

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Кафедра міського будівництва та господарства
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз впливу структури мережі
на розподіл вузлових напруг

Виконав: студент II курсу, групи БЧД-18-313
спеціальності 192. Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Водопостачання та водовідведення
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Г. В. Мокрицько
(ініціали та прізвище)

Керівник канд. техн. наук, доц. Добровольська О. І.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент ст. викл. Світличко В. Б.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

20 20

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Будівництва та цивільної інженерії
Кафедра міського будівництва і господарства
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 „Будівництво та цивільна інженерія“
(код та назва)
Освітня програма водопостачання та водовідведення
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А. В. Винах А. В.
« 02 » 09 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Жагемко Трині Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Аналіз впливу структури мережі на розподіл вузлових напорів

керівник роботи Федорівська Оксана Григорівна, канд. техн. н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 10 » вересня 2019 року № 1543-С

2 Строк подання студентом роботи _____

3 Вихідні дані до роботи характеристика міста: площа 576 га, добова витрата 80000 м³/добу, довжина водоводів 5 км.
1. Надійність роботи водопровідних мереж. 2. Аналіз впливу структури мережі на розподіл напорів з охороною праці. 3. Розрахунок економічних показників.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Надійність роботи водопровідних мереж. 2. Аналіз впливу структури мережі на розподіл напорів з охороною праці. 3. Розрахунок економічних показників.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Генплан. 2, 3, 4 П'єзометричні карти для мереж з різною структурою. 5, 6. Зони недостатніх напорів. 7, 8, 9, 10 Графіки сумісної роботи мережі водоводів Н. Діаграми утворення зон недостатнього напорів та зливи пофаз вода при аварійних ситуаціях.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Задіяльність роботи мережі	Добровольська О.Т., доц.		
2. Аналіз стану будівельних мереж	Добровольська О.Т., доц.		
3. Охорона праці	Добровольська О.Т., доц.		
4. Розрахунок економічних показників	Добровольська О.Т., доц.		

7 Дата видачі завдання 2.09.2019р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка вихідних схем мережі №1	2.09-1.10.2019	
2	Розрахунок параметрів мережі №2,3,4	2.10-1.11.2019	
3	Гідравлічний розрахунок аварійних мереж №5,6	2.11-20.11.2019	
4	Розрахунок середніх затрат на мережі водоводів мережі 7-10	21.11-10.12.2019	
5	Охорона праці, діагностика	11.12-25.12.2019	
6	Розрахунок економічних показників. Висновки.	26.12-10.01.2020	

Студент

(підпис)

Y. B. Mhagenko

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

(підпис)

O. T. Dobrovolska

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

(підпис)

Pustachenko O.M.

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ.

Ткаченко І.В. Аналіз впливу структури мережі на розподіл вузлових напорів
Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник – О. Г. Добровольська, Запорізький національний університет. Інженерний інститут. Факультет будівництва та цивільної інженерії, кафедра міського будівництва та господарства, 2020 р.

Виконано аналіз впливу структури водопровідної мережі, та окремих її ділянок на розподіл вузлових напорів. Проаналізовані процеси утворення зон недостатнього напору при аварійних режимах роботи мережі. Визначені площі зон з недостатнім напором, які утворюються в мережі в аварійних режимах роботи.

Ключові слова: ВОДОПРОВІДНА МЕРЕЖА; СТРУКТУРА МЕРЕЖІ; ВУЗЛОВИЙ НАПР; МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ; ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК; П'ЄЗОМЕТРИЧНІ ПОЗНАЧКИ; ЗОНИ НЕДОСТАТНЬОГО НАПОРУ.

ABSTRACT

Tkachenko I.V. Analysis of the influence of network structure on the distribution of nodal pressures.

Qualifying work for obtaining a master's degree in higher education by specialty 192 - construction and civil engineering, scientific supervisor O.G. Dobrovolskaya, Zaporizhzhia National University. Engineering Institute. Faculty of Construction and Civil Engineering, Department of Urban Construction and Economy, 2020.

The influence of the structure of the water supply network and its individual sections on the distribution of nodal pressures is analyzed. The processes of formation of zones of insufficient pressure during emergency modes of network operation are analyzed. Areas of insufficient headroom that are formed in the network in emergency modes are identified.

Keywords: WATER SUPPLY NETWORK; NETWORK STRUCTURE; Nodal pressure; MODELING EMERGENCY SITUATIONS; HYDRAULIC CALCULATION; PEZOMETRIC MARKS; ZONE OF INSUFFICIENT STRENGTH.

Зміст

Вступ.....	
Розділ 1. Надійність роботи водопровідних мереж в сучасних умовах 1.1	
Особливості функціонування водопровідних мереж.....	
1.2 Аналіз показників надійності роботи водопровідних мереж.....	
1.3 Аналіз факторів, що впливають на роботу водопровідних мереж.....	
1.4 Шляхи підвищення роботи водопровідних мереж.....	
1.5 Висновки.....	
Розділ 2. Аналіз впливу структури мережі на розподіл вузлових напорів.....	
2.1. Мета і задачі дослідження	
2.2. Формування вихідних даних	
2.3. Режим водоспоживання міста.....	
2.4. Режим роботи насосної станції II підйому.....	
2.5. Стисла характеристика вихідних схем мереж.....	
2.6. Початковий поточкорозподіл.....	
2.7. Вихідні розрахункові схеми мереж.....	
2.8. Гідравлічні розрахунки мереж	
2.9. Визначення п'єзометричних позначок та вільних напорів у вузлах мереж.	
2.10. Розрахунок водогонів та визначення висоти стовлу водонапірної башти...	
2.11. Уточнення напору насосів насосної станції II підйому.....	
2.12. Розрахунок площ з недостатніми напорами при аварійних режимах.....	
2.13. Визначення подач води в мережу.....	
Розділ 3. Охорона праці та техногенна безпека.....	
3.1 Характеристика потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	
3.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	
3.3 Виробнича санітарія.....	
3.4 Електробезпека.....	
3.5 Пожежна безпека.....	
3.6 Розрахунок штучного освітлення аудиторії.....	

3.7 Висновки.....	
.Розділ 4. Розрахунок економічних показників мережі.....	
4.1. Планування капітальних витрат.....	
4.2. Планування поточних витрат.....	
4.3 Визначення економічної ефективності варіантів систем водопостачання.....	
Висновки.....	
Список використаних джерел.....	
Додаток А. Гідравлічні розрахунки для водопровідної мережі № 1.....	
Додаток Б. Гідравлічні розрахунки для водопровідної мережі № 2.....	
Додаток В. Гідравлічні розрахунки для водопровідної мережі № 3.....	

Розділ 1

1 Надійність роботи водопровідних мереж в сучасних умовах

1.1 Особливості функціонування водопровідних мереж

Вітчизняні і закордонні системи подачі і розподілу води подібні, хоча в окремих зарубіжних системах є деякі особливості. Принципові схеми включають: водозабір, головні споруди, водоводи, розподільні мережі. При цьому характеристики цих елементів визначаються місцевими умовами. Розглянемо деякі особливості систем подачі і розподілу води окремих міст. Заміські водоводи, що подають рейнську воду на інфільтрацію в м. Амстердамі (Нідерланди), виготовлені з попередньо напружених залізобетонних труб. Інші заміські водоводи від очисних станцій до Амстердама виготовлені з залізобетонних і чавунних труб. Чавунні труби складають – 79% загальної довжини, труби з полівінілхлориду – 16%.

Система подачі і розподілу води у багатьох містах складається в основному з чавунних труб. Це такі міста, як Амстердам (Нідерланди), Барселона (Іспанія), Будапешт (Угорщина), Варшава (Польща), Відень (Австрія), Копенгаген (Данія), Лісабон (Португалія), Париж, Софія (Болгарія), Хельсінкі (Фінляндія), Цюрих (Швейцарія), Бомбей (Індія), Кіото (Японія), Токіо (Японія), Олександрія (Єгипет), Денвер (США), Чикаго (США). Та є міста, у яких трубопроводи виготовлені в основному зі сталевих труб: Брюссель (Бельгія), Стокгольм (Швеція). Є міста, у яких багато і чавунних трубопроводів, і сталевих: Брюссель (Бельгія), Мюнхен (Німеччина), Сан-Паулу (Бразилія). У м. Роттердам (Нідерланди) труби виготовлені в основному з полівінілхлориду .

Однією з головних задач, що стоять перед українськими підприємствами комунального господарства в умовах ринкової економіки, є надання споживачам послуг належної якості з урахуванням зменшення енергоємності виробництва та перехід на економне витрачання енергоресурсів[1]. Водопровідна мережа забезпечує розподіл води між споживачами та у кінцевому рахунку визначає буде або ні вода у споживача в необхідній

кількості і при необхідному напорі. Її режим роботи залежить як від режиму водоспоживання, так і від режиму подачі насосної станції.

Водопровідні мережі повинні відповідати своєму призначенню – виконувати функції, для яких вони призначені; бути здатними витримувати задані навантаження у процесі роботи; повинні бути прості в експлуатації та економічні, тобто мати можливість успішно виконувати задані функції при мінімальній величині витрат на їх спорудження та експлуатацію.

Забезпечення надійності роботи водопровідних мереж є однією з основних задач при їх проектуванні. Мережі повинні бути запроектовані та побудовані так, щоб вони не тільки були здатні виконувати свої функції, але і фактично у процесі експлуатації забезпечувати їх безперебійне виконання, тобто подавати користувачам води у необхідній їм кількості та необхідної якості. При фактичному виконанні цих умов можна вважати, що мережі знаходиться в „працездатному стані”.

Недостатня увага до своєчасної реконструкції та модернізації елементів та споруд у системі водопостачання призводить до помітного збільшення кількості аварій, у тому числі таких, які можуть поставити на межу екологічної катастрофи цілі регіони.

Порівняння техніко-економічних показників різних варіантів дозволяє обґрунтовано вибрати той чи інший шлях забезпечення надійності водопостачання. При цьому слід мати на увазі, що підвищення надійності будь-якої інженерної системи викликає її подорожчання. Отже, необхідно відшукати такий варіант вирішення, при якому необхідний ступінь надійності функціонування системи водопостачання міг би бути отриманим при найменшій витраті коштів. Для деяких об'єктів питання про необхідну надійність їх водозабезпечення може бути вирішено у результаті техніко-економічного аналізу. Такий підхід правомірний при визначенні та обґрунтуванні необхідної надійності водозабезпечення для систем водопостачання підприємств окремих галузей промисловості, де ця задача розв'язується простіше.

Згідно із [2] надійність системи водопостачання – це вірогідність виконання водопроводом свого призначення – подавати користувачам воду у необхідній кількості під заданим напором та відповідної якості згідно з пред’явленими вимогами протягом визначеного часу.

Недостатня увага до своєчасної реконструкції та модернізації елементів та споруд у системі водопостачання призводить до помітного збільшення кількості аварій, у тому числі таких, які можуть поставити на межу екологічної катастрофи цілі регіони [3]. Причини такої ситуації різноманітні. Одна з них: відсутність достатніх інвестицій на відновлення інженерних систем життєзабезпечення міст та населених пунктів. У результаті значна частина споруд та комунікацій вичерпала свій ресурс або працює з недопустимими перевантаженнями.

Водопровідна мережа як елемент системи водопостачання відіграє немаловажну роль у забезпеченні надійності функціонування всієї системи. Необхідна надійність систем водопостачання може бути визначена тільки у результаті комплексного розгляду усієї ланки водопровідних споруд, що проектується (від джерела до користувача) та обліку їх ролі у спільній роботі. Система має бути влаштована так, щоб будь-які випадкові події не спричинили недопустимих порушень нормального водозабезпечення. Мережі міських водопроводів завжди влаштовують кільцевими, що мають високий ступінь резервування (взаємозамінність ліній під час аварій) [4]. Однак і в цих системах аварії і відключення будь-яких ділянок магістральної мережі викликають збільшення втрат напору у них і, як наслідок, небезпека недопустимого зниження тисків, перед усім у віддалених точках мережі [5].

Система водопостачання у процесі роботи повинна задовольняти вимогам надійності та економічності. Під цим слід розуміти подачу води у заданій кількості, належної якості та під необхідним напором з найменшими витратами без порушень роботи систем водопостачання.

1.2 Аналіз показників надійності роботи водопровідних мереж

Одним з показників надійності функціонування водопровідних мереж може слугувати вірогідність їх безвідмовної роботи протягом періоду, що розглядається. Підвищення надійності системи водопостачання досягається здійсненням заходів на стадії проектування, будівництва та експлуатації. Надійність роботи досягається устроєм кільцевої мережі замість тупикової, паралельної прокладкою декількох водоводів, а також устроєм резервуарів, що вміщують аварійні запаси води. Економічність системи досягається прийняттям рішень, що забезпечують мінімальні витрати засобів на виробництво та експлуатацію при дотриманні необхідних параметрів її роботи, а також вимог надійності [6].

Забезпечення надійності систем є однією з основних задач при їх проектуванні. Система повинна бути запроектована та побудована так, щоб вона не тільки була здатна виконувати свої функції, але і фактично у процесі експлуатації забезпечувала у заданій мірі їх безперебійне виконання. Тому, що функцією систем водопостачання є подача користувачам води у необхідній їм кількості та необхідної якості, то при фактичному виконанні цих умов можна вважати, що система знаходиться в „працездатному стані”.

Якщо у результаті будь-яких причин нормальне функціонування системи порушується і зниження якості обслуговування об'єкту перебільшує допустимі межі, то має місце відмова системи. Таке порушення нормального функціонування системи може проявитись в недопустимо тривалій перерві або тимчасовому зниженні подачі води об'єкту постачання, недопустимому зниженні заданих тисків у водопровідній мережі, зниження якості води, що подається [7].

Недостатня увага до своєчасної реконструкції та модернізації елементів та споруд у системі водопостачання призводить до помітного збільшення кількості аварій, у тому числі таких, які можуть поставити на межу екологічної катастрофи цілі регіони. Причини такої ситуації різноманітні. Одна з них: відсутність достатніх інвестицій на відновлення інженерних систем

життєзабезпечення міст та населених пунктів. У результаті значна частина споруд та комунікацій вичерпала свій ресурс або працює з недопустимими перевантаженнями.

Водопровідна мережа як елемент системи водопостачання відіграє немаловажну роль у забезпеченні надійності функціонування всієї системи. Необхідний рівень функціонування водопровідної мережі забезпечується за рахунок трьох складаючих надійності: структурної, конструктивної та технологічної. Структурна надійність водопровідної мережі визначається її конфігурацією. Розподільча мережа кільцевої структури дозволяє при виході з ладу однієї з ділянок не припиняти подачу води користувачам. Основними та найбільш частими причинами порушення нормальної роботи системи розподілу води є аварійні пошкодження її окремих елементів. Відмови відбуваються через низькі характеристики міцності елементів мережі та рівня експлуатації.

В останній час проблему забезпечення необхідної надійності та ефективності функціонування водопровідної мережі ускладнює процес зниження водокористування. Це виявило ряд істотних проблем, які треба усунути у процесі експлуатації: зменшення швидкості руху води та скорочення кратності водообміну, що у свою чергу призвело до погіршення якості води у трубопроводах [8, 9, 10].

Причиною відмов можуть бути будь-які події: пошкодження ліній транспортування води (водоводів, магістралей мережі), пошкодження насосів, припинення подачі електроенергії на насосні станції, недопустиме зниження рівня води у джерелі водопостачання, важкі льодові умови або забруднення води водойми. Деякі з перерахованих подій можуть спричинити за собою навіть повне (тимчасове) припинення подачі води споживачам. Більшість подій, що викликають зниження якості обслуговування користувачів, є випадковими подіями, які зазвичай передбачити наперед та припинити не представляється можливим [11].

Основними та найбільш частими причинами порушень нормальної роботи системи подачі та розподілу води є аварійні пошкодження її окремих споруд та ліній труб. Для швидшої ліквідації таких пошкоджень служби експлуатації водопроводів мають аварійні бригади, які виїжджають на місце аварії та здійснюють необхідний ремонт.

Оскільки більшість відмов водозабезпечення викликається будь-якими випадковими подіями, кількісна оцінка надійності системи водопостачання носить вірогідний характер та може бути отримана шляхом аналізу та обробки статистичних відомостей, що накопичені у результаті реєстрації подібних подій.

До основних показників надійності систем, споруд, елементів відносяться: вірогідність забезпечення водою споживачів в необхідній кількості під необхідним тиском; вірогідність їх безвідмовної роботи, тобто вірогідність того, що у межах заданого часу відмова об'єкту, що розглядається не виникає; параметр потоку відмов, тобто щільність вірогідності виникнення відмови для моменту часу, що розглядається [12].

Очевидно, що для кожного об'єкту сума вірогідності його безвідмовної роботи $P(t)$ та вірогідність його відмови $Q(t)$ дорівнює одиниці. Якщо функція розподілу часу між відмовами будь-якого об'єкту, що отримана у результаті обробки статистичних даних про роботу аналогічних об'єктів, відповідає експоненціальному закону, то вірогідність відмови цього об'єкту буде

$$Q(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (1.1)$$

а вірогідність його безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (1.2)$$

Слід відмітити можливість настання відмови, специфічного для систем водопостачання населених пунктів, де процес водокористування носить випадковий характер. Відмова водозабезпечення тут може відбутися не у

результаті аварії у системі (тобто зниження її продуктивності), а у результаті випадкового, не запланованого тимчасового перебільшення користування води об'єктом.

У системах водозабезпечення виробничих об'єктів, де процес водокористування є детермінованим, можливість виникнення подібних відмов менш вірогідна [13].

Основним універсальним методом забезпечення необхідної надійності систем водозабезпечення, як і більшості інших інженерних систем, є їх резервування, тобто введення в систему надлишковості. Найбільш розповсюдженим є метод структурного резервування – використання у системі надлишкових елементів.

Найпростішим прикладом нерезервованої системи подачі води є водовід, який прокладено в одну лінію, коли він складається з декількох (n) послідовно ввімкнених елементів. Така система може знаходитися в працездатному стані тільки при одночасній неушкодженості усіх її елементів та їх сумісній роботі. Відмова будь-якого з елементів викликає відмову усієї системи.

Нерезервованою є також система, що складається, наприклад, з двох ліній, що ввімкнені паралельно між точкою подачі та точкою відбору, при умові, що для безперебійної подачі води необхідна одночасна робота обох ліній.

Резервовані системи представляють собою комплекс m елементів, з яких n елементів забезпечують нормальне функціонування системи. Надійність системи зростає зі збільшенням „кратності резервування”

$$k = \frac{m}{n}, \quad (1.3)$$

де m - кількість резервних елементів;

n - кількість основних елементів.

Чим менше задане значення Q_a/Q , тим з меншою витратою засобів може бути досягнена необхідна надійність системи транспортування води.

Прикладом резервованих систем можуть служити системи транспортування води від джерела до об'єкту постачання по двом або декільком паралельно покладеним лініям водоводів.

Кільцева водопровідна мережа представляє собою систему подачі води з високою ступенем резервування [14]. Більшість точок відбору води з'єднано з точками живлення мережі багатьма можливими шляхами, тому аварії окремих ділянок мережі не викликають істотного порушення процесу водозабезпечення. В процесі попереднього розподілення витрат води по окремим лініям мережі доцільно враховувати взаємозамінність основних паралельних шляхів руху води, що обумовлює і відповідні діаметри ліній.

Слід врахувати, що зріст водокористування населених пунктів викликає необхідність розвитку системи водопостачання, збільшення кількості водоводів, магістралей мережі, кількості агрегатів на насосних станціях та установок на очисних спорудах, а іноді також кількості джерел та водозаборів, що використовуються. Усе це забезпечує збільшення надійності системи водопостачання.

Другим принципом забезпечення надійності систем водопостачання є використання резервних та акумулюючих ємностей для зберігання запасів води, що необхідні на період відновлення (ремонт) елементів системи, що відмовили [15,16].

Одним з найбільш частих випадків використання методів тимчасового резервування є влаштування запасного резервуару у кінцевій точці водоводу, що транспортує воду на територію об'єкту. Водовід може складатися з однієї лінії труб, а об'єм резервуару повинен забезпечувати зміст у ньому кількості води, що достатня для постачання об'єкту на період ліквідації аварії на

водоводі. У ряді випадків при резервуарі необхідно влаштовувати також насосну станцію.

Порівняння техніко-економічних показників вказаних варіантів дозволяє обґрунтовано вибрати той чи інший шлях вирішення. При цьому слід мати на увазі, що підвищення надійності будь-якої інженерної системи викликає її подорожчання. Отже, необхідно відшукати такий варіант вирішення, при якому необхідний ступінь надійності функціонування системи водопостачання могла би бути отримана при найменшій витраті коштів [17].

Надійність системи водопостачання – вірогідність виконання водопроводом свого призначення – подавати користувачам воду у необхідній кількості під заданим напором та відповідної якості згідно з пред'явленими вимогами протягом визначеного часу.

Основними показниками надійності є безвідмовність, задана довговічність та ремонтпридатність. Безвідмовністю системи водопостачання називають її здатність зберігати розрахункову працездатність впродовж визначеного інтервалу часу та у визначених умовах експлуатації.

Відмова системи – часткове або повне невиконання функцій системи, що призводить до зниження її працездатності або до повного припинення її роботи.

В залежності від характеру зміни параметрів, що визначають якість системи водопостачання, відмови поділяються на повні та часткові, поступові та раптові, зворотні та незворотні [17].

При повній відмові подача води усім користувачам повністю закінчується, а при частковій – можлива подача користувачам деякої кількості води.

Раптові відмови виникають випадково, а поступові – через знос водопровідних споруд. Причинами раптової відмови можуть бути: припинення подачі електроенергії на насосну станцію, згорання обмоток електродвигуна, поломка деталей насоса, розриви труб та ін.

Причинами поступової відмови можуть бути: збільшення шорсткості внутрішньої поверхні стінок труб внаслідок заростання, зниження рівня води у свердловинах через зменшення запасів підземних водних ресурсів та ін.

Зворотними називаються такі відмови окремих водопровідних споруд, що можуть бути усунені без припинення роботи водопостачання, а саме: розрив труб водопровідної лінії замкнутої мережі, у якій водорозбірні точки мають двостороннє живлення, поломка водозабірних колонок та ін. До незворотних відмов належать аварії системи, що можуть бути усунені лише при тимчасовому припиненні роботи, наприклад, аварії головних водопровідних споруд при відсутності їх резервування.

Будь-яка відмова одночасно є і несправністю, але не усяку несправність можна вважати відмовою. Не є відмовами несправності допоміжних та резервних споруд та обладнання.

Під довготривалістю системи водопостачання розуміють здатність водопроводу до тривалої експлуатації. Довго-тривалість характеризується терміном служби, по припиненню якого система зазнає змін, що зумовлені фізичним та моральним зносом та старінням. Ці зміни є, навпаки, іншими, бо усунення їх стає неможливим або економічно недоцільним. Термін служби системи може виражатися у одиницях часу або визначатися граничною величиною подачі води (продуктивність системи). У ряді випадків поняття безвідмовності та довго-тривалості можуть співпадати.

Ремонтопридатність системи характеризується затратами труда, часу та засобів, що необхідні для попередження, виявлення та усунення відмов.

Важливим є також поняття готовності. Під готовністю слід розуміти стан системи, при якому вона готова до негайного використання за призначенням, тобто до виконання завданих функцій.

1.3 Аналіз факторів, що впливають на роботу водопровідних мереж

Найбільш уразливою ланкою системи водопостачання є водопровідні мережі. Основна причина – практика мінімізації капітальних затрат без врахування вартості експлуатації, яка існувала раніше в країні. Порушення у роботі водопровідної мережі пов'язані головним чином з аваріями на лінійній частині. Причинами пошкоджень трубопроводів є: низька якість труб при їх значному терміні служби, інтенсивна внутрішня та зовнішня корозія, надлишковий тиск або його коливання, сезонні коливання ґрунту, недотримання технології виробництва робіт з укладання та монтажу трубопроводів [18, 19].

Система транспортування води є найбільш дорогим елементом комплексу водопостачання. Вона включає водоводи, розподільчу мережу та встановлену на ній арматуру для відключення, регулювання, обслуговування, ремонту та забезпечення надійності роботи. Вартість системи подачі та розподілу води (СПРВ) складає 50 – 70% вартості усієї мережі водопостачання. Додатковою трудністю при виробництві аварійно-відновлюваних робіт у великих містах є те, що водопроводи функціонують в умовах підвищеної щільності наземної забудови та при наявності великої кількості підземних комунікацій. Ріст кількості порушень у роботі, а також витрат по експлуатації визначає необхідність проведення заходів по підвищенню надійності СПРВ [20].

Аналіз статистики аварійних відмов через корозію показав, що в основному корозійне руйнування трубопроводів викликано впливом блукаючих токів, що викликано електрифікованим рейковим транспортом [20, 21]. Аномально високі швидкості руйнування мають ділянки трубопроводів, що розташовані близько до рейкових шляхів та районних тягових підстанцій. Це обумовлює першочерговість заходів по захисту водопроводів.

Ще одним з найважливіших шляхів підвищення надійності роботи водопровідних мереж є стабілізація тиску у системі водопостачання. У зв'язку з цим на насосних станціях встановлюють гідравлічні приводи, що забезпечують плавне регулювання кількості обертів насоса. Впровадження гідравлічних

приводів дозволяє оптимізувати тиск у трьох зонах водопостачання, враховуючи нічні режими, виключити гідроудари в системі при переключенні насосних агрегатів, а також здійснювати компенсацію будь-яких інших змін тиску у цих зонах [21]. Впровадження гідроприводів призвело до зниження кількості втрат на водопровідних мережах, при тимчасовому припиненні роботи одного з гідроприводів збільшилась кількість втрат [22].

Для підвищення ефективності та зниження затрат при експлуатації мереж на підприємстві створена лабораторія дослідження мережі, в задачі якої входить пошук прихованих втрат води, уточнення трас проходження водопроводів, відшукування втрачених колодязів під ґрунтом, визначення витрат та напрямів потоків, проведення манометричних вимірів тисків СПРВ [23, 24]. Впровадження системи зв'язку дозволило збільшити оперативність виконання робіт, покращити взаємодію між службами, здійснити передачу даних. На її основі впроваджена система контролю тиску в диктуючих точках. Це дозволяє центральному диспетчеру регулювати тиск та управляти СПРВ, що призводить до усунення необґрунтованих високих або низьких тисків [25].

Сучасні системи водопостачання мають нестабільні характеристики на довгому відрізку часу. Ця нестабільність не пов'язана з динамікою роботи системи, яка визначається характером водорозбору на протязі доби, що залежить від особливостей життя і праці населення міста. З однієї сторони вона визначається тенденцією концентрації населення в містах, яка призводить до росту водопостачання і зміни структури водорозподільної мережі, з другої сторони – особливостями формування і розвитку промислового виробництва, з третьої – нестабільністю в часі характеристик окремих елементів систем водопостачання (зменшення пропускної можливості мереж і водоводів як наслідок корозії в них, зміни характеристики насосів як наслідок їх зносу і т.п.) [22].

В умовах сформованого на сьогоднішній день зносу більшості трубопроводів та обладнання міських водопровідних мереж, обмеження

фінансових ресурсів на їх реновацію проблема забезпечення надійності та екологічної безпеки буде загострюватися по мірі росту тривалості експлуатації. Виходом з ситуації, що склалася є розробка та реалізація науково обґрунтованої стратегії управління експлуатацією та забезпечення надійності та екологічної безпеки системи водопостачання міста [7].

Данні про стан водопостачання показують, що близько 50% трубопроводів господарсько-питного значення знаходяться в незадовільному стані та потребують перекладки та капітального ремонту. Протягом багатьох років в системах зовнішнього водопостачання використовувалися труби, що виготовлені з найбільш дешевих марок сталі, до якої слід віднести киплячу вуглеводну сталь звичайної якості. Економічна доцільність виробництва такої сталі очевидна, бо вихід гідного прокату з тони рідкої киплячої сталі підвищується на 8 – 10% в порівнянні зі „спокійною” сталлю.

Розрахунок трубопроводів на міцність враховує тільки механічні характеристики матеріалу та не включає деякі інші характеристики сталі, від яких також залежить надійна робота трубопроводів. До основних властивостей матеріалу труб, які необхідно враховувати при виборі марки сталі, слід віднести: холодноламкість, старіння, корозійна стійкість, зварюваність, якість зварних з'єднань.

Тенденція до максимального зниження вартості будівництва та існуюча думка про достатню корозійну стійкість сталевих труб призвели до використання найбільш дешевих марок сталі. Спроби використовувати у визначених умовах труби з сталей більш високої якості для систем водопостачання, як правило, не допускалися. Пропозиції по виборі марок сталі, що розроблені ВНІ ВОДГЕО ще 25 років тому, через існуючі умови не знайшли відповідного впровадження.

Практично декретований вибір марки сталі труб без врахування специфіки умов роботи систем водопостачання, а також відсутність необхідного захисту внутрішньої та зовнішньої поверхонь трубопроводів від

корозії призвели до зниження строку служби в порівнянні з нормативним та до підвищення інтенсивності відмов.

Основною причиною аварій на трубопроводах з сірого чавуна була розгерметизація розтрубних стикових з'єднань, що ущільнювалися пінкою та робилася зачеканка: до кінця двадцятих років – свинцем, а в наступний період – азбестоцементною сумішшю та іншими заміниками свинцю. При використанні як свинцю, так і його заміників стикові з'єднання навіть при відсутності рухливостей трубопроводів, що викликані температурними змінами та деформаціями ґрунту, витримували тиск не більше 15атм. Відповідно до цього робочий тиск у чавунних трубопроводах допускався не більше 10атм. Такий тиск для товстих чавунних труб, що вимовлялися тоді не був небезпечним. Тому аварії на трубопроводах відбувалися лише після підмиву ґрунту основи у результаті втрат через пошкоджені стикові з'єднання. При аваріях чавунні труби розламуються, та скид води з місць пошкоджень значно перебільшує втрати води з сталевих трубопроводів, бо в останніх при аваріях утворюються щілини, втрати через які порівнянно невеликі [20].

Думка про порівняно високу надійність сталевих трубопроводів, відносна їх дешевизна в порівнянні з більш товстостінними і тому більш металоємними чавунними трубопроводами, а також швидкокомунтування та ремонтоспроможність сталевих трубопроводів призвели до витиснення чавунних труб та заміні їх на сталеві, не дивлячись на вимоги нормативів про переважне використання у системах водопостачання неметалевих труб. В наш час корозійні пошкодження сталевих трубопроводів систем водопостачання стали масовими та створили реальну загрозу безперервності водопостачання ряду міст.

Стендові та натурні випробування труб відцентрового лиття діаметром до 400мм з рівномісними стиковими з'єднаннями показали, що труби з сірого чавуна, що застосовується для їх виготовлення менш міцні, ніж їх з'єднання. При підвищенні напруги у матеріалі труб більш ніж до 50 – 60% руйнівного

впливу вони втрачають довготривалу міцність та руйнуються при порівняно невеликих тисках після декількох циклів підвищення тиску більше вказаної вище величини.

Заводські випробування (внутрішнім тиском до 40%) труб, що виготовлені за діючим ГОСТ, не є гарантією їх міцності та можуть бути причиною аварій чавунних трубопроводів при приймальних випробуваннях по закінченню будівництва та при їх наступній експлуатації.

Використання труб з пластичного чавуна (з шарованим графітом) мають міцносні та деформаційні показники, близькі до показників для сталевих труб. Ці труби за своєю корозійною характеристикою значно перевершують сталеві. На відміну від труб зі звичайного чавуна при аваріях вони не руйнуються повністю і тому не створюють загрозу розмиву навколишнього ґрунту, що небезпечно для близько розташованих будівель та споруд. Завдяки пластичності вони менше пошкоджуються при деформації навколишнього ґрунту. Нормативний строк служби цих труб близько 80 – 100 років, в декілька разів більше строку служби сталевих труб. На сьогодні склалася вкрай важка ситуація у відношенні довгочасності, надійності, експлуатаційної та екологічної безпеки водо- та теплопроводів.

Проведений у деяких містах аналіз аварійності та довгочасності роботи водопроводів показав, що на сталевих водопроводах 95% аварій пов'язані з корозійним зносом труб; на водопроводах з „сірого” чавуну майже 100% аварій пов'язані з розгерметизацією розтрубного з'єднання під зачеканку (до 60% аварій) і з утворенням поздовжніх або поперечних тріщин (до 40% аварій).

Аварійність водопроводів з року в рік збільшується та досягла таких значень, при яких господарчі служби повинні усі засоби, що виділяються, в основному витратити на аварійний ремонт, а не на будівництво нових трубопроводів або планомірну заміну старих.

З 60-х по 90-е рр. в будівництві трубопроводів водопостачання широке використання отримали труби з нелегированої вуглеводистої сталі; сталеві труби з будь-яким зовнішнім та внутрішнім покриттям (оцинковані, з зовнішнім антикорозійним покриттям, з внутрішнім емальованим покриттям); напірні труби з „сірого” чавуну, поліетилену, високоміцного чавуну з шарованим графітом (ВЧШГ), поліпропілену; напірні метало-пластикові труби.

При прокладці та довготривалій експлуатації трубопроводу з ВЧШГ (50 років) досягається трьохкратна економія грошових засобів в зрівнянні з затратами на прокладку та експлуатацію сталевих трубопроводів. Внутрішня поверхня труб покрита цементно-піщаним захистом (ЦПЗ), що виключає у процесі експлуатації виникнення на поверхні корозійних явищ та заростання проходу труб, а також транспортуючої води, яка зберігає якість. Поряд з антикорозійним захисним ефектом ЦПЗ покращує також гідравлічні властивості трубопроводу через відзначену вище відсутність корозії та відкладень у трубах, а також виникнення на поверхні ЦПЗ гідрофільного слизького (гелієвого) слою, що утворений найменшими часточками глини та залізо-марганцевими сполуками [21].

Для азбестоцементних труб причиною більшості аварій є поперечні переломи при недостатньо старанно спрофільованій основі або при деформаціях ґрунту в основі. Азбестоцементні труби з муфтовими з'єднаннями на резинових ущільнювачах використовувалися у невеликих об'ємах. Якість азбестоцементних труб знизилась у результаті застосування низькосортних марок азбесту та спрощеної технології виготовлення. Випробувальні заводські тиски не є гарантією міцності. Під їх впливом можуть виникнути мікротріщини, які потім становляться місцями виникнення руйнування під впливом внутрішнього робочого тиску (після декількох циклів його зміни). Причиною виникнення мікротріщин в тілі труби є також недотримання технології транспортування та вантажно-розвантажувальних робіт, а також порушення технології виробництва робіт. Високоякісні азбестоцементні труби виявилися непридатними для будівництва систем водопостачання [20].

Якість залізобетонних труб, які виготовлялися більшістю заводами, також була недостатньо високою. Вартість їх значно перевищувала вартість сталевих труб без надійних внутрішніх та зовнішніх покриттів. Тому залізобетонні труби застосовувалися та застосовуються в незначних обсягах [20].

У останні роки при будівництві водоводів широке використання отримали залізобетонні труби, що використовуються замість металевих. По достовірним прогнозам (з врахуванням закордонного досвіду), термін служби таких труб може досягати 50 років та більше, тоді коли сталеві та чавунні труби експлуатуються практично не більше 15 – 20 років. Внутрішня поверхня залізобетонних труб має стабільну шорсткість на відміну від металевих труб, що були в експлуатації. Вона не покривається утвореннями, тому труби не втрачають своєї пропускної здатності протягом усього терміну експлуатації. Крім того, застосування залізобетонних труб дозволяє суттєво економити метал.

За рахунок удосконалення технології виготовлення залізобетонних труб можна істотно знизити шорсткість їх внутрішньої поверхні, а отже, знизити гідравлічні опори при транспортуванні по них води [22].

Досвід широкого використання пластмасових труб вітчизняного виробництва для систем зовнішнього водопостачання відсутній. Вони не забезпечують в повній мірі сортаментний діапазон та діапазон робочих тисків, що мають місце у системі подачі та розподілу води. За вітчизняними технологіями ці труби виготовляються з термопластів, хоча в більшості країн Європи їх виготовлення здійснюється з термореактопластів, що мають назву „зшитого” або „сітчастого” поліетилену, що має в декілька разів кращі характеристики: довгочасну міцність, сповільненого старіння, хімічну та абразивну стійкість [20].

Достатньо давно на світовому ринку з'явилися склопластикові труби для систем водопостачання. Достовірні дані про ефективність їх використання у нашій країні відсутні [20].

Внутрішні причини, що викликають відмови окремих елементів системи, доволі різноманітні. Пошкодження можуть відбуватися через використання дефектних виробів, неякісного виконання будівельно-монтажних робіт, їх прийняття та випробовування, незадовільного режиму експлуатації – несвоєчасного проведення технічних оглядів, планово-попереджувальних ремонтів, заміни застарілих елементів та ін.

Своєчасна реєстрація усіх пошкоджень елементів водопровідних мереж та водоводів, що відбуваються у процесі експлуатації та збір усіх необхідних даних про пошкодження, що виявлені представляють собою єдино можливе джерело інформації для отримання обґрунтованих числових показників надійності цих елементів. Тому розробка методів та форм реєстрації пошкоджень має велике практичне значення.

Для накопичення необхідних статистичних даних про пошкодження водопровідних мереж та водоводів форми їх реєстрації повинні бути по можливості простими, що не потребують особливої кваліфікації реєстраторів та гранично уніфікованими для усіх експлуатаційних організацій, що здійснюють ремонти водопровідних систем.

1.4 Шляхи підвищення роботи водопровідних мереж

В останні роки в Україні проведені комплексні дослідження надійності міської водопровідної мережі. На їх основі розроблена стратегія управління експлуатацією системи водопостачання міста та забезпеченні надійності та екологічної безпеки трубопроводів. Вона заснована на використанні: нових нормативів та технічних умов, що враховують особливості експлуатації водопровідних мереж та вимоги до рівня надійності трубопроводів і обладнання; високо надійних труб та арматури; ефективного захисту трубопроводів від зовнішньої та внутрішньої корозії за допомогою автоматизованої системи контролю експлуатації системи електрозахисту

трубопроводів; інформаційних технологій у керуванні експлуатацією; сучасних організаційно-економічних моделей керування системою водопостачання міста та контролю якості експлуатації.

В умовах сьогоденного зносу більшості трубопроводів та обладнання міських водопровідних мереж, обмеження фінансових ресурсів на їх реновацію проблема забезпечення надійності та екологічної безпеки буде загострюватися з ростом тривалості експлуатації.

Виходом з ситуації, що склалася, є розробка та реалізація науково обґрунтованої стратегії керування експлуатацією та забезпечення надійності та екологічної безпеки системи водопостачання міста та врахування факторів впливу при проектуванні водопровідних мереж [20].

У зв'язку з ростом водокористування та необхідністю розвитку та удосконалення систем комунального водопостачання проблема неврахованих та нераціональних витрат та втрат води набуває зростаючого значення. Економія питної води дозволяє поліпшити водопостачання користувачів у верхніх поверхах будівель та в районах міст, що віддалені від головних водопровідних споруд та насосних станцій підкачки, а також зекономити значну кількість електроенергії, реагентів та інших матеріалів. В ряді випадків економія води дозволяє уникнути реконструкції та розширення систем водопостачання або відкласти їх на більш віддалений термін. Про значимість цієї проблеми свідчить той факт, що їй вирішенню присвячено ряд директивних документів у галузі водопостачання, великий потік інформації у вітчизняній та закордонній науково-технічній літературі, а також спеціалізовані та генеральні доповіді Міжнародної асоціації з водопостачання (МАВ).

Разом з тим ця проблема ще далеко не вирішена, особливо у нашій країні в умовах багаторічного відставання у відновленні основних фондів систем водопостачання, зносу трубопроводів, обладнання та арматури та недостатнього фінансування профілактичних та ремонтно-відновлюваних робіт на мережі водопроводу. У вітчизняній статистиці досі нема показника

„нераціональні витрати води”, а втрати води з зовнішньої мережі приведені сумісно з показником „невраховані витрати”, причому передбачається, що невраховані витрати включають використання води тільки на гасіння пожеж та на навчальні цілі по їх гасінню. До нераціональних витрат питної води відноситься і її використання для господарсько-виробничих потреб у тих випадках, коли по техніко-економічним обґрунтуванням витрату цієї води можна понизити використанням іншого процесу або заміною питної води на технічну. Так, замість водяної промивки ділянок водопровідної мережі використання водоповітряної, гідромеханічної або гідродинамічної промивки дозволяє не тільки інтенсифікувати процес, але і суттєво зменшить витрату питної води за рахунок скорочення тривалості промивки. У ряді міст вже відмовилися від водяної промивки водопровідної мережі та замінили її водоповітряною та гідродинамічною, рідше гідромеханічною з використанням еластичних поршнів.

У великих містах, джерелами водопостачання яких в основному служать поверхневі води, нераціональною витратою питної води зазвичай є поливання вулиць та зелених насаджень водою з водопроводу, а не з джерела водопостачання, особливо коли місто розташоване на його берегах.

Нераціональним є також використання питної води на підприємствах промисловості, де вона може бути замінена оборотною або технічною водою. У цьому напрямі зроблена велика робота по встановленню та обмеженню для промислових підприємств лімітів водокористування з міських водопроводів та штрафних санкцій за їх перевищення. Крім того, сьогодні через високі тарифи на питну воду підприємства намагаються зменшити використання питної води [3, 7].

Забезпечення необхідною надійністю будь-якої технічної системи повинно передбачатися у процесі її проектування та розрахунку, у процесі виготовлення (використання надійних матеріалів та обладнання), у процесі спорудження системи (висока якість будівельно-монтажних робіт) та, нарешті,

у процесі експлуатації – шляхом хорошої організації аварійно-відновлюваної служби, планово-попереджувальних ремонтів та високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Слід мати на увазі, що підвищення надійності системи завжди викликає збільшення матеріальних затрат. Тому вимоги до надійності систем водопостачання, як і багатьох інших систем, повинні бути переконливо обґрунтовані. Для деяких об'єктів питання про необхідну надійність їх водозабезпечення може бути вирішено у результаті техніко-економічного аналізу. Такий підхід правомірний при визначенні та обґрунтуванні необхідної надійності водозабезпечення для систем водопостачання підприємств окремих галузей промисловості. У цих випадках може з'явитися проблема відділення оптимальної надійності. Очевидно, збільшення затрат на підвищення надійності систем повинно виправдовуватися зниженням матеріальних збитків, що викликані її можливими відмовами.

Необхідна надійність систем водопостачання може бути визначена тільки у результаті комплексного розгляду елементів системи водопостачання (від джерела до користувача) та обліку їх ролі у спільній роботі. Система має бути влаштована так, щоб будь-які випадкові події не спричинили недопустимих порушень нормального водозабезпечення.

Мережі міських водопроводів завжди влаштовують кільцевими, що мають високий ступінь резервування (взаємозамінність ліній під час аварій). Однак і в цих системах аварії і відключення будь-яких ділянок магістральної мережі викликають збільшення втрат напору у них і, як наслідок, небезпека недопустимого зниження тисків, перед усім у віддалених точках мережі. З цих міркувань згідно із [26] встановлюють гранично допустиме (при аваріях) зниження подачі та напору води в найбільш несприятливих точках мережі.

Надійність водопровідних ліній залежить не тільки від типу, матеріалу та діаметру труб, але також від конструкції стикових сполучень, від якості їх монтажу, підготовки основи, характеру ґрунтів, вплив транспорту, коливання

внутрішніх тисків, корозійних властивостей ґрунтів та води та ін. Показники надійності елементів подібного роду можуть бути визначені тільки у результаті довгих спостережень над їх роботою у процесі експлуатації, систематичного збору та обробки статистичних даних про усі пошкодження та аварії [3,7].

Згідно з рекомендаціями [26] слід перевірити працездатність системи при аварії на мережі. У випадку аварії на одній з ліній мережі необхідно, щоб в диктуючій точці вільний напір був не менше 10м, а подача води на господарсько-питні потреби міста знижувалася не більш, ніж на 30%. Якщо вказані вимоги будуть виконуватися при найбільш завантаженому режимі роботи системи, то при усіх інших режимах, коли втрати напору в мережі менші, їх виконання буде гарантовано. Цей режим буде мати місце у години найбільшого водовикористання [17].

Відсутність повітря в трубопроводі, що транспортує воду, збільшує надійність та ефективність його роботи та може бути оцінена за двома параметрами: зниження аварійності, що пов'язана з наслідками гідроударів, що ініціюються повітряними накопичуваннями, та руйнуваннями герметизуючих вузлів обладнання, арматури та трубопроводів; зменшення місцевих опорів за рахунок видалення повітря з точок трубопроводів, у яких найбільш вірогідне скупчення, та збільшення прохідного перетину, по якому рухається вода [18].

Розрахунки на відносно простих схемах кільцевих водопровідних мереж, виконаних з повним дотриманням усіх вимог діючого [26], показала їх низьку надійність. Таке положення визначається недосконалістю вимог [26] в частині надійності. Було запропоновано доповнити існуючі в СНіП показники надійності для найбільш несприятливого місця відбору води такими показниками, як середнє протягом року нормального T_n і зниженого до визначеної межі T_c рівня якості функціонування. Існуючі в [26] показники надійності разом із запропонованими забезпечать повноту надійності вимог до водопровідних мереж та гарантують високу надійність мереж, що проектуються.

Усі заходи з ліквідації пошкоджень починаються після знаходження самого факту аварії, що трапилася, який інколи дуже важко встановити. Якщо величина втрат (зумовлена пошкодженням) відносно невелика в порівнянні з витратою води у трубі, то падіння тиску у нижче розташованих ділянках мережі буде незначним та не призведе до помітної (або недопустимої) зміни функцій нормального водозабезпечення користувачів. Між тим за абсолютною величиною втрата може бути значною та викликати поступове затоплення підвальних приміщень, тунелів, підмив фундаментів та ін.

1.5 Висновки

Аналіз роботи водопровідних мереж в сучасних умовах дозволяє зробити наступні висновки:

- водопровідні мереж – найбільш вагомий елемент системи водопостачання, стан якого впливає ефективність її роботи, в Україні спрацьованість мереж яка становить більше 45%;
- незадовільний технічний стан водопровідних мереж негативно позначаються на якості очищеної води і є причиною вторинного її забруднення [7, 8, 9];
- наслідками такого стану водопровідних мереж є значні необліковані витрати води та високі питомі витрати електроенергії на її подачу.
- при проектуванні та реконструкції діючих водопровідних мереж не надається увага впливу її структури на показники роботи.

Розділ 2

2 Розрахунки гідравлічних і технологічних показників мереж

2.1 Мета і задачі дослідження

Мета роботи: дослідження впливу структури мережі на розподіл тиску в її вузлах при нормальних та аварійних режимах роботи, формування зон недостатніх напорів та надійність мережі.

Задачі, які треба вирішити для досягнення мети:

- розробити схеми водопровідних мережі з різною структурою;
- виконати гідравлічні розрахунки при нормальному режимі роботи мережі;
- виконати моделювання можливих аварійних ситуацій;
- виконати гідравлічні розрахунки для аварійних режимів роботи;
- проаналізувати сумісну роботу насосних станцій і мереж в нормальному режимі та при аварійних ситуаціях;
- проаналізувати утворення зон недостатнього напору та їх розмір в аварійних режимах роботи мережі;
- розрахувати економічні показники роботи різних мереж.

2.2 Формування вихідних даних

В даній роботі розглянуто три схеми мережі (рис. 2.1-2.3) які мають такі вихідні дані:

- 1) площа міста 576 га ($2400 \times 2400 \text{ м}^2$);
- 2) місто знаходиться на позначці 50 м;
- 3) максимальна добова витрата 80000 м³/добу;
- 4) максимальний коефіцієнт нерівномірності 1,3;
- 5) необхідний напір в невідгідній точці мережі 42 м;
- 6) башта знаходиться біля точки приєднання водоводів на позначці + 70 м;
- 7) довжина анпірних водоводів 5 км.

2.3. Режим водоспоживання міста

Згідно з коефіцієнтом годинної нерівномірності за табличними значеннями [1] приймається розподіл витрати води на господарсько-питні потреби по годинах доби. За відсотковим розподілом добових витрат визначається витрата води для кожної години, м³:

$$Q_{\text{ст.г.}} = P_{\text{ст.г.}} \cdot Q_{i \text{ доб. макс}} / 100, \quad (2.1)$$

де $P_{\text{ст.г.}}$ – значення i -ї годинної витрати, % ;

$Q_{i \text{ доб. макс}}$ – максимальна витрата для i – го району міста, м³/добу.

Розрахункову таблицю годинних витрат води (таблиця 2.1) складено згідно з прийнятим режимом споживання води на загальні потреби міста. За даними цієї таблиці будується ступінчастий (диференційний) графік погодинного споживання міста (рис. 2.2).

Таблиця 2.1 - Годинні витрати води

Години доби	Загальне водоспоживання	
	%	м ³
1	2	3
0...1	3,2	2560
1...2	3,25	2600
2...3	2,9	2320
3...4	2,9	2320
4...5	3,35	2680
5...6	3,75	3000
6...7	4,15	3320
7...8	4,65	3720
8...9	5,05	4040
9...10	5,4	4320
10...11	4,85	3880
11...12	4,6	3680
12...13	4,5	3600

1	2	3
13...14	4,3	3440
14...15	4,4	3520
15...16	4,55	3640
16...17	4,5	3600
17...18	4,25	3400
18...19	4,45	3560
19...20	4,4	3520
20...21	4,4	3520
21...22	4,5	3600
22...23	4,2	3360
23...24	3,5	2800
Всього	100	80000

2.4. Режиму роботи насосної станції II підйому

За графіком сумарного водоспоживання вибрано число ступенів роботи та їх продуктивність. При виборі ступенів роботи дотримано виконання умови:

$$\sum Q_i \cdot T_i = 100\% \quad (2.2)$$

де n – число ступенів роботи насосної станції;

Q_i, T_i - відповідно продуктивність та час роботи i – го ступеня.

$$3,62 \cdot 7 + 4,54 \cdot 17 = 100\%$$

Згідно з наміченою продуктивністю ступенів насосної станції визначено подачу одного насосного агрегату. Якщо продуктивність першого ступеня забезпечується двома насосами, то при другому ступені паралельно двом працюючим насосам підключається такий же третій. В цьому випадку подача одного насосу з урахуванням її зниження при паралельній роботі агрегатів визначається за формулою:

$$Q_H = (0,55 \dots 0,6) \cdot Q_1 \quad (2.3)$$

де Q_1 - продуктивність найменшого ступеня насосної станції.

$$Q_H = 0,55 \cdot 3,26 = 1,793 \text{ від } Q_{\text{доб.макс}} = 1434 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Орієнтовно напір насосів визначено за формулою:

$$H_n = \Pi_i - Z_n + H_3 \quad (2.4)$$

де Π_i - розрахункова п'єзометрична позначка в невіддільній точці;
 Z_n - позначка осі насосів, приймаємо на 2 м нижче позначки землі;
 H_3 - запас на витрати напору в мережі та водоводах, м.

П'єзометричну позначку в точці, яка розглядається, визначаємо за формулою:

$$\Pi_i = Z_i + H_{i, \text{віль.}}, \quad (2.5)$$

де Z_i - відмітка поверхні землі в i - й точці;
 $H_{i, \text{віль.}}$ - потрібний вільний напір в i - й точці.

$$\Pi_i = 50 + 42 = 92 \text{ м};$$

$$H_n = 92 - 48 + 30 = 74 \text{ м.}$$

За наявними значеннями Q_n та H_n перевіряємо наявність потрібних насосів у каталозі насосів.

Отже, за знайденими значеннями $H_n = 74$ м, а $Q_n = 1434$ м³/ч може підходити насос Д 1250 - 65 який має такі характеристики: подача 1250 м³/ч, напір 78 м, частота обертання робочого колеса 1450 об/хв. Продуктивність першого ступеня забезпечується двома насосами, а при другому ступені паралельно двом працюючим насосам підключається такий же третій.

2.5. Стисла характеристика вихідних схем мереж

Розглянуто три схеми водопровідних мереж: схема № 1, в якій водоводт підключені на початку мережі та дві схеми № 2 і №3, в яких живлення здійснюється через вузол у центральній частині мережі, схеми №2 та №3 мають різну конфігурацію мереж, різну кількість додаткових ліній розподілу води до найвіддаленіших ділянок мережі (Рис.).

Мережа за схемою № 1 відповідає структурі мереж з подачею води у початок мережі: що водоводи підключені від насосної станції П підйому і з'єднані з мережею найкоротшим шляхом. Вода підводиться до однієї з сторін водопровідної мережі, тоді як у протилежній стороні знаходиться невіддільна

точка (при рівному рельєфі місцевості). Згідно із схемою вода розподіляється по головним магістралям і надходить до споживача який знаходиться в невідповідній точці згідно з поступовим розбором води іншими споживачами. Отже, споживачі, який розташовані поблизу невідповідної точки, будуть відчувати нестачу води при можливих аварійних випадках на попередніх ділянках мережі.

В мережі за схемою № 2 точка подачі води знаходиться в центральній частині мережі. Це забезпечує рівномірний розподіл води в усіх напрямках. Центральне кільце має чотири основні магістралі по яким вода розділяється на рівні частини і подається далі в мережу. Збільшена загальна довжина водоводів але шлях від точки подачі до водопровідної мережі значно скорочений. Схема №2 відрізняється симетричною конфігурацією.

В мережі за схемою № 3 на відміну від схеми № 2 збільшена кількість додаткових ліній розподілу води. Ці додаткові лінії подають воду безпосередньо до невідповідних точок мережі. Отже, у випадку аварійної ситуації зменшується відстань руху води до невідповідної точки. При розрахунках водопровідної мережі № 2 спостерігались великі втрати напору через збільшення шляху води до невідповідної точки, тому прийнято рішення про добудову до невідповідної точки додаткової лінії мережі. Так як мережа симетрична, то невідповідних точок не одна, а чотири. Додаткових ділянок мережі теж чотири для даної схеми.

2.6. Початковий потікорозподіл

При визначенні вузлових витрат водопровідної мережі враховано значення повної витрати води, яка відбирається з мережі при максимальному водоспоживанні. Загальна витрата умовно рівномірно розподіляється між вузлами мережі.

Вузлові витрати визначено за формулою:

$$Q_{\text{вуз}} = Q/n \quad (2.6)$$

де n – кількість вузлів.

Кожна з вузлових витрат становить 75 л/с, а для п'ятого вузла – 75,1 л/с. Для розглядаємих водопровідних мереж загальну витрату розділено на рівні частини для всіх вузлів через однакові довжини всіх ділянок.

Попереднє визначення витрати на кожній ділянці визначено з урахуванням вузлових витрат при дотриманні умови (2.7).

$$\sum q_{i-k} - Q_{\text{вуз}} = 0, \quad (2.7)$$

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.

Щоб визначити діаметри ділянок водопровідної мережі прийнято значення економічного фактору $E = 0,75$.

2.7. Вихідні розрахункові схеми мереж

На розрахункових схемах №1, 2 і 3 для режиму максимального водоспоживання вказано номери вузлів, номери кілець, номери ділянок, вузлові та зосереджені витрати, напрямки руху води, вихідні розрахункові витрати ділянок, довжину ділянки, діаметри трубопроводів. Вихідні розрахункові схеми мереж розроблено також для різних аварійних випадків (Додатки А, Б, В).

Для и водопровідної мережі за схемою № 1 характерним є довгий шлях від водоводів до невідгідної точки мережі. Особливістю схем № 2 та № 3 є зменшений шлях руху води від водоводів до невідгідної точки водопровідної мережі за рахунок зміни точки подачі води до центру. Для мереж № 2 та № 3 використано менші за діаметрами трубопроводи, ніж для мережі за схемою №1: непотрібно транспортувати великі обсяги води через усю мережу. Для мережі № 2 частіше всього використовуються труби діаметром 200 мм, а для мережі № 3 – 150 мм. Для даних мереж на магістральних лініях типовими являються трубопроводи діаметрами 350 мм та 300 мм. Схеми мереж № 2 та № 3 подібні, але відрізняються кількістю ліній для розподілу води всередині мережі. Для мережі № 3 використано менші діаметри трубопроводів через наявність додаткових ліній водопровідних мереж, які з'єднані з невідгідними

точками мережі. Для традиційної мережі (схема № 1) найчастіше використано трубопроводи діаметрами 400 мм, 350 мм та 300 мм.

2.8. Гідравлічні розрахунки мереж

Виконані гідравлічні розрахунки для режиму максимального водоспоживання та аварійних ситуацій. Розрахунки виконано за допомогою програми “Гідраст 1”. Для гідравлічних розрахунків вихідні данні готуються у вигляді файла даних з дотриманням форматів (Додатки А, Б, В).

На схемах мереж вказано номери вузлів, номери кілець, номери ділянок, вузлові та зосереджені витрати, напрямки руху води, вихідні розрахункові витрати ділянок, довжину ділянки, діаметри трубопроводів, втрати напору та швидкість руху води в трубопроводах. Позначено п’єзометричні позначки, позначки місцевості та вільний напір в кожному вузлі.

Розроблено схеми мереж для режиму максимального водоспоживання (рис.) та різноманітних аварійних випадків для схем № 1 - № 3 (Додатки А, Б, В).

Після оформлення схем перевірено додержання умов ув’язки мережі (2.7) і виявлено що ця умова виконується.

Втрати напору для схеми мережі № 1 коливаються в межах від 2,49 до 7,26 м для магістралей для випадку максимального водоспоживання. При аварійних ситуаціях на різних ділянках цієї водопровідної мережі втрати напору зростають. Якщо аварія відбулась на магістральних ділянках мережі які з’єднані з водоводами і мають найбільші діаметри серед усієї мережі (пропускають основну кількість води в мережу), то втрати напору на прилеглих ділянках зростають до 10 - 20 м на кожній (більше на 5 – 15 м ніж при нормальних умовах роботи). Якщо аварія відбулась на магістральній лінії з середнім діаметром по мережі, то відбувається підвищення втрат напору на суміжних ділянках мережі з 5 м до 8 м. Якщо аварія сталась на перемичці, то втрати напору майже не змінюються або не зростають зовсім.

Аналізуючи втрати напору для мережі № 2 можна відзначити що вони більші, ніж для ділянок з такою самою довжиною мережі № 1 при режимі максимального водоспоживання. Втрати напору при цьому досягають 8 – 11 м. При аварійних ситуаціях на ділянках, які сполучені з водоводами, на прилеглих до них ділянках втрати напору збільшуються не набагато - на 3 м. При аваріях на ділянках з діаметрами 350 мм та 300 мм втрати напору зростають на прилеглих до аварійної ділянках з 8 м до 18 – 19 м. При тій же ситуації на прилеглий ділянці до невідгідної точки діаметром 150 мм втрати напору складають 70 м. Таке явище можна пояснити тим, що ділянка з діаметром 150 мм при аварійній ситуації не здатна пропустити достатню кількість води, тобто для ліквідування такої можливої ситуації необхідне збільшення діаметрів для збільшення пропускної спроможності на окремих ділянках мережі. При аварії на ділянках прилеглих до найвіддаленіших від точки подачі вузлів втрати напору збільшуються до 38 м. Це пояснюється невеликою пропускною спроможністю трубопроводу, який при аварії бере на себе функцію подачі усієї кількості води до вузла.

Розглядаючи втрати напору при режимі максимального водоспоживання для мережі № 3 відмічено, що вони дуже схожі з втратами напору для схеми мережі № 2 на аналогічних ділянках. Значення втрат напору відрізняються через введення додаткових розподільчих ліній до структури мережі № 3. При аварії на ділянках які сполучені з водоводами спостерігаємо збільшення втрат напору до 14 м на прилеглих перемичках, в той час як при тій же аварійній ситуації для схеми водопровідної мережі № 2 становлять 3 м. Це явище пояснюється прийнятим меншим діаметром перемичок для водопровідної мережі № 3 на 100 мм за діаметр перемичок на аналогічних ділянках мережі № 2. При аваріях на основних магістралях діаметрами 350 мм та 300 мм спостерігаємо збільшення втрат напорів на ділянках прилеглих до невідгідної точки до 50 - 55 м. Ці показники нижчі, ніж на аналогічних ділянках водопровідної мережі № 2, що можна пояснити зменшенням довжини шляху води до невідгідної точки. При аварійній ситуації на ділянках, прилеглих до

найвіддаленішого від точки подачі вузла втрати напору становлять 20 – 25 м, що менше за показники при аварії на аналогічних ділянках водопровідної мережі № 2 через наявність додаткових розподільчих ліній в мережі.

2.9. Визначення п'єзометричних позначок та вільних напорів у вузлах мереж

Для невідгідної точки необхідний п'єзометричний напір повинен становити:

$$P_{\text{необх.}i} = H_{\text{вільн.необх.}i} + Z_i, \quad (2.8)$$

де $H_{\text{вільн.необх.}i}$ – вільний напір, необхідний в i – й точці, 42 м за завданням.

$$P_{\text{необх.}} = 42,00 + 50 = 92,00 \text{ м.}$$

Для мережі № 1 при режимі максимального водоспоживання невідгідними точками можуть бути найвіддаленіші від точки подачі води в мережу - № 4 або № 16.

Визначаємо п'єзометричні позначки $P_{l(i)}$ у точці підключення водоводів, необхідні для одержання відповідних п'єзометричних позначок у точках, які розглядаються:

$$P_{l(i)} = P_{\text{необх.}i} + \sum h_{l-i}, \quad (2.9)$$

де $\sum h_{l-i}$ – алгебраїчна сума витрат напору від точки підключення водоводів до i – ї точки.

$$P_{(4)} = 92 + 19,97 = 111,97 \text{ м;}$$

$$P_{(16)} = 92 + 17,10 = 109,10 \text{ м.}$$

$$P_{(4)} > P_{(16)},$$

тому за невідгідну точку прийнята точка № 4.

Аналогічно визначаємо невідгідні точки для аварійних випадків. При аваріях на ділянках 6 – 2, 10 – 6, 1 – 2, 5 – 6, 5 – 1, 2 – 3, 6 – 7 невідгідною є точка № 4. При аваріях на ділянках 10 – 11, 14 – 15, 10 – 14, 9 – 13, 9 – 10, 13 – 14 невідгідною є точка № 16 (Додатки А, Б, В).

Для мережі № 2 при режимі максимального водоспоживання невідгідними точками можуть бути найвіддаленіші від точки подачі води в мережу - № 1, № 4, № 13 або № 16.

$$П_{(1)} = 92 + 20,45 = 112,45 \text{ м};$$

$$П_{(4)} = 92 + 20,45 = 112,45 \text{ м};$$

$$П_{(13)} = 92 + 20,45 = 112,45 \text{ м};$$

$$П_{(16)} = 92 + 20,45 = 112,45 \text{ м}.$$

$$П_{(1)} = П_{(4)} = П_{(13)} = П_{(16)},$$

тому усі ці точки є невідгідними через симетричність мережі № 2.

Аналогічно визначаємо невідгідні точки для аварійних випадків. При аваріях на ділянках 17 – 6, 2 – 1, 5 – 1, 10 – 6, 9 – 5 невідгідною є точка № 1. При аваріях на ділянках 14 – 15, 9 – 13, 13 – 14, 17 – 10 невідгідною є точка № 13. При аварії на ділянці 2 – 3 невідгідною є точка № 4. При аварії на ділянці 6 – 2 невідгідною є точка № 2, на ділянці 10 – 14 - точка № 14, на ділянці 6 – 5 - точка № 5 і на ділянці 10 – 9 - точка № 9 (Додатки А, Б, В).

Для мережі № 3 при режимі максимального водоспоживання невідгідними точками можуть бути найвіддаленіші від точки подачі води в мережу - № 1, № 4, № 13 або № 16.

$$П_{(1)} = 92 + 18,92 = 110,92 \text{ м};$$

$$П_{(4)} = 92 + 15,19 = 107,19 \text{ м};$$

$$П_{(13)} = 92 + 18,88 = 110,88 \text{ м};$$

$$П_{(16)} = 92 + 18,87 = 110,87 \text{ м}.$$

$$П_{(1)} > П_{(4)}; П_{(1)} > П_{(13)}, П_{(1)} > П_{(16)}.$$

тому за невідгідну точку прийнята точка № 1.

Аналогічно визначаємо невідгідні точки для аварійних випадків. При аваріях на ділянках 2 – 1, 5 – 1, 10 – 6, 9 – 5, 17 – 6, 6 – 1 невідгідною є точка № 1. При аваріях на ділянках 14 – 15, 9 – 13, 13 – 14, 17 – 10, 10 – 13 невідгідною є точка № 13. При аварії на ділянці 2 – 3 невідгідною є точка № 16. При аварії на ділянці 6 – 2 невідгідною є точка № 2, на ділянці 10 – 14 - точка № 14, на ділянці 6 – 5 - точка № 5 і на ділянці 10 – 9 - точка № 9 (Додатки А, Б, В).

2.10. Розрахунок водогонів та визначення висоти стволу водонапірної башти

Для розрахунку водогонів від насосної станції II підйому до мережі вибрано сталеві водогони з діаметрами 600 мм, які прийняті за величиною економічного фактору $E = 0,75$.

Визначено для всіх режимів витрату напору в водоводах за формулою:

$$h_{вб} = 1.15 \cdot \delta \cdot S_0 \cdot l \cdot q_{вр}^2, \quad (2.10)$$

де $q_{вр}^2$, $i_{вр}$ – відповідно витрата та питомі втрати напору у водогонах;

δ – виправний коефіцієнт до значень S_0 для сталевих або чавунних водопровідних труб;

S_0 – розрахункове значення питомого опору для сталевих водопровідних труб;

l – довжина ділянки.

Розраховано характеристику для водоводів від насосної станції II підйому до мережі за формулою:

$$H_{нк} = H_{гк} + h_{вб}, \quad (2.11)$$

де $H_{нк}$ – повна витрата при n – й витраті для k – го режиму;

$H_{гк}$ – геометрична висота підйому при k – му режимі,

$$H_{гк} = \Pi_k - Z, \quad (2.12)$$

де Π_k – п'єзометрична позначка у точці підключення водоводів до мережі k – го режиму;

Z – позначка найнижчого рівня води у джерелі або резервуарі, приймаємо на 3 м нижче позначки осі насосів.

Значення показників для водогонів від насосної станції II підйому до мережі (мережа № 1): $Q = 0,5045 \text{ м}^3/\text{с}$; $d = 600 \text{ мм}$; $V = 1,79 \text{ м/с}$; $A = 0,02262$; $\delta = 0,958$; $l = 5000 \text{ м}$; $h_{вб} = 29,79 \text{ м}$.

Значення показників для водогонів від насосної станції II підйому до мережі (мережа № 2 та № 3): $Q = 0,5045 \text{ м}^3/\text{с}$; $d = 600 \text{ мм}$; $V = 1,79 \text{ м/с}$; $A = 0,02262$; $\delta = 0,958$; $l = 6200 \text{ м}$; $h_{вб} = 29,79 \text{ м}$.

Розрахунок характеристики водоводів зводимо у таблицю 2.2 для нормальних умов роботи мережі, у таблиці 2.3 – 2.5 для аварійних умов. За даними таблиць 2.2 – 2.5 будемо графічні залежності виду $H = f(q_{пк})$ (Рис.).

Таблиця 2.2 – Розрахунок характеристики водоводів при режимі максимального водоспоживання для мереж № 1, № 2 та № 3

№ мережі	Показник	Значення показників для $q_{пк}$					
		0	0,25 Q_B	0,5 Q_B	0,75 Q_B	Q_B	1,25 Q_B
1, 2, 3	Q	0	0,1261	0,2523	0,3784	0,5045	0,6306
	V, м/с	0	0,45	0,90	1,34	1,79	2,24
	δ	0	1,192	1,021	0,946	0,958	0,869
1	$H_{пр}$	0	1,86	7,45	16,76	29,79	46,55
	$H_{г.макс}$	66,97					
	$H_{п.макс.}$	66,97	68,83	74,42	83,73	96,76	113,52
2	$H_{пр}$	0	2,31	9,24	20,78	36,94	57,73
	$H_{г.макс}$	67,45					
	$H_{п.макс.}$	67,45	69,76	76,69	88,23	104,39	125,18
3	$H_{пр}$	0	2,31	9,24	20,78	36,94	57,73
	$H_{г.макс}$	82,49					
	$H_{п.макс.}$	82,49	84,80	91,73	103,27	119,43	140,22

Таблиця 2.3 – Розрахунок характеристики водоводів при аварійних ситуаціях для мережі № 1

№ аварійної ділянки	Показник	Значення показників для $q_{ПК}$					
		0	0,25 Q_B	0,5 Q_B	0,75 Q_B	Q_B	1,25 Q_B
1	2	3	4	5	6	7	8
	Q	0	0,1261	0,2523	0,3784	0,5045	0,6306
	V, м/с	0	0,45	0,90	1,34	1,79	2,24
	δ	0	1,192	1,021	0,946	0,958	0,869
	$H_{пр}$	0	1,86	7,45	16,76	29,79	46,55
5-1	$H_{г.макс}$	72,74					
	$H_{п.макс.}$	72,74	74,60	80,19	89,50	102,53	119,29
9-13	$H_{г.макс}$	70,37					
	$H_{п.макс.}$	70,37	72,23	77,82	87,13	100,16	116,92
1-2	$H_{г.макс}$	69,37					
	$H_{п.макс.}$	69,37	71,23	76,82	86,13	99,16	115,92
5-6	$H_{г.макс}$	90,13					
	$H_{п.макс.}$	90,13	91,99	97,58	106,89	119,92	136,68
9-10	$H_{г.макс}$	84,27					
	$H_{п.макс.}$	84,27	86,13	91,72	101,03	114,06	130,82
13-14	$H_{г.макс}$	68,10					
	$H_{п.макс.}$	68,10	69,96	75,55	84,86	97,89	114,65
2-3	$H_{г.макс}$	76,27					
	$H_{п.макс.}$	76,27	78,13	83,72	93,03	106,06	122,82
6-7	$H_{г.макс}$	72,67					
	$H_{п.макс.}$	72,67	74,53	80,12	89,43	102,46	119,22
10-11	$H_{г.макс}$	77,47					
	$H_{п.макс.}$	77,47	79,33	84,92	94,23	107,26	124,02
14-15	$H_{г.макс}$	76,44					
	$H_{п.макс.}$	76,44	78,30	83,89	93,20	106,23	122,99
6-2	$H_{г.макс}$	70,18					
	$H_{п.макс.}$	70,18	72,04	77,63	86,94	99,97	116,73

1	2	3	4	5	6	7	8
10-6	$H_{г.макс}$	66,99					
	$H_{п.макс.}$	66,99	68,85	74,44	83,75	96,78	113,54
10-14	$H_{г.макс}$	68,94					
	$H_{п.макс.}$	68,94	70,80	76,39	85,70	98,73	115,49

Таблиця 2.4 – Розрахунок характеристики водоводів при аварійних ситуаціях для мережі № 2

№ аварійної ділянки	Показник	Значення показників для $q_{ПК}$					
		0	0,25 Q_B	0,5 Q_B	0,75 Q_B	Q_B	1,25 Q_B
1	2	3	4	5	6	7	8
	Q	0	0,1261	0,2523	0,3784	0,5045	0,6306
	$V, м/с$	0	0,45	0,90	1,34	1,79	2,24
	δ	0	1,192	1,021	0,946	0,958	0,869
	$H_{пр}$	0	2,31	9,24	20,78	36,94	57,73
2-1	$H_{г.макс}$	103,53					
	$H_{п.макс.}$	103,53	105,84	112,77	124,31	140,47	161,26
5-1	$H_{г.макс}$	97,33					
	$H_{п.макс.}$	97,33	99,64	106,57	118,11	134,27	155,06
14-13	$H_{г.макс}$	97,34					
	$H_{п.макс.}$	97,34	99,65	106,58	118,12	134,28	155,07
9-13	$H_{г.макс}$	103,51					
	$H_{п.макс.}$	103,51	105,82	112,75	124,29	140,45	161,24
6-5	$H_{г.макс}$	137,83					
	$H_{п.макс.}$	137,83	140,14	147,07	158,61	174,77	195,56
10-9	$H_{г.макс}$	146,82					
	$H_{п.макс.}$	146,82	149,13	156,06	167,60	183,76	204,55
2-3	$H_{г.макс}$	68,22					
	$H_{п.макс.}$	68,22	70,53	77,46	89,00	105,16	125,95
15-14	$H_{г.макс}$	68,22					

	$H_{п.макс.}$	68,22	70,53	77,46	89,00	105,16	125,95
10-6	$H_{г.макс}$	67,47					
	$H_{п.макс.}$	67,47	69,78	76,71	88,25	104,41	125,20
9-5	$H_{г.макс}$	68,23					
	$H_{п.макс.}$	68,23	70,54	77,47	89,01	105,17	125,96
17-6	$H_{г.макс}$	73,4					
	$H_{п.макс.}$	73,4	75,71	82,64	94,18	110,34	131,13
17-10	$H_{г.макс}$	73,51					
	$H_{п.макс.}$	73,51	75,82	82,75	94,29	110,45	131,24
6-2	$H_{г.макс}$	146,81					
	$H_{п.макс.}$	146,81	149,12	156,05	167,59	183,75	204,54
10-14	$H_{г.макс}$	137,75					
	$H_{п.макс.}$	137,75	140,06	146,99	158,53	174,69	195,48

Таблиця 2.5 – Розрахунок характеристики водоводів при аварійних ситуаціях для мережі № 3

№ аварійної ділянки	Показник	Значення показників для $q_{пк}$					
		0	0,25 Q_B	0,5 Q_B	0,75 Q_B	Q_B	1,25 Q_B
1	2	3	4	5	6	7	8
	Q	0	0,1261	0,2523	0,3784	0,5045	0,6306
	$V, м/с$	0	0,45	0,90	1,34	1,79	2,24
	δ	0	1,192	1,021	0,946	0,958	0,869
	$H_{пр}$	0	2,31	9,24	20,78	36,94	57,73
6-1	$H_{г.макс}$	102,7					
	$H_{п.макс.}$	102,7	105,01	111,94	123,48	139,64	160,43
10-13	$H_{г.макс}$	102,6					
	$H_{п.макс.}$	102,6	104,91	111,84	123,38	139,54	160,33
2-3	$H_{г.макс}$	65,88					
	$H_{п.макс.}$	65,88	68,19	75,12	86,66	102,82	123,61
15-14	$H_{г.макс}$	66,2					
	$H_{п.макс.}$	66,2	68,51	75,44	86,98	103,14	123,93

6-2	$H_{г.макс}$	119,21					
	$H_{п.макс.}$	119,21	121,52	128,45	139,99	156,15	176,94
10-14	$H_{г.макс}$	114,78					
	$H_{п.макс.}$	114,78	117,09	124,02	135,56	151,72	172,51
2-1	$H_{г.макс}$	76,15					
	$H_{п.макс.}$	76,15	78,46	85,39	96,93	113,09	133,88
14-13	$H_{г.макс}$	75,17					
	$H_{п.макс.}$	75,17	77,48	84,41	95,95	112,11	132,90
10-6	$H_{г.макс}$	65,92					
	$H_{п.макс.}$	65,92	68,23	75,16	86,70	102,86	123,65
9-5	$H_{г.макс}$	66,24					
	$H_{п.макс.}$	66,24	68,55	75,48	87,02	103,18	123,97
5-1	$H_{г.макс}$	75,22					
	$H_{п.макс.}$	75,22	77,53	84,46	96,00	112,16	132,95
9-13	$H_{г.макс}$	76,13					
	$H_{п.макс.}$	76,13	78,44	85,37	96,91	113,07	133,86
6-5	$H_{г.макс}$	124,92					
	$H_{п.макс.}$	124,92	127,23	134,16	145,70	161,86	182,65
10-9	$H_{г.макс}$	128,89					
	$H_{п.макс.}$	128,89	131,20	138,13	149,67	165,83	186,62
17-6	$H_{г.макс}$	83,09					
	$H_{п.макс.}$	83,09	85,40	92,33	103,87	120,03	140,82
17-10	$H_{г.макс}$	82,49					
	$H_{п.макс.}$	82,49	84,80	91,73	103,27	119,43	140,22

2.11. Уточнення напору насосів насосної станції II підйому

Для роботи насосів уточнюємо їх напір, орієнтовно визначений раніше, на підставі аналізу сумісних характеристик насосів та водопровідних мереж. Оскільки побудувати характеристику мережі важко через необхідність багатократного її перерахунку, будемо тільки характеристику водоводів, а

режим роботи мережі враховуємо зміненням геометричної висоти підйому. Така методика побудови сумісних характеристик дає невелику помилку при можливих варіаціях напорів та витрат у мережі.

На графіках (Рис. 2.12 – 2.14) відмічаємо робочі точки насосів для всіх випадків розрахунку мереж: напір та подачу всіх ступенів роботи, напір та подачу при усіх аварійних випадках на різних ділянках водопровідних мереж.

За знайденими значеннями для мережі № 1 $H_n = 98,68$ м, $Q_n = 3632$ м³/год підходить насос Д 1250-125 який забезпечує такі характеристики: подача 1008 м³/ч, напір 135 м, частота обертання робочого колеса 1450 об/хв. Кількість робочих насосів три: продуктивність першого ступеня водоспоживання міста забезпечується двома насосами, а при другому ступені паралельно двом працюючим насосам підключається такий же третій. Кількість резервних агрегатів – два.

За знайденими значеннями для мережі № 2 $H_n = 104,39$ м, $Q_n = 3632$ м³/год підходить насос Д 1250-125 який забезпечує такі характеристики: подача 1008 м³/ч, напір 135 м, частота обертання робочого колеса 1450 об/хв. Кількість робочих насосів три: продуктивність першого ступеня водоспоживання міста забезпечується двома насосами, а при другому ступені паралельно двом працюючим насосам підключається такий же третій. Кількість резервних агрегатів – два.

За знайденими значеннями для мережі № 3 $H_n = 102,86$ м, $Q_n = 3632$ м³/год підходить насос Д 1250-125 який забезпечує такі характеристики: подача 1008 м³/ч, напір 135 м, частота обертання робочого колеса 1450 об/хв. Кількість робочих насосів три: продуктивність першого ступеня водоспоживання міста забезпечується двома насосами, а при другому ступені паралельно двом працюючим насосам підключається такий же третій. Кількість резервних агрегатів – два.

Максимальна обточка робочого колеса відцентрового насосу у залежності від його коефіцієнту швидкохідності n_s може прийматися у таких межах:

$$n_s = 60 - 120 \text{ на } 15 - 20 \%$$

$$n_s = 120 - 200 \text{ на } 11 - 13 \%$$

$$n_s = 200 - 300 \text{ на } 7 - 11 \%$$

При коефіцієнті швидкохідності $n_s < 150$ діаметр обточеного колеса насосу може визначатись з виразів:

$$\frac{Q_0}{Q} = \frac{D_0}{D} \quad (2.13)$$

та

$$\frac{H_0}{H} = \left(\frac{D_0}{D}\right)^2 \quad (2.14)$$

де Q, H, D та Q_0, H_0, D_0 – відповідно подача, напір та діаметр робочого колеса до та після обточки.

При коефіцієнті швидкохідності $n_s > 150$ діаметр обточеного колеса насосу може визначатись з виразів:

$$\frac{Q_0}{Q} = \left(\frac{D_0}{D}\right)^2 \quad (2.15)$$

та

$$\frac{H_0}{H} = \left(\frac{D_0}{D}\right)^2 \quad (2.16)$$

Для насосу Д 1250-125 коефіцієнт швидкохідності визначаємо за формулою:

$$n_s = 3,65 \cdot \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

де n - число обертів на хвилину даного насосу;

Q - подача насосу, $\text{м}^3 / \text{с}$;

H – напір насосу, м.

$$n_s = 3,65 \cdot \frac{1450 \cdot \sqrt{0,28}}{135^{3/4}} = 70$$

Тобто, для даного насосу максимальна обточка робочого колеса відцентрового насосу становить 15 – 20 %.

Визначаємо обточку робочого колеса насосу Д 1250-125 для мережі № 1:

$$x = \sqrt{\frac{98,68 / 135 = (x / 625)^2}{135}} = 534 \text{ мм}$$

$$\frac{534 \cdot 100}{625} = 85 \%$$

$$100 - 85 = 15 \%$$

Обточка робочого колеса відцентрового насосу для мережі № 1 становить 15 %, діаметр робочого колеса 534 мм.

Визначаємо обточку робочого колеса насосу Д 1250-125 для мережі № 1:

$$x = \sqrt{\frac{104,39 / 135 = (x / 625)^2}{135}} = 550 \text{ мм}$$

$$\frac{550 \cdot 100}{625} = 88 \%$$

$$100 - 88 = 12 \%$$

Обточка робочого колеса відцентрового насосу для мережі № 2 становить 12 %, діаметр робочого колеса 550 мм.

Визначаємо обточку робочого колеса насосу Д 1250-125 для мережі № 3:

$$x = \sqrt{\frac{102,86 / 135 = (x / 625)^2}{135}} = 546 \text{ мм}$$

$$\frac{546 \cdot 100}{625} = 87 \%$$

$$100 - 87 = 13 \%$$

Обточка робочого колеса відцентрового насосу для мережі № 3 становить 13 %, діаметр робочого колеса 546 мм.

2.12. Розрахунок площ з недостатніми напорами при аварійних режимах

При аварійних режимах роботи мережі п'єзометричні карти розраховані відносно вузла подачі води в мережу, значення напору в якому прийнято за нормальним режимом роботи. Площі зон, які мають недостатні напори при аварійних режимах роботи мережі, визначені з урахуванням розташування вузлів, напір в яких відповідав умові:

$$H_{ai} \leq H_n, \quad (2.17)$$

де H_{ai} – значення вільного напору в і-му вузлі, м; H_n – значення необхідного напору, м.

В таблицях 2.6-2.8 приведені результати розрахунків площі цих зон при аварійних режимах.

Таблиця 2.6 – Площі недостатніх напорів для мережі за схемою № 1

№	№ аварійної ділянки	Площа нестачі, м ²	В % від загальної площі	Загальна площа міста, м ²
1	1-2	50198	0,90	5760000
2	5-1	322196	5,60	
3	5-6	3818799	66,30	
4	9-13	311000	5,40	
5	6-2	179198	3,10	
6	6-7	937196	16,30	
7	9-10	4042179	70,20	
8	2-3	593596	10,30	
9	10-11	2204798	38,30	
10	14-15	702596	12,20	
11	13-14	53598	0,93	
12	10-14	45590	0,80	

Таблиця 2.7 – Площі недостатніх напорів для мережі за схемою № 2

№	№ аварійної ділянки	Площа нестачі, м ²	В % від загальної площі	Загальна площа міста, м ²
1	17-6	198000	3,40	5760000
2	17-10	197389	3,40	
3	10-14	884002	15,40	
4	6-2	998006	17,30	
5	10-9	1061599	18,40	
6	6-5	788598	13,70	
7	9-13	224002	3,90	
8	14-13	168000	2,90	
9	5-1	168000	2,90	
10	2-1	224002	3,90	

Таблиця 2.8 – Площі недостатніх напорів для мережі за схемою № 3

№	№ аварійної ділянки	Площа нестачі, м ²	В % від загальної площі	Загальна площа міста, м ²
1	17-6	1246004	21,60	5760000
2	17-10	1059202	18,40	
3	10-13	186002	3,20	
4	6-1	192002	3,30	
5	10-14	530802	9,20	
6	6-2	627802	10,92	
7	10-9	841202	14,60	
8	6-5	661402	11,50	
9	9-13	117404	2,02	
10	14-13	95202	1,70	
11	5-1	101402	1,80	
12	2-1	120602	2,10	

Аналіз результатів розрахунків, представлених в таблицях 2.6-2.8 показав, що найбільші зони недостатніх напорів утворюються при аварійних режимах роботи мережі за схемою № 1. В мережі за схемою № 2 розмір цих зон значно менше, найбільша площа з недостатніми напорами становить 18,40 % при аварії на ділянці 10-9. Це пояснюється тим, що ця ділянка мережі має більший діаметр, ніж паралельна їй 6-5, вихід з ладу якої приводить до утворення зони з площею 13,70 % від загальної. Аналіз зон недостатніх напорів для мережі за схемою № 3 показав, що найбільший відсоток надостатніх напорів в ній становить 21,60%. Це більше, ніж для мережі за схемою № 2, пояснюється меншим діаметром труб, які використовуються як перемички при аварії на ділянці 17-6. Ці перемички мають діаметр 400 мм в мережі № 2 і 300 мм в мережі № 3. При аналогічній аварії на ділянці 17-6 мережі № 2 площа з недостатніми напорами становить лише 3,44 %. Вирішити проблему для схеми мережі № 3 можна збільшивши діаметр перемичок. З аналізу площ з недостатніми напорами для мережі № 2 видно що при аварії на аналогічній ділянці (10 - 9) мережі № 3 площа з недостатніми напорами становить 14,60 %. Це пояснюється конструкцією мережі № 3 і введенням додаткової перемички, яка і зменшила площу з недостатніми напорами. Зменшення є незначним і становить 3,80 % або 220608 м². Таким чином, аналіз результатів розрахунку площі зон з недостатнім напором показав, що найменші зони слід очікувати в мережі за схемою № 3.

2.13. Визначення подач води в мережу

Враховуючи аналіз сумісних характеристик роботи насосів і водоводів визначено зниження подачі води при аварійних режимах роботи. Отримані дані приведені в таблицях 2.9 - 2.11. На сумісній характеристиці насосів і водоводів при аварійних випадках на деяких ділянках мережі виникає ситуація, коли характеристика водоводів не перетинається з характеристикою насосів, а

знаходиться вище неї. Для таких ситуацій характеристика водоводів знижена до позначки стабільної роботи насосів і визначено подачу води.

Таблиця 2.9 – Визначення подачі води у водопровідну мережу за схемою № 1 при аварійних режимах роботи

№	№ аварійної ділянки	Подача, м ³ /год	В % від необхідної подачі	Необхідна подача на другому ступені
1	10-11	3227	88,90	3632
2	14-15	3266	89,90	
3	6-7	3422	94,20	
4	6-2	3516	96,80	
5	10-14	3563	98,10	
6	5-6	2570	70,80	
7	9-10	2906	80,00	
8	2-3	3281	90,30	
9	5-1	3422	94,20	
10	9-13	3516	96,80	
11	1-2	3547	97,70	
12	13-14	3594	99,00	

Таблиця 2.10 – Визначення подач води в водопровідну мережу № 2 при різних аварійних випадках

№	№ аварійної ділянки	Подача, м ³ /год	В % від необхідної подачі	Необхідна подача на другому ступені
1	2-1	2000	55,10	3632
2	9-13	2000	55,10	
3	5-1	2407	66,30	
4	14-13	2407	66,30	
5	17-6	3443	94,80	

продовження табл. 2.10

№	№ аварійної ділянки	Подача, м ³ /год	В % від необхідної подачі	Необхідна подача на другому ступені
6	17-10	3443	94,80	
7	2-3	3607	99,30	
8	15-14	3607	99,30	
9	9-5	3607	99,30	
10	10-9	2360	65,00	
11	6-5	2360	65,00	
12	6-2	2360	65,00	
13	10-14	2360	65,00	

Таблиця 2.11 – Визначення подач води в водопровідну мережу № 3 при різних аварійних випадках

№	№ аварійної ділянки	Подача, м ³ /год	В % від необхідної подачі	Необхідна подача на другому ступені
1	6-1	1345	37,00	3632
2	10-13	1345	37,00	
3	17-6	2926	80,60	
4	17-10	2953	81,30	
5	2-1	3237	89,10	
6	9-13	3237	89,10	
7	5-1	3277	89,10	
8	14-13	3277	89,10	
9	15-14	3622	99,70	
10	9-5	3622	99,70	
11	10-9	2240	61,70	
12	6-5	2240	61,70	
13	6-2	2240	61,70	
14	10-14	2240	61,70	

Аналізуючи результати зміни подачі води при аваріях на різних ділянках для мережі за схемою № 1 встановлено залежність зміни подачі води в мережу від розташування трубопроводів: чим ближче знаходиться трубопровід до водогонів, тим його роль для подачі води в мережу більша. Крім того, на подачу води впливає діаметр трубопроводу: чим більшого діаметру трубопровід вийшов з ладу, тим меншу кількість води отримують споживачі.

Для мережі за схемою № 1 найбільше зниження подач води при аварійних ситуаціях є при аварії на головних магістралях мережі, які з'єднані з водоводами (це ділянки 5 – 6, 9 – 10). Відбувається зменшення подач води при аварії на ділянках 10 – 11, 14 – 15, 2 – 3, 5 – 1, тому що вони є основними магістралями. При руйнуванні ділянок 6 – 2 та 10 – 14 зниження подач води майже не відбувається. При аварії на головних магістралях водопровідної мережі за схемою № 2, які сполучені з водоводами (17 – 6, 17 – 10) зменшення подач води відбувається, але воно значно менше ніж при аналогічних аварійних ситуаціях для головних магістралей водопровідної мережі за схемою № 1. Це пояснюється тим, що в структурі водопровідної мережі за схемою № 2 основний потік ділиться на чотири частини, тоді як в мережі за схемою №1 – на два. На діаграмі подач води при аварійних ситуаціях для водопровідної мережі за схемою № 3 на ділянках 17 – 6, 17 – 10 подача води в мережу менша, ніж при аналогічних умовах для мережі за схемою № 2. Це пояснюється тим, що в схемі водопровідної мережі за схемою № 3 діаметр перемичок менший, ніж в мережі № 2, що призводить до більшого зростання втрат напору в мережі за рахунок перерозподілу потоків в ній при аварії. Для мереж за схемами № 2 та № 3 при аварійних ситуаціях на ділянках 10 – 9, 6 – 5, 6 – 2, 10 – 14 подача води в мережу значно знижується, тому що при аварії на даних ділянках потоки води перерозподіляються на сусідні, діаметри яких при аварії не спроможні пропускати більшу кількість води через значне зростання втрат напору в них.

Розділ 3

Охорона праці та техногенна безпека

В магістерській роботі досліджується вплив структури водопровідної мережі на розподіл вузлових напорів. Розрахунок гідравлічних, техніко-економічних показників виконання графічної частини роботи виконується з використанням програм ГІДРАСТ 3, КОМПАС- 3D V10. Всі оформлені данні вносяться в документ Microsoft Word при роботі на комп'ютері, в аудиторії Л112.

3.1 Характеристика потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

При роботі з комп'ютером виконавці піддаються в основному впливу фізичних, психофізіологічних небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

Електромагнітні поля біля комп'ютера (особливо низькочастотні) негативно впливають на людину і в першу чергу на її центральну нервову систему, викликаючи головний біль, запаморочення, нудоту, депресію, безсоння, відсутність апетиту, виникнення синдрому стресу. Причому нервова система реагує навіть на короткі за тривалістю впливи слабких полів: змінюється гормональний стан організму, порушуються біоструми мозку. Це призводить до погіршення зору, ускладненню серцево-судинних захворювань, зниженню імунітету, виникають негативні впливи на плин вагітності.

Характерною рисою роботи з ПК є статичний режим роботи: великий обсяг праці треба виконувати в сидячому положенні. При цьому більшість груп м'язів постійно напружені, що призводить до швидкої стомлюваності, сприяє розвитку фахових патологічних вигинів хребта: грудному гіперкифозу, сплюсненню шийного лордозу і формуванню сколіозів. Неправильне розташування дисплеїв по висоті - занадто низьке або високе, під неправильним кутом - є головною причиною появи сутулості. Занадто високе розташування

дисплея призводить до тривалої напруги шийного відділу хребта, що, зрештою, може призвести до розвитку остеохондрозу. Ненормальний стан хребта може стати причиною захворювання всього організму.

При тривалій та інтенсивній роботі за комп'ютером з'являється синдром комп'ютерного стресу (СКС), який проявляється головною білью, запаленням очей, алергією, дратівливістю, млявістю і депресією, погіршенням зосередженості і працездатності.

Також на організм людини яка працює за комп'ютером впливають такі фізичні чинники:

Мікроклімат. Обчислювальна техніка є джерелом істотних тепловиділень, що може привести до підвищення температури і зниження відносної вологості в приміщенні. У приміщеннях, де встановлені комп'ютери, повинні дотримуватися певні параметри мікроклімату. Ці норми встановлюються залежно від пори року, характеру трудового процесу і характеру виробничого приміщення.

Шум погіршує умови праці, надаючи шкідливу дію на організм людини. Працюючі в умовах тривалої шумової дії випробовують дратівливість, головні болі, запаморочення, зниження пам'яті, підвищену стомлюваність, пониження апетиту, болі у вухах і т.д. Такі порушення в роботі ряду органів і систем організму людини можуть викликати негативні зміни в емоційному стані людини аж до стресових. Під впливом шуму знижується концентрація уваги, порушуються фізіологічні функції, з'являється утомленість у зв'язку з підвищеними енергетичними витратами і нервово-психічною напругою, погіршується мовна комутація. Головні небезпеки[27]:

- підвищена температура через постійний нагрів деталей ПК, знижена вологість, знижена або підвищена рухливість повітря;
- підвищений рівень запыленої і загазованості повітря;
- підвищений або знижений рівень освітленості, підвищена яскравість, пульсація світлового потоку;

- порушення норм аероіонного складу повітря (концентрація корисних для організму негативно заряджених іонів кисню часто нижча за норму в 10 - 50 разів, а шкідливих позитивних значно перевищує норму);
- підвищений рівень напруги в електричних ланцюгах живлення і управління ПК, який може привести до електротравми оператора за відсутності заземлення або занулення устаткування (джерело - змінний струм промислової частоти 50 Гц напругою 220 В для живлення комп'ютера; струми високої частоти напругою до 12000 В систем живлення вузлів дисплея);
- наявність змінного електромагнітного поля низької частоти 15 - 110 кГц, яке генерують численні котушки усередині монітора (котушки рядкової і кадрової розгортки, силових трансформаторів і котушки корекції), а також інші електроустановки поза ПК, силові кабелі, особливо за відсутності заземлення або занулення устаткування;
- підвищений рівень напруженості електростатичного поля, яке з'являється навколо монітора унаслідок високої напруги в електронно-променевої трубці. Електростатичний потенціал, що виникає в тілі користувача під час роботи за монітором, може досягти декількох кіловольт, що приводить до осадження заряджених частинок пилу на шкірі і в легенях.

Таблиця 3.1 – Оцінка чинників виробничого і трудового процесу

№	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ 1 клас безпеки озон 2 клас безпеки фенол 3-4 класи безпеки оксид вуглецю	0,1 0,3 20	0,1 0,3 10				90
2	Пил, переважно фіброгенної дії, мг/м ³	4	4				90

3	Вібрація (загальна і локальна), дБ	Відсутня	Відсутня				
4	Шум, дБА	50	50				90
5	Інфразвук, дБ	Відсутн.	Відсутн.				
6	Ультразвук, дБ	Відсутн.	Відсутн.				
7	Неіонізуючі випромінювання: -радіочастотний діапазон, в/м	25	25				90
	-діапазон промислової частоти, кв/м	0,5	0,5				
	-оптичний діапазон (лазерне випромінювання), Вт/м ²	10	10				
8	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С	23-25	23-25				90
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,1				
	-відносна вологість повітря %	60-40	60-40				
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	0,1	0,1				
9*	Категорія важкості і напруженість праці	1а – легка робота, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження, при яких витрати енергії складають до 139 Вт					
10	Загальна оцінка умов праці						

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

Зниження і усунення вищеперелічених небезпечних і шкідливих виробничих чинників при роботі на ПК цілком можна досягти. Для цього необхідно дотримувати вимоги нормативних документів, що регламентують умови праці на ПЕВМ.

Вимоги до моніторів[27]:

- монітор є однією з найважливіших частин ПК з погляду впливу на здоров'я користувача.
- вживані на робочих місцях монітори повинні відповідати вимогам міжнародних нормативів безпеки (MRP II, TCO92, TCO95, TCO99, TCO03) і вітчизняним стандартам і санітарним нормам .

Ця відповідність повинна бути вказане в сертифікаті і паспорті кожного монітора. Основним значенням стандартів є обмеження рівнів полів до безпечних в зоні далі 50 см (MRP II) або 30 см від поверхні екрану монітора (TCO92 і подальші стандарти). Істотні поправки до TCO99 описані TCO03:

змінювалося значення максимальної яскравості для моніторів (150 кд/м², при допустимих раніше 125 кд/м²), а також вимоги перевірки матеріалів, використовуваних для виробництва моніторів.

Основними параметрами монітора, що впливають на якість зображення є: частота вертикальної розгортки (скільки міняється кадрів в секунду). У телебаченні прийнята частота 50 Гц. Стандартами безпеки для ПК наказує частота оновлення екрану не менше 85 Гц, у такому разі очі мерехтіння, тобто коливань яскравості екрану, не помічають;

розмір екрану по діагоналі в дюймах (15;17;19;21);

роздільна здатність (кількість крапок, яка виводиться на екран по горизонталі і вертикалі, наприклад, 800 × 600). Ніж вище роздільна здатність монітора, тим вище якість зображення і тим більше об'єктів поміщається на екрані, але при великому дозволі символи стають дуже дрібними. Рекомендовані дозволи: для 15- і 16-дюймових дисплеїв не менше 1024x768, більше або рівно 1280x1024 для екранів з розміром діагоналі від 17 до 19 дюймів і не менше 1600x1200 для 21-дюймових дисплеїв.

Вимоги до устаткування робочих місць, режиму праці і відпочинку.

Робочі місця з ПК по відношенню до світлових отворів повинні розташовуватися так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Світло, падаюче спереду на робоче місце, стомлює зір. Світло, падаюче ззаду, погіршує видимість, створює відблиски на екрані.

Оскільки основним джерелом електромагнітних випромінювань від низьких до високих частот є рядковий трансформатор, поміщений в задній або бічній частині монітора, то рівень випромінювання ззаду і збоку монітора вищий, ніж від екрану. Тому користувачу рекомендується розташовуватися на відстані не меншому 50 см від екрану монітора, відстань між бічними поверхнями моніторів повинна бути не менше 1,2 м, а між тиловою поверхнею одного монітора і екраном іншого - не менше 2 м. Середина екрану монітора повинна розташовуватися на горизонталі, проведеної на рівні очей або на 10-20 см нижче.

Робоче місце необхідне організувати найзручнішим для себе чином. Конструкція робочого столу повинна забезпечувати оптимальне розміщення всіх елементів устаткування з урахуванням їх конструктивних особливостей. Клавіатуру слід розташовувати на поверхні столу на відстані 10 - 30 см від краю, зверненого до користувача, або на спеціальній поверхні, відокремленій від основної поверхні. Під час роботи з клавіатурою гона рук повинні бути максимально розпрямлені. Лікті повинні бути розташовані якомога ближче до тіла. Потрібно сидіти, спираючись на спинку крісла, шия повинна бути пряма.

Конструкція крісла повинна забезпечувати підтримку раціональної робочої пози, дозволяти змінювати позу з метою зниження статичної напруги м'язів шийно-плечової області і спини для попередження розвитку стомлення. Крісло повинне бути підйомно-поворотним і регульованим по висоті, кутам нахилу спинки і сидіння, відстані спинки від переднього краю сидіння.

Для попередження розвитку перевтоми при роботі на ПК необхідний пристрій перерв тривалістю не менше 15 мін. після кожні 45 мін. роботи.

Під час перерв необхідно виконувати крізне провітрювання приміщення при обов'язковому виході студентів з нього; вправи фізкультурної паузи і вправи для очей. При появі початкових ознак утомленості індивідуально виконувати вправи для зняття локального стомлення.

3.3 Виробнича санітарія

Вимоги до приміщень для експлуатації ПК

Приміщення з ПК повинні мати природне і штучне освітлення; освітленість на поверхні столу в зоні розміщення робочого документа повинна бути 300 - 500 лк [28];

мінімальна площа на одне робоче місце повинна складати 6 м², мінімальний об'єм - 20 м³, а для учбових закладів - 24 м³ [28];

приміщення повинні бути обладнані системами опалювання, кондиціонування повітря або ефективною приточування-витяжною вентиляцією, які забезпечують дотримання оптимального мікроклімату і зміст

шкідливих речовин, не перевищує середньодобових концентрацій для атмосферного повітря;

приміщення повинні розташовуватися на видаленій відстані від сторонніх електромагнітних полів, фон їх повинен бути істотно нижче за допустимі значення випромінювань від комп'ютера;

віконні отвори повинні бути обладнані регульованими пристроями типу жалюзі, завіс, зовнішніх козирків;

у приміщеннях з ПК щодня повинне проводитися вологе прибирання;

приміщення повинні бути обладнані аптечкою першої допомоги;

рекомендовані норми оснащення вогнегасниками на 200 м² - два углекислотних ОУ-5 і два легко-пінних ОВП-10.

Для внутрішньої обробки приміщень повинні використовуватися матеріали з коефіцієнтом віддзеркалення від стелі - 0,7 - 0,8; для стін 0,5-0,6; для підлоги - 0,3-0,5.

Вимоги до освітлення

Джерела штучного світла рекомендується розташувати з обох сторін від екрану паралельно напрямку зору. Щоб уникнути світових блисків від екрану, клавіатури, освітлювальних пристроїв, сонця в напрямку очей необхідно застосовувати антиблискові сітки, спеціальні фільтри для екрану, захисні козирки, жалюзі на вікнах. Вікна приміщень повинні мати регульовальні пристрої для відкривання.

Штучне освітлення приміщення має бути обладнане системою загального рівномірного освітлення. Загальне освітлення має бути виконане у вигляді суцільних або переривчатих ліній світильників, що розміщуються збоку від робочих місць (переважно зліва) паралельно лінії зору працівників. Допускається застосовувати світильники таких класів світлорозподілу:

світильники прямого світла - П;

переважно прямого світла - Н;

переважно відбитого світла - В.

Як джерело світла при штучному освітленні повинні застосовуватися, як правило, люмінесцентні лампи типу ЛБ. Допускається у світильниках місцевого освітлення застосовувати лампи розжарювання. Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50 град. до 90 град. відносно вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більше 200 кд/кв. м, а захисний кут світильників повинен бути не більшим за 40 град. Коефіцієнт запасу для освітлювальної установки загального освітлення слід приймати рівним 1,4. Коефіцієнт пульсації повинен не перевищувати 5 %. Рівень освітленості на робочому столі в зоні розташування документів має бути в межах 300 - 500 лк.

У разі неможливості забезпечити даний рівень освітленості системою загального освітлення допускається застосування світильників місцевого освітлення, але при цьому не повинно бути відблисків на поверхні екрану та збільшення освітленості екрану більше ніж до 300 лк. Світильники місцевого освітлення повинні мати напівпрозорий відбивач світла з захисним кутом не меншим за 40 град. Необхідно передбачити обмеження прямої близькості від джерела природного та штучного освітлення, при цьому яскравість поверхонь, що світяться (вікна, джерела штучного світла) і перебувають у полі зору, повинна бути не більшою за 200 кд/кв. м. Необхідно обмежувати відбиту близькість шляхом правильного вибору типів світильників та розміщенням робочих місць відносно джерел природного та штучного освітлення. При цьому яскравість відблисків на моніторі не повинна перевищувати 40 кд/кв. м, яскравість стелі при застосуванні системи відбивного освітлення не повинна перевищувати 200 кд/кв. м. Необхідно обмежувати нерівномірність розподілу яскравості в полі зору осіб, що працюють з монітором, при цьому відношення значень яскравості робочих поверхонь не повинно перевищувати 3:1, а робочих поверхонь і навколишніх предметів (стіни, обладнання) – 5:1.

Необхідно використовувати систему вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення залежно від інтенсивності природного, а також дозволяє освітлювати тільки потрібні для роботи зони приміщення. Для

забезпечення нормованих значень освітлення необхідно очищати віконне скло та світильники не рідше ніж 2 рази на рік, та своєчасно проводити заміну ламп, що перегоріли.

3.4 Електробезпека

Лінія електромережі для живлення персональних комп'ютерів, їх периферійних пристроїв (принтер, сканер тощо) виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється. Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників [31].

Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника. Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму тощо. У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних комп'ютерів, на помітному та доступному місці встановлюється аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

Персональний комп'ютери, периферійні пристрої повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного

провідника. Конструкція їх має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника. Неприпустимим є підключення комп'ютерів, периферійних пристроїв до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі - з використанням перехідних пристроїв.

Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення персональних комп'ютерів, периферійних пристроїв слід виконувати за магістральною схемою, по 3 - 6 з'єднань або електророзеток в одному колі.

Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 36 В за своєю конструкцією повинні відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127 В та 220 В [33, 34].

Штепсельні з'єднання та електророзетки, розраховані на напругу 12 В та 36 В, мають бути пофарбовані в колір, який візуально значно відрізняється від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

3.5 Пожежна безпека

Пожежна профілактика - це комплекс організаційних і технічних заходів, направлених на забезпечення безпеки людей, на запобігання пожежі, обмеження його розповсюдження, а так само на створення умов для успішного гасіння пожежі.

У сучасних ПК дуже висока густина розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості один від одного розташовуються сполучні дроти, комутаційні кабелі. При протіканні по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти, що може привести до підвищення температури окремих вузлів до 80 - 100С_о. При цьому можливе оплавлення ізоляції сполучних дротів, їх оголення і як наслідок коротке замикання, яке супроводжується іскрінням, веде до неприпустимих перевантажень елементів

елементарних схем. Останні, перегріваючись, згорають з розкиданням іскр, що може привести до пожежі.

Для відведення надмірного тепла від ПК запроектована система вентиляції і кондиціонування повітря. Проте вони також можуть представляти додаткову пожежну небезпеку для приміщення.

Енергопостачання обчислювальних центрів (ОЦ) здійснюється від трансформаторних підстанцій. Запроектоване використання сухих трансформаторів при пристрої трансформаторної камери в будівлі ОЦ.

Для приміщення встановлена категорія пожежної небезпеки В згідно [35].

Однією з найважливіших задач пожежної профілактики є захист будівельних конструкцій від руйнування і забезпечення їх достатньої міцності в умовах дії високих температур при пожежі. Враховуючи високу вартість електронного устаткування ЛЦ, а так само категорію їх пожежної небезпеки, будівлі для ЛЦ і частин будівель іншого призначення, в яких передбачено розміщення GR, запроектовані II ступені вогнестійкості [36, 37].

В ОЦ повинні бути передбачені протипожежні перешкоди у вигляді перегородок з матеріалів, що не згорають, які встановлюються між машинними залами, приміщеннями для розміщення сервісної і периферійної апаратури, для персоналу здійснюючого експлуатацію ПК.

Всі види кабелів від трансформаторних підстанцій і двигатель-генераторних агрегатів передбачено прокладати в металевих газових трубах аж до розподільних щитів або стійок живлення. У машинних залах кабельні лінії передбачено прокладати під технологічними знімними підлогами, які виконані з негорючих або важко горючих матеріалів з межею вогнестійкості не менше 0.5ч.

Для ліквідації пожеж в початковій стадії передбачене застосування первинних засобів пожежогасінні: внутрішні пожежні водопроводи, вогнегасники ручні і пересувні, сухий пісок, азбестові ковдри і ін.

У будівлі ОЦ пожежні крани запроектовані в коридорах, на майданчиках сходових кліток, у входів (у нішах на висоті 1.35 м.).

Ручні углекислотніє вогнегасники передбачено встановлювати в приміщеннях ВЦ з розрахунку 1 вогнегасник на 40-50 м². площі, але не менш 2-х в приміщенні. Тому, у всіх приміщеннях, обладнаних обчислювальною технікою знаходяться 2 вогнегасники ОУ-5 згідно вимог [35,36,37].

3.6 Розрахунок штучного освітлення аудиторії

Розрахунок штучного освітлення методом коефіцієнта використання. За типом лампи знаходиться необхідна кількість світильників. Джерелами світла в комп'ютерному класі (л-112) служать люмінесцентні лампи ЛХБР40, розраховані на напругу 220В. Нормативна освітленість $E = 40$ лк. Довжина приміщення $A=6,7$ м, ширина приміщення $B= 6$ м. Розрахункова висота світильників над робочою поверхнею $h = 2,3$ м. Коефіцієнти відбиття для приміщення з пиловиділеннями: для стелі $\rho_n = 30\%$, для стін $\rho_c = 10\%$, для робочої поверхні $\rho_p = 10\%$.

Розрахунок методом коефіцієнта використання.

1. З таблиці [, додаток 5] знаходимо світловий потік лампи ЛХБР40, лм:

$$\Phi = 1080$$

2. Коефіцієнт нерівномірності для люмінесцентних ламп :

$$z = 1,1$$

3. Коефіцієнт запасу для приміщень з повітряним середовищем, що містить >5 мг/м³ пилу [, додаток 7]:

$$k=1,7$$

4. Площа, що освітлюється, м² :

$$S=AB=6,7 \cdot 6=40,2$$

5. Індекс приміщення :

$$i = AB/h(A+B) = 6,7 \cdot 6 / 2,3(6,7+6) = 1,376$$

6. Знаходимо коефіцієнт використання світлового потоку для знайдених значень коефіцієнтів відбиття і індексу приміщення для світильників з додатку 6 :

$$\eta = 0,54$$

7. Необхідна кількість світильників:

$$N = EkSz/\Phi\eta = 40 \cdot 1,1 \cdot 40,2 \cdot 2 / 2080 \cdot 0,54 = 3,4$$

Приймаємо $N = 4$.

3.7 Висновок

Були придбані навички проведення оцінки рівня небезпечних і шкідливих чинників на робочому місці, оцінки травмобезпечності, а також складання підсумкових документів.

За результатами розрахунків таблиці 3.1 було виявлено що:

- для легкої роботи категорії 1а мікроклімат приміщення відповідає нормативним стандартам;
- температура повітря задовольняє умовам 23-25 °С ;
- відносна вологість повітря 60-40 % ;
- інфрачервоне випромінювання дорівнює 0,1 Вт/м².

Вібрація (загальна і локальна), інфразвук та ультразвук дБ – відсутні/

Розділ 4. Економічні показники мереж з різною структурою

4.1. Капітальні витрати

Капітальні витрати визначено на основі питомих витрат по всім основним елементам системи водопостачання: основним будівлям, спорудам та мережам. В магістерській роботі представлені три різні за структурою водопровідні мережі. При розрахунку капітальних витрат враховується ціна лише мереж та комунікацій. Результати розрахунків приведені в таблицях 4.1 – 4.3.

Таблиця 4.1 – Капітальні витрати для мережі за схемою № 1

№	Показник	Кількість, км	Вартість 1м, грн	Сумарна вартість, тис. грн.
	Загальна вартість мереж та комунікацій			
1	- сталеві напірні водоводи			
	діаметр 600 мм	10,0	197,2	1972,0
2	- водопровідна мережа з чавунних труб			
	діаметр 600 мм	0,8	250,00	200,00
	діаметр 500 мм	0,8	193,5	154,8
	діаметр 450 мм	1,6	167,1	267,3
	діаметр 400 мм	4,8	142,4	683,5
	діаметр 350 мм	3,2	120,4	385,30
	діаметр 300 мм	4,0	97,0	388,00
	діаметр 250 мм	1,6	77,7	124,3
	діаметр 200 мм	2,4	58,8	141,2
	Загальна вартість			4315,9

Таблиця 4.2 – Капітальні витрати для мережі за схемою № 2

№	Показник	Кількість, км	Вартість 1м, грн	Сумарна вартість, тис. грн.
	Загальна вартість мереж та комунікацій			
1	- сталеві напірні водоводи			
	діаметр 600 мм	12,4	197,2	2445,2

2	- водопровідна мережа з чавунних труб			
	діаметр 500 мм	2,264	193,5	438,00
	діаметр 400 мм	3,2	142,4	455,6
	діаметр 350 мм	3,2	120,4	385,3
	діаметр 300 мм	3,2	96,9	310,10
	діаметр 200 мм	6,4	58,80	376,6
	діаметр 150 мм	3,2	43,1	137,80
	Загальна вартість			4548,6

Таблиця 4.3 – Капітальні витрати для мережі за схемою № 3

№	Показник	Кількість, км	Вартість 1м, грн	Сумарна вартість, тис. грн.
	Загальна вартість мереж та комунікацій			
1	- сталеві напірні водоводи			
	діаметр 600 мм	12,4	197,2	2445,20
2	- водопровідна мережа з чавунних труб			
	діаметр 500 мм	2,264	193,5	438,00
	діаметр 350 мм	3,2	120,4	385,3
	діаметр 300 мм	6,4	96,9	620,2
	діаметр 200 мм	4,528	58,8	266,4
	діаметр 150 мм	9,6	43,1	413,5
	Загальна вартість			4568,6

Вартість установки та монтажу нового обладнання визначено в розмірі 30 % від його вартості, вартість монтажу комунікацій – 15 % від його вартості.

4.2. Поточні витрати

Річні поточні витрати визначено за формулою:

$$C = \sum C_i \quad (4.1)$$

де $\sum C_i$ - річна сума витрат за статтями калькуляції, грн.

Основні статті калькуляції річних поточних витрат: реагенти, електроенергія, теплова енергія, заробітня плата, амортизаційні відрахування, поточний ремонт, інші витрати.

$$\sum C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10} + C_{11} \quad (4.2)$$

де C_1 - витрати на сировину і матеріали;

C_2 - витрати на паливо й енергію на технологічні цілі;

C_3 - витрати на основну заробітну плату;

C_4 - витрати на додаткову заробітну плату;

C_5 - витрати на зворотні відходи;

C_6 - відрахування на соціальне страхування;

C_7 - витрати на утримання і експлуатацію устаткування;

C_8 - загальновиробничі витрати;

C_9 - інші виробничі витрати;

C_{10} - побічні витрати;

C_{11} - зворотні витрати.

Для трьох видів мереж витрати на сировину і матеріали (C_1), на основну заробітну плату (C_3), на додаткову заробітну плату (C_4), на зворотні відходи (C_5), на соціальне страхування (C_6), загальновиробничі витрати (C_8), інші виробничі витрати (C_9), побічні витрати (C_{10}), зворотні витрати (C_{11}) залишаються незмінними, отже при розрахунку річних поточних витрат вони не враховуються.

Річні поточні витрати для мережі водопостачання № 1:

$$\sum C_1 = 346,9 + 751,0 = 1097,9 \text{ тис.грн.}$$

Річні поточні витрати для мережі водопостачання № 2:

$$\sum C_2 = 346,9 + 791,5 = 1138,4 \text{ тис. грн.}$$

Річні поточні витрати для мережі водопостачання № 3:

$$\sum C_3 = 346,9 + 794,9 = 1141,8 \text{ тис. грн.}$$

Річні витрати електроенергії: основним технологічним обладнанням, яке споживає електроенергію являються насосні агрегати. Витрати електроенергії прямо пропорціональні кількості поданої води і визначаються за питомими витратами.

Для насосної станції II підйому середня питома витрата електроенергії визначається за формулою:

$$\rho_{\text{сер}} = 0,01 \cdot \Sigma \cdot (P_i \cdot \rho_i) \quad (4.3)$$

де P_i – погодинна подача насосів, % загальних витрат на добу.

Для першої ступені $P_I = 3,26$ %, для другої $P_{II} = 4,54$ %.

ρ_i - питома витрата електроенергії в дану годину.

$$\rho_i = \Sigma N / \Sigma Q \quad (4.4)$$

ΣN - сумарна потужність одночасно працюючих двигунів, к Вт може бути визначена за формулою:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000} \quad (4.5)$$

де Q – подача насосу, м³/с;

H – напір насосу, м.

ρ - щільність перекачуваної рідини, кг / м³.

Враховуючи, що подача води в мережу залишається однаковою для всіх трьох мереж, а значення напору насосу майже не відрізняються для всіх трьох мереж, приймається однакова потужність двигунів для всіх типів мереж, яка становить 520 к Вт.

ΣQ - сумарна подача води насосами, м³/год.

Для першої ступені при роботі двох насосів з подачею 2608 м³/год:

$$\rho_I = 2 \cdot 520 / 2608 = 0,40 \text{ к Вт год} / \text{м}^3$$

Річні витрати електроенергії:

$$E_p = Q_{\text{сер..доб}} \cdot n \cdot \rho_{\text{сер}}, \quad (4.6)$$

де $Q_{\text{сер..доб}}$ - середньодобове споживання населеного пункту, м³/добу;

n - число днів роботи насосів за рік.

$$E_p = 80000 \cdot 365 \cdot 0,033 = 963600 \text{ к Вт год / рік.}$$

Вартість електроенергії за рік :

$$\mathcal{E}_p = E_p \cdot \mathcal{C} \quad (4.7)$$

де E_p - річна витрата електроенергії, к Вт год за рік.

\mathcal{C} - ціна 1 к Вт год, 0,36 грн .

$$\mathcal{E}_p = 963600 \cdot 0,36 = 346896 \text{ грн.}$$

$$C_2 = 346896 \text{ грн.}$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань.

Величина амортизаційних відрахувань визначено у відсотках до балансової вартості об'єкту: для будов, споруд та передаточних пристроїв - 5%; для обчислювальної техніки, транспорту - 25%; для інших типів обладнання 15%. Розрахунок амортизаційних відрахувань виконується в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Розрахунок амортизаційних відрахувань.

№	Основні фонди	Балансова вартість основних фондів, тис. грн.	Амортизаційні відрахування		Загальні витрати на амортизацію, утримання та ремонт, тис. грн
			Норма, %	Сума, грн.	
1	Мережа за схемою № 1	4315,9	15	647,4	751,00
2	Мережа за схемою № 2	4548,6	15	682,3	791,50
3	Мережа за схемою № 3	4568,6	15	685,3	795,00

З урахуванням витрат на утримання та ремонт обладнання, які приймаються в розмірі (10 % на утримання та експлуатацію + 6 % на ремонт) загальні витрати на амортизацію, утримання та ремонт.

$$C_7 = 751,00 \text{ тис. грн – для мережі за схемою № 1;}$$

$$C_7 = 791,50 \text{ тис. грн – для мережі за схемою № 2;}$$

$$C_7 = 795,00 \text{ тис. грн – для мережі за схемою № 3.}$$

4.3 Економічна ефективність систем водопостачання з мережами різної структури

Для визначення економічної ефективності варіантів систем водопостачання виконується порівняння приведених витрат для кожного з варіантів за формулою:

$$Z_{np} = C_i + E_n \cdot K_i \quad (4.8)$$

де C_i - поточні витрати по кожному варіанту, тис. грн;

K_i - капітальні витрати по кожному варіанту, тис. грн;

$E_n = 0,15$ для систем водопостачання.

Поточні та капітальні витрати для порівняння варіантів визначено за питомими показниками. Економічно обґрунтованим приймається варіант з меншими приведеними витратами, він і приймається до розрахунків. При виконанні розрахунків приймаються довідкові ціни, які діють на теперішній час

За узагальненими питомими витратами:

- для варіанту мережі за схемою № 1:

$$C_1 = 1097,9 \text{ тис. грн.}, K_1 = 4315,9 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{тоді } Z_{np} = 1097,9 + 0,15 \cdot 4315,9 = 1745,3 \text{ тис. грн.}$$

- для варіанту мережі за схемою № 2:

$$C_2 = 1138,4 \text{ тис. грн.}, K_2 = 4548,6 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{тоді } Z_{np} = 1138,4 + 0,15 \cdot 4548,6 = 1820,60 \text{ тис. грн.}$$

- для варіанту мережі за схемою № 3:

$$C_3 = 1141,8 \text{ тис. грн.}, K_3 = 4568,6 \text{ тис. грн.}$$

$$\text{тоді } Z_{np} = 1141,8 + 0,15 \cdot 4568,6 = 1827,12 \text{ тис. грн.}$$

Враховуючи нормативний термін окупності мережі $T = 1 / 0,15 = 6,7$ років, найбільш економічним виявляється перший варіант водопровідної мережі, який має мінімальні приведені витрати. Другим за економічною ефективністю виявився варіант водопровідної мережі № 2. Найбільші приведені витрати виявились у варіанті водопровідної мережі № 3.

Висновки:

аналіз економічних показників мереж з різною структурою показав, що найбільш економічною є мережа за схемою № 1;

водопровідна мережа за схемою № 2 має середні показники економічної ефективності;

різниця приведених витрат для мереж за схемами № 2 та № 3 у порівнянні з мережею за схемою № 1 складає 75,40 тис. грн. для мережі № 2 та 81,80 тис. грн. для мережі № 3 відповідно;

водопровідна мережа за схемою № 2 дешевша за мережу за схемою № 3 на 6,50 тис. грн. Мережа за схемою № 3 є найдорожчою серед усіх представлених.

Висновки

1. Аналіз економічних показників трьох мереж різних за структурою показав, що найбільш економічною є мережа за схемою № 1. Водопровідні мережі за схемами № 2 та № 3 дорожчі за мережу №1, різниця між приведеними витратами мереж незначна. Мережу за схемою № 3 є найдорожча.
2. При моделюванні аварійних ситуацій встановлено, що мережа за схемою № 1 є найбільш ненадійною. Найбільший розмір зони недостатніх напорів для мережі за схемою № 2 становило 18,43 % від загальної площі, з усіх аварійних випадків лише 4 значення були в межах 10-20%, а інші становили менше 4 %.
3. При аналогічних аварійних ситуаціях зони недостатніх напорів для водопровідної мережі № 3 менші у порівнянні зі схемою № 2, але ця різниця є незначною.
4. Найбільш ефективною мережею по гідравлічним, технологічним та економічним показникам є мережа за схемою № 2.
5. Для підвищення надійності її роботи рекомендується збільшити діаметри на основних магістралях та розподільчих лініях.
6. Проведені дослідження показали, що структура водопровідної мережі впливає на показники економічності та надійності. Оптимальну структуру мережі слід визначати на стадії проектування системи водопостачання.

Список використаних джерел

1. Загальнодержавної програми „Питна вода України” на 2006-2020 роки.
2. Новохатній В. Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання : КНУБА, 2012. 351 с
3. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П., Василюк А.В. Шляхи ресурсозбереження в системах водопостачання: *Міжнародний конгрес" ЕТЕВК–2009*: зб. тез доп. міжнар. Конгресу, 2009. С. 1-5.
4. Сокольник В. И., Українець Н.А. О надежности систем промышленного и городского водоснабжения. *Коммунальное хозяйство городов*. Харьков. 2001. № 27. С. 3–7.
5. Di Nard A., Di Natale M., Di Maur A. Water supply network district metering : theory and case study / Springer. Vienna, 2013. 90p.
6. Jones G. Gravity-driven water flow in networks: [theory and design]. Hoboken. New Jersey, 2011. 568 p.
7. Гіроль М. М. Стан водопровідних мереж України та шляхи запобігання погіршенню якості питної води. URL: <http://polypipe.info/news/238-stanvodoprovidnuhmerzhukraini> (дата звернення 14.12.2019).
8. Pietryja C. Poprawa jakości wody do picia poprzez stosowanie nowoczesnej metody regeneracji sieci wodociągowej przy pomocy wklejanego rękawa - process phoenix.® XX jubileuszowa-krajowa. VIII Międzynarodowa konferencja naukowo – techniczna „Zaopatrzenie w wodę , jakość i ochrona wód", 15-18 June 2008, Poland, 2008. P. 197–206.
9. Zarządzanie jakością wody w systemach wodociągowych / A. Szuster-Janiaczyk // XIX Krajowa, VII Międzynarodowa konferencja naukowo – techniczna „Zaopatrzenie w wodę, jakościochrona wód", 18-21 June 2006, Zakopane, 2006. P.862-883.
- 10.Liu G. Potential impacts of changing *supply-water quality* on drinking water distribution [Text] / G. Liu, Y. Zhang, W. Knibbea C. Feng, W.Liu, G. Medemabd // A review *Water Research*, 2017. V. 116. P. 135–148.
- 11.Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Стройиздат, 1982. 440 с.

- 12.Новохатній В. Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання: автореф. дис докт. техн. наук: 05.23.04. Київ, 2012. 32 с.
- 13.Кремінь Т. Концептуальні поліпшення в роботі «Миколаївводоканалу» - запорука стабільності на континенті. *Водопостачання та водовідведення*. Київ, 2010. С. 44-47.
- 14.Українець М. О. Особливості поточкорозподілу в несиметричних кільцевих водопровідних мережах. *Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України: зб. тез доп. міжнар. Наук.-практ. Конф м. Запоріжжя, 13 грудня 2012 р. С. 62.*
- 15.Malek S., Caton P., Deppe K. Design of a Water Tower System for Rural Water Supply: A Case Study of an Ecuadorian Village. *Journal of Humanitarian Engineering*, 2017.5(1)
- 16.Amjad M. The Effect of The Utilitarian Need For the High Water Tanks Towers to Sustain Life in the City. *Engineering Journal*, 2017;23(2). P.20-38.
- 17.Ткачук О. А. Оцінка впливу потоків аварійності на надійність систем подачі і розподілення води. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. праць*. Рівне, 2007. № 1(37). С. 189-195.
- 18.Храменков С. В. Стратегия модернизации водопроводной сети. М.: Стройиздат, 2005. 400 с.
- 19.Шевчук А.Ю. Оцінка надійності трубопроводів системи транспортування води. *Вісник НУВГП*. Рівне, 2015. № 1(69). С.73–78.
- 20.Орлов В. А. Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов. М.: Стройиздат, 2001. 96 с.
- 21.Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006. 215 с.
- 22.Любенко В. В. Дослідження енергоспоживання на насосних станціях масиву Оболонь в умовах нерівномірного водоспоживання. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. Київ, 2005.– № 4. С. 39 – 43.

23. Hulsman A. Climate change, water supply and sanitation : risk assessment, management, mitigation and reduction. London, 2015. 408 p.
24. Yu F. Risk response for urban *water supply network* using case-based reasoning during a natural disaster. *Safety Science*. 2017. V. 106. P. 121-139.
25. Добровольська О.Г., 2014. Практична реалізація методів з оптимізації поточкорозподілу у водопровідних мережах. *Технологический аудит и резервы производства*. Харків, 2014. №. 6/4 (20). С. 4-7.
26. ДБН В.2.5-74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ, 2013. 172 с. (Інформація та документація).
27. Тарасов В. К. Безпека технологічних процесів та обладнання: навчальний посібник. Запоріжжя, 2005. 117с.
28. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения. Л.: Энергия, 1976. 391 с.
29. Старверв И.Г. Вентиляция и кондиционирование: справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1984. 300с.
30. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
31. Правила устройства электроустановок. ПУЭ-86. М.: Энергоатомиздат, 1987. 648 с.
32. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. М.: Энергоиздат, 1982. 800 с.
33. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М.: Энергоиздат, 1984. – 448 с.
34. Охрана труда в электроустановках / Под ред. Б.А. Князевского. М.: Энергоатомиздат, 1983. 336 с.
35. Щербина Я.Я., Щербина И.Я. Основы противопожарной защиты. К.: Вища школа, 1985. 255 с.
36. ГОСТ 12.1.044-89. ССТБ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов.
37. Баратов А. Н., Корольченко А. Я., Кравчук Г. Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд. в двух книгах . М.:

Химия, 1990.

38.РД 21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий.