
14	59,31	47,00	12,31
15	55,34	50,00	5,34
16	39,90	53,00	-13,10
17	51,19	49,00	2,19
18	58,85	50,00	8,85
19	68,53	47,00	21,53
20	87,05	46,00	41,05
21	75,17	50,00	25,17
22	73,97	46,00	27,97
23	67,61	48,00	19,61
24	63,33	51,00	12,33
НС	142,37	94,55	47,82
25	135,88	92,50	43,38
26	115,92	93,00	22,92
27	107,44	79,00	28,44
28	124,93	92,00	32,93
29	139,15	92,00	47,15
30	134,17	92,00	42,17

Продовження табл.Б.5

1	2	3	4
31	121,67	95,00	26,67
32	119,37	80,50	38,87
33	114,83	83,00	31,83
34	108,05	93,00	15,05
35	118,47	91,00	27,47
36	111,93	91,00	20,93
37	102,83	91,00	11,83
38	98,20	89,00	9,20
39	90,09	91,00	-0,91
40	96,11	76,00	20,11
41	100,13	80,00	20,13
42	102,04	90,00	12,04
43	115,82	90,00	25,82
44	115,62	80,00	35,62
45	135,99	82,00	53,99
46	139,62	87,00	52,62
47	121,10	91,00	30,10

Рисунок Б.6 – Результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі за першим змодельованим варіантом для ділок діаметром 150–200мм.

Результати розрахунку						
:номер :ділянки:	: код :ділянки:	: діаметр : труби, мм :	: довжина : ділянки, м :	: витрата : води, л/с :	: швидкість : води, м/с :	: втрати : напору, м :
: 1 :	: 0- 0 :	: 1382.00 :	: 5118.00 :	: 1857.00 :	: 1.24 :	: 5.51 :
: 2 :	: 0- 0 :	: 1209.00 :	: 742.00 :	: 1830.00 :	: 1.59 :	: 1.58 :
: 3 :	: 0- 0 :	: 1209.00 :	: 500.00 :	: 1819.00 :	: 1.58 :	: 1.05 :
: 4 :	: 0- 1 :	: 605.00 :	: 1050.00 :	: 370.40 :	: 1.29 :	: 3.59 :
: 5 :	: 0- 1 :	: 605.00 :	: 750.00 :	: 304.40 :	: 1.06 :	: 1.77 :
: 6 :	: 0- 1 :	: 518.00 :	: 750.00 :	: 249.40 :	: 1.18 :	: 2.66 :
: 7 :	: 0- 1 :	: 518.00 :	: 600.00 :	: 216.40 :	: 1.03 :	: 1.63 :
: 8 :	: 1- 0 :	: 778.00 :	: 750.00 :	: 1399.60 :	: 2.94 :	: 9.64 :
: 9 :	: 0- 0 :	: 1037.00 :	: 1750.00 :	: 1590.00 :	: 1.88 :	: 6.33 :
: 10 :	: 3- 0 :	: 518.00 :	: 400.00 :	: 470.52 :	: 2.23 :	: 5.02 :
: 11 :	: 0- 0 :	: 200.00 :	: 800.00 :	: 23.00 :	: .73 :	: 4.01 :
: 12 :	: 3- 0 :	: 518.00 :	: 650.00 :	: 432.52 :	: 2.05 :	: 6.89 :
: 13 :	: 3- 4 :	: 432.00 :	: 1000.00 :	: 210.34 :	: 1.44 :	: 6.56 :
: 14 :	: 3- 4 :	: 350.00 :	: 650.00 :	: 148.34 :	: 1.54 :	: 6.47 :
: 15 :	: 3- 5 :	: 261.00 :	: 650.00 :	: 57.52 :	: 1.08 :	: 4.70 :
: 16 :	: 0- 5 :	: 261.00 :	: 450.00 :	: 64.00 :	: 1.20 :	: 3.97 :
: 17 :	: 0- 5 :	: 150.00 :	: 950.00 :	: 13.00 :	: .74 :	: 6.98 :
: 18 :	: 5- 0 :	: 200.00 :	: 400.00 :	: 38.00 :	: 1.21 :	: 5.08 :
: 19 :	: 5- 4 :	: 150.00 :	: 600.00 :	: 20.82 :	: 1.18 :	: 10.57 :
: 20 :	: 4- 0 :	: 261.00 :	: 550.00 :	: 75.18 :	: 1.41 :	: 6.66 :
: 21 :	: 4- 0 :	: 261.00 :	: 350.00 :	: 108.18 :	: 2.02 :	: 8.78 :
: 22 :	: 4- 0 :	: 350.00 :	: 800.00 :	: 150.18 :	: 1.56 :	: 8.17 :
: 23 :	: 0- 3 :	: 778.00 :	: 300.00 :	: 1091.48 :	: 2.30 :	: 2.35 :
: 24 :	: 0- 3 :	: 432.00 :	: 1850.00 :	: 211.48 :	: 1.44 :	: 12.27 :
: 25 :	: 0- 3 :	: 350.00 :	: 150.00 :	: 136.48 :	: 1.42 :	: 1.26 :
: 26 :	: 0- 2 :	: 261.00 :	: 350.00 :	: 86.34 :	: 1.61 :	: 5.59 :
: 27 :	: 0- 2 :	: 350.00 :	: 1500.00 :	: 71.34 :	: .74 :	: 3.72 :
: 28 :	: 2- 3 :	: 200.00 :	: 1000.00 :	: 32.14 :	: 1.02 :	: 9.31 :
: 29 :	: 0- 3 :	: 350.00 :	: 2100.00 :	: 65.48 :	: .68 :	: 4.45 :
: 30 :	: 0- 0 :	: 864.00 :	: 9170.00 :	: 801.00 :	: 1.37 :	: 22.15 :
: 31 :	: 0- 0 :	: 261.00 :	: 485.00 :	: 79.00 :	: 1.48 :	: 6.49 :
: 32 :	: 0- 6 :	: 200.00 :	: 900.00 :	: 33.70 :	: 1.07 :	: 9.15 :
: 33 :	: 0- 6 :	: 150.00 :	: 900.00 :	: 9.70 :	: .55 :	: 3.87 :
: 34 :	: 6- 0 :	: 150.00 :	: 900.00 :	: 14.30 :	: .81 :	: 7.89 :
: 35 :	: 6- 0 :	: 200.00 :	: 800.00 :	: 26.30 :	: .84 :	: 5.13 :
: 36 :	: 0-12 :	: 432.00 :	: 343.00 :	: 258.07 :	: 1.76 :	: 3.39 :
: 37 :	: 0-12 :	: 432.00 :	: 600.00 :	: 243.07 :	: 1.66 :	: 5.26 :
: 38 :	: 0- 8 :	: 350.00 :	: 750.00 :	: 190.19 :	: 1.98 :	: 12.28 :
: 39 :	: 0- 7 :	: 261.00 :	: 630.00 :	: 40.03 :	: .75 :	: 2.33 :
: 40 :	: 0- 7 :	: 200.00 :	: 370.00 :	: 25.03 :	: .80 :	: 2.17 :
: 41 :	: 0- 7 :	: 150.00 :	: 700.00 :	: 10.03 :	: .57 :	: 3.20 :
: 42 :	: 7- 0 :	: 150.00 :	: 850.00 :	: 10.97 :	: .62 :	: 4.58 :
: 43 :	: 7- 8 :	: 350.00 :	: 400.00 :	: 131.16 :	: 1.36 :	: 3.11 :
: 44 :	: 0- 8 :	: 261.00 :	: 300.00 :	: 99.19 :	: 1.85 :	: 6.33 :
: 45 :	: 0- 8 :	: 261.00 :	: 550.00 :	: 86.19 :	: 1.61 :	: 8.76 :
: 46 :	: 0- 9 :	: 350.00 :	: 400.00 :	: 159.71 :	: 1.66 :	: 4.62 :
: 47 :	: 0- 9 :	: 350.00 :	: 1400.00 :	: 112.71 :	: 1.17 :	: 8.11 :
: 48 :	: 9- 0 :	: 432.00 :	: 1800.00 :	: 148.29 :	: 1.01 :	: 6.03 :
: 49 :	: 9-10 :	: 350.00 :	: 500.00 :	: 133.95 :	: 1.39 :	: 4.06 :
: 50 :	: 9-10 :	: 350.00 :	: 200.00 :	: 145.95 :	: 1.52 :	: 1.93 :
: 51 :	: 9-11 :	: 261.00 :	: 700.00 :	: 96.98 :	: 1.81 :	: 14.11 :
: 52 :	: 8- 9 :	: 261.00 :	: 700.00 :	: 94.52 :	: 1.77 :	: 13.41 :
: 53 :	: 10- 0 :	: 261.00 :	: 1300.00 :	: 83.34 :	: 1.56 :	: 19.35 :
: 54 :	: 11-10 :	: 261.00 :	: 1171.00 :	: 72.97 :	: 1.36 :	: 13.37 :
: 55 :	: 11- 0 :	: 350.00 :	: 1100.00 :	: 201.31 :	: 2.09 :	: 20.18 :
: 56 :	: 11- 0 :	: 432.00 :	: 500.00 :	: 220.31 :	: 1.50 :	: 3.60 :
: 57 :	: 12-11 :	: 350.00 :	: 800.00 :	: 220.62 :	: 2.29 :	: 17.62 :
: 58 :	: 8-12 :	: 150.00 :	: 400.00 :	: 26.88 :	: 1.52 :	: 11.66 :
: 59 :	: 8-11 :	: 432.00 :	: 750.00 :	: 220.50 :	: 1.50 :	: 5.41 :
: 60 :	: 12- 0 :	: 605.00 :	: 500.00 :	: 463.93 :	: 1.61 :	: 2.68 :

Рисунок Б.7 – Результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі за другим змодельованим варіантом для ділок діаметром 250– 400 мм

Результати розрахунку						
:номер :ділянки:	:код :ділянки:	:діаметр :труби,мм	:довжина :ділянки,м:	:витрата :води, л/с:	:швидкість :води, м/с:	:втрати :напору,м :
: 1	: 0- 0	: 1382.00	: 5118.00	: 1857.00	: 1.24	: 5.51
: 2	: 0- 0	: 1209.00	: 742.00	: 1830.00	: 1.59	: 1.58
: 3	: 0- 0	: 1209.00	: 500.00	: 1819.00	: 1.58	: 1.05
: 4	: 0- 1	: 605.00	: 1050.00	: 370.40	: 1.29	: 3.59
: 5	: 0- 1	: 605.00	: 750.00	: 304.40	: 1.06	: 1.77
: 6	: 0- 1	: 518.00	: 750.00	: 249.40	: 1.18	: 2.66
: 7	: 0- 1	: 518.00	: 600.00	: 216.40	: 1.03	: 1.63
: 8	: 1- 0	: 778.00	: 750.00	: 1399.60	: 2.94	: 9.64
: 9	: 0- 0	: 1037.00	: 1750.00	: 1590.00	: 1.88	: 6.33
: 10	: 3- 0	: 518.00	: 400.00	: 472.83	: 2.24	: 5.07
: 11	: 0- 0	: 172.00	: 800.00	: 23.00	: .99	: 8.52
: 12	: 3- 0	: 518.00	: 650.00	: 434.83	: 2.06	: 6.96
: 13	: 3- 4	: 432.00	: 1000.00	: 200.26	: 1.37	: 5.95
: 14	: 3- 4	: 400.00	: 650.00	: 138.26	: 1.10	: 2.81
: 15	: 3- 5	: 300.00	: 650.00	: 58.74	: .83	: 2.43
: 16	: 0- 5	: 300.00	: 450.00	: 62.90	: .89	: 1.91
: 17	: 0- 5	: 128.00	: 950.00	: 11.90	: .93	: 13.10
: 18	: 5- 0	: 172.00	: 400.00	: 39.10	: 1.68	: 11.95
: 19	: 5- 4	: 128.00	: 600.00	: 9.53	: .74	: 5.49
: 20	: 4- 0	: 300.00	: 550.00	: 87.57	: 1.24	: 4.32
: 21	: 4- 0	: 300.00	: 350.00	: 120.57	: 1.71	: 5.21
: 22	: 4- 0	: 400.00	: 800.00	: 162.57	: 1.29	: 4.72
: 23	: 0- 3	: 778.00	: 300.00	: 1089.17	: 2.29	: 2.34
: 24	: 0- 3	: 432.00	: 1850.00	: 209.17	: 1.43	: 12.01
: 25	: 0- 3	: 400.00	: 150.00	: 134.17	: 1.07	: .61
: 26	: 0- 2	: 300.00	: 350.00	: 99.13	: 1.40	: 3.52
: 27	: 0- 2	: 400.00	: 1500.00	: 84.13	: .67	: 2.59
: 28	: 2- 3	: 172.00	: 1000.00	: 17.04	: .73	: 6.12
: 29	: 0- 3	: 400.00	: 2100.00	: 63.17	: .50	: 2.15
: 30	: 0- 0	: 864.00	: 9170.00	: 801.00	: 1.37	: 22.15
: 31	: 0- 0	: 300.00	: 485.00	: 79.00	: 1.12	: 3.14
: 32	: 0- 6	: 172.00	: 900.00	: 33.69	: 1.45	: 19.96
: 33	: 0- 6	: 128.00	: 900.00	: 9.69	: .75	: 8.48
: 34	: 6- 0	: 128.00	: 900.00	: 14.31	: 1.11	: 17.49
: 35	: 6- 0	: 172.00	: 800.00	: 26.31	: 1.13	: 10.95
: 36	: 0-12	: 432.00	: 343.00	: 260.48	: 1.78	: 3.45
: 37	: 0-12	: 432.00	: 600.00	: 245.48	: 1.67	: 5.36
: 38	: 0- 8	: 400.00	: 750.00	: 204.08	: 1.62	: 6.97
: 39	: 0- 7	: 300.00	: 630.00	: 39.78	: .56	: 1.15
: 40	: 0- 7	: 172.00	: 370.00	: 24.78	: 1.07	: 4.53
: 41	: 0- 7	: 128.00	: 700.00	: 9.78	: .76	: 6.72
: 42	: 7- 0	: 128.00	: 850.00	: 11.22	: .87	: 10.50
: 43	: 7- 8	: 400.00	: 400.00	: 145.29	: 1.16	: 1.90
: 44	: 0- 8	: 300.00	: 300.00	: 113.08	: 1.60	: 3.93
: 45	: 0- 8	: 300.00	: 550.00	: 100.08	: 1.42	: 5.64
: 46	: 0- 9	: 400.00	: 400.00	: 165.79	: 1.32	: 2.45
: 47	: 0- 9	: 400.00	: 1400.00	: 118.79	: .95	: 4.57
: 48	: 9- 0	: 432.00	: 1800.00	: 142.21	: .97	: 5.58
: 49	: 9-10	: 400.00	: 500.00	: 122.16	: .97	: 1.72
: 50	: 9-10	: 400.00	: 200.00	: 134.16	: 1.07	: .82
: 51	: 9-11	: 300.00	: 700.00	: 76.75	: 1.09	: 4.30
: 52	: 8- 9	: 300.00	: 700.00	: 86.71	: 1.23	: 5.39
: 53	: 10- 0	: 300.00	: 1300.00	: 89.05	: 1.26	: 10.56
: 54	: 11-10	: 300.00	: 1171.00	: 81.41	: 1.15	: 8.03
: 55	: 11- 0	: 400.00	: 1100.00	: 215.46	: 1.71	: 11.39
: 56	: 11- 0	: 432.00	: 500.00	: 234.46	: 1.60	: 4.08
: 57	: 12-11	: 350.00	: 800.00	: 204.06	: 2.12	: 15.08
: 58	: 8-12	: 128.00	: 400.00	: 15.40	: 1.20	: 8.92
: 59	: 8-11	: 432.00	: 750.00	: 192.46	: 1.31	: 4.12
: 60	: 12- 0	: 605.00	: 500.00	: 461.52	: 1.61	: 2.65

Рисунок Б.8 – Результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі за другим змодельованим варіантом для ділок діаметром 150– 800 мм

Результати розрахунку						
:номер :ділянки:	: код :ділянки:	: діаметр : труби, мм	: довжина : ділянки, м	: витрата : води, л/с	: швидкість : води, м/с	: втрати : напору, м
: 1	: 0- 0	: 1382.00	: 5118.00	: 1857.00	: 1.24	: 5.51
: 2	: 0- 0	: 1209.00	: 742.00	: 1830.00	: 1.59	: 1.58
: 3	: 0- 0	: 1209.00	: 500.00	: 1819.00	: 1.58	: 1.05
: 4	: 0- 1	: 700.00	: 1050.00	: 474.85	: 1.23	: 2.72
: 5	: 0- 1	: 700.00	: 750.00	: 408.85	: 1.06	: 1.47
: 6	: 0- 1	: 600.00	: 750.00	: 353.85	: 1.25	: 2.44
: 7	: 0- 1	: 600.00	: 600.00	: 320.85	: 1.13	: 1.62
: 8	: 1- 0	: 778.00	: 750.00	: 1295.15	: 2.72	: 8.26
: 9	: 0- 0	: 1037.00	: 1750.00	: 1590.00	: 1.88	: 6.33
: 10	: 3- 0	: 600.00	: 400.00	: 477.93	: 1.69	: 2.38
: 11	: 0- 0	: 200.00	: 800.00	: 23.00	: .73	: 4.01
: 12	: 3- 0	: 600.00	: 650.00	: 439.93	: 1.56	: 3.27
: 13	: 3- 4	: 500.00	: 1000.00	: 212.23	: 1.08	: 3.13
: 14	: 3- 4	: 400.00	: 650.00	: 150.23	: 1.20	: 3.29
: 15	: 3- 5	: 300.00	: 650.00	: 64.53	: .91	: 2.89
: 16	: 0- 5	: 300.00	: 450.00	: 63.60	: .90	: 1.95
: 17	: 0- 5	: 150.00	: 950.00	: 12.60	: .71	: 6.59
: 18	: 5- 0	: 200.00	: 400.00	: 38.40	: 1.22	: 5.18
: 19	: 5- 4	: 150.00	: 600.00	: 15.70	: .89	: 6.25
: 20	: 4- 0	: 300.00	: 550.00	: 80.70	: 1.14	: 3.71
: 21	: 4- 0	: 300.00	: 350.00	: 113.70	: 1.61	: 4.64
: 22	: 4- 0	: 400.00	: 800.00	: 155.70	: 1.24	: 4.33
: 23	: 0- 3	: 778.00	: 300.00	: 1084.07	: 2.28	: 2.31
: 24	: 0- 3	: 500.00	: 1850.00	: 204.07	: 1.04	: 5.39
: 25	: 0- 3	: 400.00	: 150.00	: 129.07	: 1.03	: .57
: 26	: 0- 2	: 300.00	: 350.00	: 88.52	: 1.25	: 2.81
: 27	: 0- 2	: 400.00	: 1500.00	: 73.52	: .59	: 2.03
: 28	: 2- 3	: 200.00	: 1000.00	: 22.55	: .72	: 4.84
: 29	: 0- 3	: 400.00	: 2100.00	: 58.07	: .46	: 1.85
: 30	: 0- 0	: 864.00	: 9170.00	: 801.00	: 1.37	: 22.15
: 31	: 0- 0	: 300.00	: 485.00	: 79.00	: 1.12	: 3.14
: 32	: 0- 6	: 200.00	: 900.00	: 33.70	: 1.07	: 9.15
: 33	: 0- 6	: 150.00	: 900.00	: 9.70	: .55	: 3.87
: 34	: 6- 0	: 150.00	: 900.00	: 14.30	: .81	: 7.89
: 35	: 6- 0	: 200.00	: 800.00	: 26.30	: .84	: 5.13
: 36	: 0-12	: 500.00	: 343.00	: 252.62	: 1.29	: 1.50
: 37	: 0-12	: 500.00	: 600.00	: 237.62	: 1.21	: 2.32
: 38	: 0- 8	: 400.00	: 750.00	: 191.63	: 1.52	: 6.14
: 39	: 0- 7	: 300.00	: 630.00	: 39.81	: .56	: 1.15
: 40	: 0- 7	: 200.00	: 370.00	: 24.81	: .79	: 2.13
: 41	: 0- 7	: 150.00	: 700.00	: 9.81	: .55	: 3.07
: 42	: 7- 0	: 150.00	: 850.00	: 11.19	: .63	: 4.75
: 43	: 7- 8	: 400.00	: 400.00	: 132.83	: 1.06	: 1.61
: 44	: 0- 8	: 300.00	: 300.00	: 100.63	: 1.42	: 3.11
: 45	: 0- 8	: 300.00	: 550.00	: 87.63	: 1.24	: 4.33
: 46	: 0- 9	: 400.00	: 400.00	: 159.45	: 1.27	: 2.27
: 47	: 0- 9	: 400.00	: 1400.00	: 112.45	: .89	: 4.13
: 48	: 9- 0	: 500.00	: 1800.00	: 148.55	: .76	: 2.91
: 49	: 9-10	: 400.00	: 500.00	: 133.35	: 1.06	: 2.02
: 50	: 9-10	: 400.00	: 200.00	: 145.35	: 1.16	: .95
: 51	: 9-11	: 300.00	: 700.00	: 96.53	: 1.37	: 6.68
: 52	: 8- 9	: 300.00	: 700.00	: 92.81	: 1.31	: 6.18
: 53	: 10- 0	: 300.00	: 1300.00	: 84.20	: 1.19	: 9.49
: 54	: 11-10	: 300.00	: 1171.00	: 72.82	: 1.03	: 6.52
: 55	: 11- 0	: 400.00	: 1100.00	: 202.02	: 1.61	: 10.01
: 56	: 11- 0	: 500.00	: 500.00	: 221.02	: 1.13	: 1.69
: 57	: 12-11	: 400.00	: 800.00	: 225.36	: 1.79	: 9.06
: 58	: 8-12	: 150.00	: 400.00	: 19.98	: 1.13	: 6.53
: 59	: 8-11	: 500.00	: 750.00	: 218.35	: 1.11	: 2.48
: 60	: 12- 0	: 700.00	: 500.00	: 469.38	: 1.22	: 1.27

Таблиця Б.6 - Результати розрахунку п'єзометрів та вільних напорів водопровідної мережі за першим змодельованим варіантом для ділок діаметром 150 – 200 мм.

Вузол	П'єзометр	Позначка землі	Вільний напір
1	2	3	4
ДВС-II	113,50	83,00	30,50
1	107,99	81,00	26,99
2	106,41	70,00	36,41
3	105,36	70,00	35,36
4	101,77	80,00	21,77
5	100,00	74,00	26,00
6	97,34	70,00	27,34
7	95,71	69,00	26,71
8	89,38	59,00	30,38
9	84,36	58,00	26,36
10	80,35	55,00	25,35
11	77,47	43,00	34,47
12	70,91	45,00	25,91
13	64,44	46,00	18,44
14	59,74	47,00	12,74
15	55,77	50,00	5,77
16	48,79	53,00	-4,21
17	53,87	49,00	4,87
18	60,53	50,00	10,53
19	69,31	47,00	22,31
20	87,03	46,00	41,03
21	74,76	50,00	24,76
22	73,50	46,00	27,50
23	67,91	48,00	19,91
24	64,19	51,00	13,19
НС	142,37	94,55	47,82
25	135,88	92,50	43,38

Продовження табл.Б.6

1	2	3	4
26	126,73	93,00	33,73
27	122,86	79,00	43,86
28	130,75	92,00	38,75
29	138,98	92,00	46,98
30	133,72	92,00	41,72
31	121,44	95,00	26,44
32	119,11	80,50	38,61
33	116,94	83,00	33,94
34	113,74	93,00	20,74
35	118,33	91,00	27,33
36	112,00	91,00	21,00
37	103,24	91,00	12,24
38	98,62	89,00	9,62
39	90,53	91,00	-0,47
40	96,56	76,00	20,56
41	100,61	80,00	20,61
42	102,54	90,00	12,54
43	116,66	90,00	26,66
44	115,91	80,00	35,91
45	136,09	82,00	54,09
46	139,69	87,00	52,69
47	122,07	91,00	31,07

Таблиця Б.7 - Результати розрахунку п'єзометрів та вільних напорів водопровідної мережі за другим змодельованим варіантом для ділок діаметром 250 – 400 мм.

Вузол	П'єзометр	Позначка землі	Вільний напір
1	2	3	4
ДВС-II	113,50	83,00	30,50
1	107,99	81,00	26,99
2	106,41	70,00	36,41
3	105,36	70,00	35,36
4	101,77	80,00	21,77
5	100,00	74,00	26,00

Продовження табл.Б.7

1	2	3	4
6	97,34	70,00	27,34
7	95,71	69,00	26,71
8	89,38	59,00	30,38
9	84,31	58,00	26,31
10	75,79	55,00	20,79
11	77,35	43,00	34,35
12	71,44	45,00	26,44
13	68,63	46,00	22,63
14	66,20	47,00	19,20
15	64,29	50,00	14,29
16	51,19	53,00	-1,81
17	63,14	49,00	14,14
18	67,46	50,00	17,46
19	72,67	47,00	25,67
20	87,04	46,00	41,04
21	75,03	50,00	25,03
22	74,42	46,00	28,42
23	70,90	48,00	22,90
24	68,31	51,00	17,31
НС	142,37	94,55	47,82
25	139,23	92,50	46,73
26	119,27	93,00	26,27
27	110,79	79,00	31,79
28	128,28	92,00	36,28
29	138,92	92,00	46,92
30	133,56	92,00	41,56
31	126,59	95,00	31,59
32	125,44	80,50	44,94
33	120,91	83,00	37,91
34	114,19	93,00	21,19
35	124,69	91,00	33,69
36	120,76	91,00	29,76
37	115,12	91,00	24,12
38	112,67	89,00	23,67
39	108,11	91,00	17,11

Продовження табл.Б.7

1	2	3	4
40	113,69	76,00	37,69
41	115,40	80,00	35,40
42	116,22	90,00	26,22
43	120,52	90,00	30,52
44	124,25	80,00	44,25
45	135,64	82,00	53,64
46	139,72	87,00	52,72
47	124,64	91,00	33,64

Таблиця Б.8 - Результати розрахунку п'єзометрів та вільних напорів водопровідної мережі за третім змодельованим варіантом для ділок діаметром 150 – 800 мм

Вузол	П'єзометр	Позначка землі	Напір
ДВС-II	113,50	83,00	30,50
1	107,99	81,00	26,99
2	106,41	70,00	36,41
3	105,36	70,00	35,36
4	102,64	80,00	22,64
5	101,17	74,00	27,17
6	98,73	70,00	28,73
7	97,11	69,00	28,11
8	90,78	59,00	31,78
9	88,40	58,00	30,40
10	84,39	55,00	29,39
11	85,13	43,00	42,13
12	82,00	45,00	37,00
13	78,71	46,00	32,71
14	75,82	47,00	28,82
15	73,87	50,00	23,87
16	67,28	53,00	14,28
17	72,46	49,00	23,46
18	76,17	50,00	26,17
19	80,81	47,00	33,81
20	88,47	46,00	42,47

Продовження табл.Б.8

1	2	3	4
26	119,27	93,00	26,27
27	110,79	79,00	31,79
28	128,28	92,00	36,28
29	138,92	92,00	46,92
30	133,56	92,00	41,56
31	126,59	95,00	31,59
32	125,44	80,50	44,94
33	120,91	83,00	37,91
34	114,19	93,00	21,19
35	124,69	91,00	33,69
36	120,76	91,00	29,76
37	115,12	91,00	24,12
38	112,67	89,00	23,67
39	117,00	91,00	26,00
40	119,91	76,00	43,91
41	121,93	80,00	41,93
42	122,88	90,00	32,88
43	129,56	90,00	39,56
44	129,40	80,00	49,40
45	139,41	82,00	57,41
46	141,10	87,00	54,10
47	132,04	91,00	41,04

Рисунок Б.9 - Результати гідравлічного розрахунку водопровідної мережі після її реконструкції.

Результати розрахунку						
:номер :ділянки:	: код :ділянки:	: діаметр : труби, мм	: довжина : ділянки, м	: витрата : води, л/с	: швидкість : води, м/с	: втрати : напору, м
: 1	: 0- 0	: 1600.00	: 5118.00	: 1857.00	: .92	: 2.64
: 2	: 0- 0	: 1400.00	: 742.00	: 1830.00	: 1.19	: .73
: 3	: 0- 0	: 1400.00	: 500.00	: 1819.00	: 1.18	: .49
: 4	: 0- 1	: 700.00	: 1050.00	: 365.95	: .95	: 1.67
: 5	: 0- 1	: 700.00	: 750.00	: 299.95	: .78	: .83
: 6	: 0- 1	: 600.00	: 750.00	: 244.95	: .87	: 1.23
: 7	: 0- 1	: 600.00	: 600.00	: 211.95	: .75	: .75
: 8	: 1- 0	: 900.00	: 750.00	: 1404.05	: 2.21	: 4.48
: 9	: 0- 0	: 1200.00	: 1750.00	: 1590.00	: 1.41	: 2.92
: 10	: 3- 0	: 600.00	: 400.00	: 473.29	: 1.67	: 2.33
: 11	: 0- 0	: 172.00	: 800.00	: 23.00	: .99	: 8.52
: 12	: 3- 0	: 600.00	: 650.00	: 435.29	: 1.54	: 3.20
: 13	: 3- 4	: 500.00	: 1000.00	: 208.17	: 1.06	: 3.02
: 14	: 3- 4	: 400.00	: 650.00	: 146.17	: 1.16	: 3.12
: 15	: 3- 5	: 300.00	: 650.00	: 60.27	: .85	: 2.55
: 16	: 0- 5	: 300.00	: 450.00	: 63.98	: .91	: 1.97
: 17	: 0- 5	: 150.00	: 950.00	: 12.98	: .73	: 6.96
: 18	: 5- 0	: 200.00	: 400.00	: 38.02	: 1.21	: 5.08
: 19	: 5- 4	: 150.00	: 600.00	: 15.90	: .90	: 6.40
: 20	: 4- 0	: 300.00	: 550.00	: 80.12	: 1.13	: 3.66
: 21	: 4- 0	: 300.00	: 350.00	: 113.12	: 1.60	: 4.59
: 22	: 4- 0	: 400.00	: 800.00	: 155.12	: 1.23	: 4.29
: 23	: 0- 3	: 1000.00	: 300.00	: 1088.71	: 1.39	: .62
: 24	: 0- 3	: 500.00	: 1850.00	: 208.71	: 1.06	: 5.62
: 25	: 0- 3	: 400.00	: 150.00	: 133.71	: 1.06	: .61
: 26	: 0- 2	: 300.00	: 350.00	: 92.12	: 1.30	: 3.04
: 27	: 0- 2	: 400.00	: 1500.00	: 77.12	: .61	: 2.21
: 28	: 2- 3	: 200.00	: 1000.00	: 23.60	: .75	: 5.25
: 29	: 0- 3	: 400.00	: 2100.00	: 62.71	: .50	: 2.13
: 30	: 0- 0	: 864.00	: 9170.00	: 801.00	: 1.37	: 22.15
: 31	: 0- 0	: 300.00	: 485.00	: 79.00	: 1.12	: 3.14
: 32	: 0- 6	: 172.00	: 900.00	: 33.69	: 1.45	: 19.96
: 33	: 0- 6	: 128.00	: 900.00	: 9.69	: .75	: 8.48
: 34	: 6- 0	: 128.00	: 900.00	: 14.31	: 1.11	: 17.49
: 35	: 6- 0	: 172.00	: 800.00	: 26.31	: 1.13	: 10.95
: 36	: 0-12	: 500.00	: 343.00	: 252.61	: 1.29	: 1.50
: 37	: 0-12	: 500.00	: 600.00	: 237.61	: 1.21	: 2.32
: 38	: 0- 8	: 400.00	: 750.00	: 191.63	: 1.52	: 6.14
: 39	: 0- 7	: 300.00	: 630.00	: 39.70	: .56	: 1.15
: 40	: 0- 7	: 172.00	: 370.00	: 24.70	: 1.06	: 4.50
: 41	: 0- 7	: 128.00	: 700.00	: 9.70	: .75	: 6.61
: 42	: 7- 0	: 128.00	: 850.00	: 11.30	: .88	: 10.65
: 43	: 7- 8	: 400.00	: 400.00	: 132.93	: 1.06	: 1.61
: 44	: 0- 8	: 300.00	: 300.00	: 100.63	: 1.42	: 3.11
: 45	: 0- 8	: 300.00	: 550.00	: 87.63	: 1.24	: 4.33
: 46	: 0- 9	: 400.00	: 400.00	: 159.45	: 1.27	: 2.27
: 47	: 0- 9	: 400.00	: 1400.00	: 112.45	: .89	: 4.13
: 48	: 9- 0	: 500.00	: 1800.00	: 148.55	: .76	: 2.91
: 49	: 9-10	: 400.00	: 500.00	: 133.36	: 1.06	: 2.02
: 50	: 9-10	: 400.00	: 200.00	: 145.36	: 1.16	: .95
: 51	: 9-11	: 300.00	: 700.00	: 96.53	: 1.37	: 6.68
: 52	: 8- 9	: 300.00	: 700.00	: 92.82	: 1.31	: 6.18
: 53	: 10- 0	: 300.00	: 1300.00	: 84.20	: 1.19	: 9.49
: 54	: 11-10	: 300.00	: 1171.00	: 72.82	: 1.03	: 6.52
: 55	: 11- 0	: 400.00	: 1100.00	: 202.02	: 1.61	: 10.01
: 56	: 11- 0	: 500.00	: 500.00	: 221.02	: 1.13	: 1.69
: 57	: 12-11	: 400.00	: 800.00	: 225.37	: 1.79	: 9.06
: 58	: 8-12	: 150.00	: 400.00	: 19.99	: 1.13	: 6.53
: 59	: 8-11	: 500.00	: 750.00	: 218.35	: 1.11	: 2.48
: 60	: 12- 0	: 700.00	: 500.00	: 469.39	: 1.22	: 1.27

Таблиця Б.9 - Результати розрахунку п'єзометрів та вільних напорів у вузлах мережі після її реконструкції.

Вузол	П'єзометр	Позначка землі	Вільний напір
1	2	3	4
ДВС-II	113,50	83,00	30,50
1	110,86	81,00	29,86
2	110,13	70,00	40,13
3	109,64	70,00	39,64
4	107,97	80,00	27,97
5	107,14	74,00	33,14
6	105,91	70,00	35,91
7	105,16	69,00	36,16
8	102,24	59,00	43,24
9	99,86	58,00	41,86
10	91,34	55,00	36,34
11	96,66	43,00	53,66
12	93,64	45,00	48,64
13	90,52	46,00	44,52
14	87,97	47,00	40,97
15	86,00	50,00	36,00
16	79,04	53,00	26,04
17	84,12	49,00	35,12
18	87,78	50,00	37,78
19	92,37	47,00	45,37
20	101,62	46,00	55,62
21	96,00	50,00	46,00
22	95,39	46,00	49,39
23	92,35	48,00	44,35
24	90,14	51,00	39,14
НС	142,37	94,55	47,82
25	139,23	92,50	46,73

Продовження табл. Б.9

1	2	3	4
26	119,27	93,00	26,27
27	110,79	79,00	31,79
28	128,28	92,00	36,28
29	140,87	92,00	48,87
30	138,55	92,00	46,55
31	132,41	95,00	37,41
32	131,26	80,50	50,76
33	126,76	83,00	43,76
34	120,15	93,00	27,15
35	130,80	91,00	39,80
36	127,69	91,00	36,69
37	123,36	91,00	32,36
38	121,09	89,00	32,09
39	117,00	91,00	26,00
40	119,91	76,00	43,91
41	121,93	80,00	41,93
42	122,88	90,00	32,88
43	129,56	90,00	39,56
44	129,40	80,00	49,40
45	139,41	82,00	57,41
46	141,10	87,00	54,10
47	132,04	91,00	41,04

ДОДАТОК В

Таблиця В.1- Результати розрахунку п'єзометрів та вільних напорів у вузлах мережі без врахування реконструкції ділянок через 30 років

Вузол	П'єзометр, м	Позначка землі, м	Напір, м
1	2	3	4
ДВС-II	152,60	83,00	69,60
1	147,09	81,00	66,09
2	145,51	70,00	75,51
3	144,46	70,00	74,46
4	140,87	80,00	60,87
5	139,10	74,00	65,10
6	136,44	70,00	66,44
7	134,81	69,00	65,81
8	128,48	59,00	69,48
9	123,39	58,00	65,39
10	114,87	55,00	59,87
11	116,39	43,00	73,39
12	109,95	45,00	64,95
13	103,65	46,00	57,65
14	98,41	47,00	51,41
15	94,44	50,00	44,44
16	79,00	53,00	26,00
17	90,29	49,00	41,29
18	97,95	50,00	47,95
19	107,63	47,00	60,63
20	126,15	46,00	80,15
21	114,27	50,00	64,27
22	113,07	46,00	67,07
23	106,71	48,00	58,71
24	102,43	51,00	51,43
НС	169,28	94,55	74,73
25	162,79	92,50	70,29
26	142,83	93,00	49,83
27	134,35	79,00	55,35
28	151,84	92,00	59,84
29	166,06	92,00	74,06
30	161,08	92,00	69,08

Продовження табл.В.1

1	2	3	4
31	148,58	95,00	53,58
32	146,28	80,50	65,78
33	141,74	83,00	58,74
34	134,96	93,00	41,96
35	145,38	91,00	54,38
36	138,84	91,00	47,84
37	129,74	91,00	38,74
38	125,11	89,00	36,11
39	117,00	91,00	26,00
40	123,02	76,00	47,02
41	127,04	80,00	47,04
42	128,95	90,00	38,95
43	142,73	90,00	52,73
44	142,53	80,00	62,53
45	162,90	82,00	80,90
46	166,53	87,00	79,53
47	148,01	91,00	57,01

Декларація
академічної доброчесності
здобувача ступеня вищої освіти ЗНУ

Я, Єродрєєв Сергій Анатолійович, магістрант(ка) 2 курсу, денної форми
буття освіти, спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія

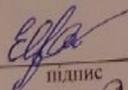
навчальної програми "Водопостачання та водовідведення",
адреса електронної пошти 888esa888@gmail.com

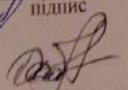
- підтверджую, що виконана мною кваліфікаційна робота на тему:
"Оптимізація мережі транспортування води за критерієм
енергоефективності"

відповідає вимогам академічної доброчесності та не містить порушень, що
визначені у ст. 42 Закону України «Про освіту», зі змістом яких ознайомлений(на);

- заявляю, що надана мною для перевірки електронна версія роботи є
ідентичною її друкованій версії;

- згоден(на) на перевірку моєї роботи на відповідність критеріям академічної
доброчесності у будь-який спосіб, у тому числі за допомогою інтернет-системи, а
також на архівування моєї роботи в базі даних цієї системи.


підпис


підпис

Єродрєєв С.А.
П.І.П. здобувача

Добровольська О.Т.
П.І.П. керівника

ВІДГУК
керівника кваліфікаційної роботи (проєкту)
другого (магістерського) рівня вищої освіти,
виконаної на тему **«РЕКОНСТРУКЦІЯ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТУВАННЯ
ВОДИ ЗА КРИТЕРІЄМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ»** здобувачем групи
8.1922-ВВ-Д
Єрофєєвим Сергієм Анатолійовичем

Представлена кваліфікаційна робота магістра присвячена розробці методики визначення пріоритетних напрямків реконструкції мережі транспортування води з урахуванням критерію енергоефективності. Перебудова водопровідної мережі має велике значення з точки зору підвищення енергоефективності з численних причин. Оновлення та реконструкція мереж дозволяють усунути втрати води, що не лише заощаджує воду, але й зменшує потребу у додатковому використанні енергії для підтримки тиску в системі через втрати. Під час реконструкції мережі можна впровадити нові технології, такі як енергоефективні насоси, вентилі та датчики, які можуть автоматично керуватися та використовувати менше енергії для забезпечення необхідних умов роботи системи. Реконструкція дозволяє оптимізувати інфраструктуру, наприклад, встановленням сучасних систем моніторингу, контролю та управління, що дозволяє ефективніше розподіляти воду та ресурси. Це зменшує надмірне споживання енергії, необхідної для забезпечення роботи системи.

Виконана кваліфікаційна робота повністю відповідає поставленому завданню.

Автором представлена застосована ефективна методика дослідження, відповідно до якої в роботі виконано моделювання пропускнуої здатності ділянок на різних напрямках транспортування води, розроблені схеми водопровідної мережі та виконані гідравлічні розрахунки, за результатами яких визначені вузлові напори та проаналізовані зони розташування недостатніх тисків, визначені економічні показники та розроблені рекомендації стосовно реконструкції мережі.

Виконання кваліфікаційної роботи відображає застосування здобувачем отриманих знань у галузі наукових досліджень та розвиток вмінь і навичок для

самостійного виконання наукової роботи. Це включає здатність проводити критичний аналіз сучасного стану питань, виконувати дослідження, презентувати результати науково-дослідної діяльності, готувати наукові публікації та брати участь у наукових конференціях.

Матеріал в основних розділах викладено послідовно з наданням необхідної аргументації, а всі структурні елементи кваліфікаційної роботи логічно пов'язані між собою, а висновки відповідають поставленим завданням.

У ході виконання роботи автор продемонстрував здатність самостійно вирішувати поставлені завдання. В роботі відсутні елементи запозичення чужих матеріалів, аналіз літературних джерел представлено з відповідними посиланнями, що виключає можливість виявлення плагіату чи компіляції.

Якість підготовки здобувача вищої освіти Єрофєєва С.А. відповідає вимогам освітньо-професійної програми «Водопостачання та водовідведення» другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія галузі знань 19 Архітектура та будівництво, що дає можливість присвоєння йому кваліфікації магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Елементи плагіату (компіляції) у кваліфікаційній роботі не виявлені. Кваліфікаційна робота другого (магістерського) рівня вищої освіти виконана у повному обсязі, відповідає встановленим вимогам і заслуговує позитивної оцінки, а її автору, **Єрофєєву Сергію Анатолійовичу** може бути присвоєна кваліфікація магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Кількість балів за шкалою ECTS 95

(відмінно)

Керівник кваліфікаційної роботи

Кандидат технічних наук, доцент



О.Г. Добровольська

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти,
виконаної на тему «Реконструкція мережі транспортування води за
критерієм енергоефективності»
здобувачем групи 8.1922-вв-д
Єрофєєва Сергія Анатолійовича

Актуальність дослідження. Актуальність вивчення питання щодо модернізації системи транспортування води з огляду на енергоефективність стає очевидною в контексті відновлення зруйнованої міської інфраструктури в умовах сучасних викликів, таких як воєнні події та відбудова держави. Поновлення водопровідних мереж сприяє зменшенню необхідності регулярних ремонтів та обслуговування, що призводить до збереження не тільки фінансових ресурсів на підтримку системи, але і до зменшення енерговитрат, пов'язаних із зазначеними процесами. Покращення енергоефективності в системах водопостачання також сприяє позитивному впливу на навколишнє середовище. Громадський інтерес до стійкості та енергоефективності стимулює проведення реконструкції систем транспортування води, що сприяє не лише поліпшенню функціонування інфраструктури, але й сприяє зниженню споживання енергії та ресурсів, що є важливим для досягнення збалансованого та сталого розвитку.

Обґрунтованості висновків та пропозицій. Кваліфікаційна робота виконана на високому рівні, з детальним дослідженням обраної проблеми з врахуванням різних її аспектів. В роботі використані загальнонаукові методи дослідження, і вона має елементи наукової новизни. Висновки є обґрунтованими та логічно послідовними, вони належно відображають основні результати даної кваліфікаційної роботи.

Використання наукових методів дослідження. Під час виконання роботи були проаналізовані наукові публікації вітчизняних та закордонних експертів, які були опубліковані у наукових журналах, збірках тез доповідей науково-практичних конференцій та інтернет-ресурсах.

Вміння студента чітко, грамотно та аргументовано викладати матеріал, правильно оформлювати його. Кваліфікаційна робота відзначається систематизацією, і тема вивчена в повному обсязі, з взаємопов'язаними розділами та застосуванням інформаційно-комп'ютерних технологій. Викладений матеріал відрізняється чіткістю та відповідає науковому стилю, а оформлення відповідає стандартам технічної грамотності.

Участі студента у проведених дослідженнях, теоретичній та аналітичній обробці отриманих результатів. Магістрант Єрофєєв Сергій Анатолійович активно брав участь у проведенні досліджень та здійсненні теоретичного та аналітичного аналізу отриманих результатів у рамках своєї кваліфікаційної роботи. Розроблені в ній науково-практичні рішення вирізняються докладним обґрунтуванням, повнотою висвітлення теми та наявністю різноманітних аргументів, що свідчить про ефективність використаних методик досліджень.

Якість виконання. Кваліфікаційна робота організована системно, де всі розділи логічно взаємопов'язані та підтверджені обґрунтованим матеріалом. Кожен розділ чітко формулює свої завдання та сприяє досягненню загальної мети дослідження. Висновки мають послідовний та обґрунтований характер, відображаючи основні результати, отримані під час виконання кваліфікаційної роботи.

Не виявлено (виявлено) в роботі елементів плагіату та копіяції. Елементи плагіату та копіяції у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Можливості впровадження результатів роботи. Результати роботи мають практичну значущість, запропоновані заходи можуть бути використані інженерами-будівельниками під час реконструкції та відбудови мережі транспортування води. За темою роботи опубліковані тези доповіді у науково-технічних конференціях студентів, магістрантів, аспірантів та викладачів.

Недоліки роботи. Бажало б було б детальніше розглянути розрахунки експлоат. енергозатрат. Але це зауваження суттєво не впливає на загальну якість виконання кваліфікаційної роботи.

Оцінки кваліфікаційної роботи та можливості присвоєння здобувачу вищої освіти відповідної кваліфікації. Кваліфікаційна робота здобувача другого рівня інженерами-будівельниками під час реконструкції та відбудови мережі транспортування води за критерієм енергоефективності за актуальністю, обсягом виконаних теоретичних досліджень, змістом, рівнем новизни та практичним значенням відповідає спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія (галузь знань 19 Архітектура та будівництво) та вимогам ОПП «Водопостачання та водовідведення».

Кваліфікаційна робота виконана на високому рівні та заслуговує оцінки «відмінно».

Кваліфікаційна робота виконана у повному обсязі, відповідає встановленим вимогам і заслуговує позитивної оцінки, а її автору освіти Сергію Сергію Анатолійовичу, може бути присвоєна кваліфікація магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Елементи плагіату у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Кількість балів за шкалою ECTS 95 (відмінно) А

Рецензент кваліфікаційної роботи
професор кафедри промислового
та цивільного будівництва, докт. техн. наук



В. А. Баніх