

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
імені О. М. БЕКЕТОВА**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
БУДІВНИЦТВА, ЗЕМЛЕУСТРОЮ та ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

КАФЕДРА ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ і ОЧИЩЕННЯ ВОД

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра
на тему

**«СИСТЕМА ЗАБОРУ, ПОДАЧІ ТА РОЗПОДІЛУ ВОДИ ДЛЯ
НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ»**

Виконав: здобувач освіти 4-го курсу,
групи ХарЦІ 2022-1з
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна
інженерія

освітня програма «Цивільна інженерія»

Глушко С.П.

Керівник проф. Карагяур А.С.

Рецензент доц. Сироватський О.А.

Харків - 2026 року

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О.М. Бекетова

Інститут Навчально-науковий інститут будівництва, землеустрою та цивільної інженерії

Кафедра Водопостачання, водовідведення і очищення вод


Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Освітня програма «Цивільна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ВВіОВ

 проф. Карагяур А.С.

«02» березня _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ

1. Глушко Сергій Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

2. Тема роботи Система забору, подачі та розподілу води для населеного пункту

керівник роботи Карагяур Андрій Степанович, д.т.н., доц.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «27» 02 2026 р. №187-03

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 20.06.2026 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: запроектувати кільцеву водопровідну мережу для населеного пункту з промисловими підприємствами, який знаходиться в Полтавській області, побудувати п'єзометричні лінії, виконати проект споруд майданчику I-го підйому, описати заходи з організації експлуатації споруд майданчику I-го підйому та заходи з охорони праці. Вихідні дані наведені в додатку до завдання.











4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Розділ 1. Загальні відомості. Розділ 2 Технологічна частина. Розділ 3 Організація експлуатації споруд майданчика I-го підйому. Розділ 4 Охорона праці.

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

1. Генеральний та ситуаційний план міста. 2. П'єзометричні лінії.

3-6. Майданчик I-го підйому.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Загальні відомості	проф. Карагяур А.С.		
Технологічна частина	проф. Карагяур А.С.		
Організація експлуатації споруд майданчику I-підйому	проф. Карагяур А.С.		
Охорона праці	доц. Барбашин В.В.		
Показник оригінальності роботи	доц. Сорокіна К.Б.		
Допуск до захисту	проф. Карагяур А.С.		

7. Дата видачі завдання 02.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна відомості	02.03 – 20.03	
2	Технологічна частина	21.03 – 30.04	
3	Організація експлуатації споруд майданчику I-го підйому	01.05 – 25.05	
4	Охорона праці	26.05 – 15.06	
5	Оформлення пояснювальної записки	02.03 – 20.06	
6	Підготовка графічного матеріалу. Виконання креслень	02.03 – 18.06	
7	Попередній захист та рецензування КР	19.06 – 20.06	

Здобувач освіти



Сергій ГЛУШКО

Керівник роботи



Андрій КАРАГЯУР

ДОДАТОК ДО ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра
здобувачу освіти 4-го курсу,
групи ХарЦІ 2022-1з Глушку С.П.

1. Генеральний план населеного пункту М 1:5000.
2. Населення міста – 100 тис мешканців.
3. Житлова 5-типоверхова забудова з внутрішнім водопроводом, каналізацією і централізованим гарячим водопостачанням
4. Відомості про промислові підприємства:

Відомості про промпідприємства		№1	№2	№3
Кількість змін		2	2	2
Кількість працюючих, чол.		2500	2500	1800
Розподіл працюючих по змінах у % від загального числа працюючих				
	у I зміну	60	50	60
	у II зміну	40	50	40
	у III зміну	-	-	-
Кількість працюючих у «гарячих» цехах у % від загального числа працюючих				
	у I зміну	40	35	40
	у II зміну	30	35	30
	у III зміну	-	-	-
Кількість працюючих, які користуються душем, у % від загального числа працюючих у зміну у «гарячих» цехах				
	у I зміну	90	90	100
	у II зміну	90	90	100
	у III зміну	-	-	-
Кількість працюючих, які користуються душем, у % від загального числа працюючих у зміну у «холодних» цехах				
	у I зміну	50	40	40
	у II зміну	50	40	35
	у III зміну	-	-	-
Витрати води на технологічні потреби, л/с		10	5	5

5. Джерело водопостачання – р. Сула.
6. Відмітка води у річці при мінімальному розрахунковому рівні – 84 м, при максимальному розрахунковому рівні – 86 м
7. Відмітка землі в місці розташування майданчика I-го підйому – 89 м.
8. Максимальна швидкість течії – 0,2 м/с
9. Середній діаметр донних відкладень - 0,05 мм
10. Товщина криги – 300 мм
11. Довжина напірних водоводів – 3,5 та 4,0 км (від НС 1).
12. Позначка рівня води у першій споруді станції водопідготовки - 125,00.

Здобувач освіти


Сергій ГЛУШКО

Керівник роботи


Андрій КАРАГЯУР

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	7
1.1 Природні умови в районі розташування майданчику I-го підйому ...	7
1.2 Норми водоспоживання на різні потреби населеного пункту	11
1.3 Визначення розрахункових витрат	13
1.4 Режим споживання води в населеному пункті	15
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	20
2.1 Розрахунок міської водопровідної мережі	20
2.2 Розрахунок майданчику I-го підйому	34
3 ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПОРУД МАЙДАНЧИКУ I-ГО ПІДЙОМУ	52
3.1 Технічна експлуатація основного обладнання	52
3.2 Контроль якості води та санітарна охорона	54
3.3 Сезонна експлуатація берегового водозабору	56
3.4 Аварійна готовність та усунення відмов	58
3.5 Облік спожитої води та енергоефективність	60
3.6 Управління персоналом та документація	61
3.7 Перспективи розвитку та модернізації	63
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	65
4.1 Основні заходи та засоби санітарно-гігієнічного обслуговування	65
4.2 Вплив виробничих шкідливостей майданчику I-го підйому на здоров'я персоналу	67
4.3 Проектування штучного освітлення майданчика при будівництві водозабору	69
4.4 Основні причини травматизму	72
4.5 Пожежна безпека	74
Висновки до 4-го розділу	76
ВИСНОВКИ	78
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	79

ВСТУП

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 81 аркуш, 9 рисунків, 7 таблиць, 6 аркушів графічної частини, 20 інформаційних джерел.

ВОДОПРОВІДНА МЕРЕЖА, ДІАМЕТР ТРУБОПРОВОДУ, МАЙДАНЧИК І-ГО ПІДЙОМУ, БЕРЕГОВИЙ ВОДОЗАБІР, НАСОСНА СТАНЦІЯ.

Створення та проектування сучасних і надійних систем водозабезпечення є одним з пріоритетних інженерних завдань сьогодення. Якість виконання цих завдань безпосередньо впливає на існування і розвиток урбанізованих територій.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розрахунок споруд майданчика І-го підйому при заборі води з поверхневого джерела, а також розрахунок кільцевої міської водопровідної мережі.

У роботі розглянуто природні умови в районі розташування водозабору з поверхневого джерела, обґрунтовано норми споживання містом води на різні потреби, визначено розрахункові витрати.

Виконано гідравлічний розрахунок кільцевої міської водопровідної мережі (підібрано діаметри ділянок, визначено їх пропускну здатність, розраховано втрати напору). Проаналізовано роботу систему розподілу води в годину найбільшого водоспоживання та при пропуску додаткової витрати на пожежогасіння.

Виконано розрахунок двох водозабірних вузлів, розташованих на деякій відстані один від одного. Ці вузли включають водозабори з поверхневого джерела берегового типу та насосні станції. Проаналізовано різні варіанти сумісної роботи системи насосів та напірних водоводів.

Розглянуто необхідні заходи з організації експлуатації споруд майданчику І-го підйому та проаналізовано умови праці персоналу на цих спорудах.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Природні умови в районі розташування майданчику І-го підйому

Річка Сула є однією з найзначніших лівих приток Дніпра, що протікає по території Полтавської та Сумської областей України. Район розташування водозабору, що проєктується, знаходиться у середній течії річки, в межах Полтавської низовини – типового представника лісостепової зони Лівобережної України. Рельєф місцевості переважно рівнинний, слабохвилястий, зі значною кількістю заплавлених терас і стариць.

Клімат регіону є помірно-континентальним із чітко вираженою сезонністю. Він характеризується порівняно холодною зимою, теплим і досить вологим літом, а також нестійкими перехідними сезонами – весною та осінню. Середньорічна температура повітря в районі водозабору становить $+7,0...+7,5^{\circ}\text{C}$. Найхолодніший місяць — січень із середньою температурою від -6 до -8°C ; найтепліший — липень, середня температура якого досягає $+19...+21^{\circ}\text{C}$. Абсолютний мінімум температури може опускатися до $-35...-38^{\circ}\text{C}$, абсолютний максимум сягає $+38...+40^{\circ}\text{C}$ [1].

Середньорічна сума атмосферних опадів у межах водозбірної басейну Сули в зоні проєктування водозабору складає 480–560 мм. Розподіл опадів протягом року є нерівномірним: близько 65–70 % річної норми випадає в теплий період (квітень–жовтень). Найбільш дощовими є червень і липень (50–65 мм на місяць), найсухішими – лютий і березень (20–30 мм). Сніговий покрив встановлюється, як правило, у грудні й зберігається 70–90 днів. Висота снігового покриву в середньому не перевищує 15–25 см, хоча у снігові зими може досягати 40–50 см.

Переважні напрямки вітру – північно-східні та південно-західні, що відображає загальну циркуляцію атмосфери в помірних широтах. Середня швидкість вітру становить 3,5–4,5 м/с. Взимку посилення вітру супроводжується

хуртовинами, що може ускладнювати роботу водозабірних споруд. Тривалість безморозного періоду – 160–175 днів на рік.

Випаровуваність із водної поверхні в районі розташування водозабору становить 700–750 мм на рік, тоді як реальне випаровування обмежується наявністю вологи і не перевищує 400–430 мм. Відповідно, річний дефіцит водного балансу в деякі посушливі роки може досягати 200–250 мм, що суттєво впливає на меженний стік річки Сула.

Річка Сула бере початок на північних схилах Середньоруської височини і впадає в Кременчуцьке водосховище. Загальна довжина річки становить 363 км, площа водозбірного басейну – 19 600 км². Основне живлення річки — снігове (60–65 % річного стоку), дощове (20–25 %) та підземне (10–15 %). Саме переважання снігового живлення зумовлює різко виражений весняний паводок і відносно низький меженний стік у літньо-осінній та зимовий періоди.

Гідрологічний режим Сули у районі водозабору характеризується добре вираженою весняною повінню, яка зазвичай розпочинається у другій половині березня і завершується в травні. Підйом рівня води в паводковий період становить у середньому 3,5–5,0 м відносно меженного рівня. У роки з рясними снігами та інтенсивним таненням максимальний підйом може досягати 6,0–7,0 м. Тривалість повені – від 30 до 60 днів.

Середньобагаторічні витрати води в річці Сула в районі проектування оцінюються на рівні 30–40 м³/с (залежно від конкретного створу). Мінімальні витрати спостерігаються в літньо-осінню межень (серпень–вересень) та зимову межень (лютий–березень). Мінімальні добові витрати 95 % забезпеченості у літньо-осінній меженний період можуть знижуватися до 2,5–4,0 м³/с, що є критичним показником для розрахунку продуктивності водозабору.

Максимальні витрати весняного водопілля 1 % забезпеченості (розрахункова повінь) можуть сягати 700–900 м³/с. Ці дані є принципово важливими для визначення відміток закладення конструктивних елементів берегового водозабору та проектування захисних дамб і огорожень.

Швидкість течії води в річці суттєво залежить від фази гідрологічного режиму. У меженний період на плесових ділянках вона становить 0,1–0,3 м/с, на перекатах – 0,4–0,7 м/с. Під час паводку швидкість зростає до 1,0–1,5 м/с. Ширина річки в межах проєктної ділянки у межень – 40–80 м, у повінь — 150–300 м з урахуванням затоплення заплави. Глибини на плесах у межень – 1,5–3,5 м, на перекатах – 0,4–1,0 м.

За хімічним складом вода в річці Сула належить до гідрокарбонатного класу, групи кальцію. Загальна мінералізація у меженний період становить 350–550 мг/л, у паводковий – зменшується до 150–250 мг/л внаслідок розбавлення поверхневим стоком. Жорсткість води варіює від 3,5 до 7,5 мг-екв/л залежно від сезону: у межень вона підвищена, навесні — знижена. Реакція середовища (рН) знаходиться в межах 7,2–8,0, що свідчить про слаболужний характер вод [2].

Вміст завислих речовин у воді суттєво залежить від фази гідрологічного режиму. У меженний період каламутність не перевищує 15–25 мг/л, тоді як у пік весняного водопілля вона різко зростає до 300–600 мг/л і більше. Такі коливання каламутності необхідно враховувати при виборі схеми очищення води та розрахунку відстійних споруд водозабірної комплексу. Забарвленість води в меженний період складає 25–45 градусів, у паводок може зростати до 80–100 градусів за рахунок вимивання гумусових речовин із ґрунтів водозбору.

Температурний режим води в річці визначається кліматичними умовами регіону. Максимальна температура поверхневих вод спостерігається у липні–серпні й становить 22–26⁰С, мінімальна — у лютому–березні: річка замерзає, як правило, у другій половині грудня–першій половині січня. Льодовий покрив зберігається 50–75 днів, товщина льоду в середні зими сягає 25–40 см, у суворі — 60–80 см. Ця обставина є визначальною при виборі типу водоприймального пристрою (берегові водозабори перед поверхневим льодом мають значні переваги над русловими).

Санітарний стан річки у районі проєктування слід оцінювати як задовільний, проте з помітним антропогенним навантаженням. Основними джерелами забруднення є дифузний сільськогосподарський стік із прилеглих

угідь, який несе нітрати, фосфати та залишки пестицидів. Вміст нітратів у деякі роки перевищує допустимий рівень для водойм господарсько-питного водокористування. Це вимагає передбачення в складі водопідготовки ефективних технологій видалення біогенних елементів.

Гідрогеологічні умови прибережної зони річки Сула характеризуються тісним гідравлічним зв'язком алювіальних відкладень заплави з поверхневими водами. Алювіальний водоносний горизонт складений кварц-польовошпатовими пісками середньо- та дрібнозернистими з підпорядкованими прошарками гравію та галечнику. Потужність водоносного горизонту в межах заплави становить 4–12 м. Глибина залягання рівня ґрунтових вод коливається від 0,5–1,5 м у повінь до 2,5–4,0 м у межень.

Коефіцієнт фільтрації алювіальних пісків варіює в широких межах – від 5 до 35 м/добу, що є важливим параметром для розрахунку берегового інфільтраційного водозабору. Гідравлічний ухил підземного потоку у напрямку річки становить 0,001–0,003. При незначній відстані від берега рівні ґрунтових вод у повені можуть бути вищими за горизонт у річці, що призводить до живлення ріки підземними водами (від'ємний дренаж). У решту періодів спостерігається типова схема: ґрунтові води живляться з річки.

Якість підземних вод алювіального горизонту, як правило, краща, ніж поверхневих: вони краще захищені від бактеріологічного забруднення та мають стабільніші фізичні показники. Проте за хімічним складом підземні води дещо жорсткіші (жорсткість 5–9 мг-екв/л), а вміст заліза може перевищувати нормативні значення. При інфільтраційному водозаборі необхідно враховувати ризик мікробіологічного забруднення в паводковий період.

Кліматичні та гідрологічні умови району лаштування водозабору в цілому є сприятливими для влаштування поверхневого водозабору з річки Сула. Достатні дебіти річки в меженний період, прийнятна якість поверхневих вод, розвинений алювіальний водоносний горизонт створюють передумови для надійного водопостачання.

Водночас необхідно врахувати низку ускладнюючих факторів. Різко виражена сезонна мінливість витрат (від 2,5 до 900 м³/с) вимагає ретельного розрахунку регулюючих ємностей та резервних джерел. Значні коливання каламутності та якісного складу води протягом року потребують гнучкої схеми водопідготовки. Льодовий режим річки зумовлює необхідність проектування льодозахисних пристроїв на водоприймальних головах. Підтоплення прибережної зони у паводковий період диктує відповідні вимоги до відміток підлоги насосних станцій та захисту підземних частин споруд.

Для забезпечення надійної та безперебійної роботи водозабору рекомендується передбачити: берегову компоновку водозабірних споруд; захисні решітки та сітки з механічним або гідравлічним промиванням; резервне живлення насосних агрегатів.

1.2 Норми водоспоживання на різні потреби населеного пункту

Подача води до населеного пункту з трьома промпідприємствами здійснюється для задоволення наступних потреб:

- безпосередньо господарсько-питних потреб мешканців;
- поливання зелених насаджень, поливання вулиць та інших міських територій, миття вулиць;
- подача води на гасіння пожеж (зовнішніх та внутрішніх);
- потреби у воді для промислових підприємств, які в свою чергу теж поділяються на категорії.

Норма водоспоживання (питома середньодобова) на задоволення господарсько-питних потреб мешканців приймаємо, користуючись [3, п. 6.1.1] в залежності від кількості населення та ступеня ступеню благоустрою житлових будівель. Згідно завданню кількість мешканців у місті складає 100 тис., житлова забудова представлена п'ятиповерховими багатоквартирними будинками, які обладнані внутрішнім централізованим водопроводом, включаючи гаряче водопостачання, та господарсько-побутовою мережею водовідведення. Для таких

умов норму водоспоживання можна прийняти в діапазоні 230-285 л/(добу на люд.), виберемо значення $q_{ж} = 256$ л/(добу на люд.).

Норма на поливання урбанізованих територій приймаємо, користуючись [3, Додаток А] в залежності від розміру міста та району, що враховує архітектурно-будівельні та кліматичні особливості. Згідно завданню населений пункт розташовано в Полтавській області, що відповідає району лісостепу. Згідно [3, п. 6.1.1] місто з населенням 100 тис. мешканців відноситься до середніх. З урахуванням таки умов приймаємо $q_{п} = 50$ л/(добу на люд.).

Витрату води на гасіння зовнішньої пожежі, а також їх одночасну кількість визначаємо, користуючись [3, п. 6.2.2] в залежності від розрахункової кількості мешканців та поверховості житлової забудови. Враховуючи, що згідно завданню населення міста складає 100 тис. мешканців, а житлова забудова має п'ять поверхів, приймаємо, що одночасно відбувається 2 пожежі, а витрата на гасіння однієї складатиме 35 л/с.

На промислових підприємствах вода витрачається на наступні потреби:

- господарсько-питні (санітарно-гігієнічні, фізіологічні) потреби працюючих;
- потреби в прийомі душу після закінчення зміни для деяких категорій працюючих;
- технологічні витрати, тобто витрати води на виробництво продукції.

Норма та споживання води на задоволення потреб першої категорії залежить від виділення тепла в цехах підприємства. За показником тепловиділення цехи поділяють відповідно на «гарячі» та «холодні».

Норму водоспоживання в «гарячих» цехах прийmemo 45 л на одного робітника за зміну, а в «холодних» цехах – 25 л на одного робітника за зміну [4].

Для розрахунку витрати води на душові потреби прийmemo наступні параметри:

- об'єм води, який витрачається протягом однієї години однією душовою сіткою – 500 л;
- кількість робітників, які приймають душ, користуючись однією душовою сіткою, залежить від типу виробництва, прийmemo – 7;

– тривалість прийому душу робітниками однієї зміни – 45 хв.

Витрати на технологічні потреби для кожного з трьох підприємств приведені в завданні.

1.3 Визначення розрахункових витрат

Середньодобову (усереднену протягом року) витрату води $Q_{\text{доб.сер}}$ на господарсько-побутові потреби розраховуємо за залежністю (1) [3, п. 6.1.2].

$Q_{\text{доб.сер}}$ дорівнює $25575 \text{ м}^3/\text{доб.}$

В добу найбільшого споживання води витрату на господарсько-питні потреби $Q_{\text{доб.мах}}$ розраховуємо за залежністю (2) [3, п. 6.1.2]. Згідно [3, п. 6.1.2] значення коефіцієнту добової нерівномірності $K_{\text{доб.мах}}$ лежить в діапазоні 1,1 – 1,3. Приймаємо $K_{\text{доб.мах}} = 1,3$.

$Q_{\text{доб.мах}}$ дорівнює $33247,5 \text{ м}^3/\text{доб.}$

Витрату води на поливання-миття урбанізованих територій $Q_{\text{полив}}$ визначаємо за залежністю, аналогічній залежності (1) [3, п. 6.1.2], тільки підставляти до неї слід відповідно норму на поливання.

$Q_{\text{полив}}$ дорівнює $5000 \text{ м}^3/\text{доб.}$

Передбачаємо, що 70% поливання відбувається за допомогою поливальних машин. Ця витрата дорівнює $0,7 \cdot 5000 = 3500 \text{ м}^3/\text{доб.}$

30% поливання здійснюється робітниками житлово-комунальних підприємств вручну. Ця витрата дорівнює $0,3 \cdot 5000 = 1500 \text{ м}^3/\text{доб.}$

Витрату води на задоволення господарсько-питних потреб робітників промпідприємств розраховуємо для кожної зміни за формулою [5]:

$$Q_{\text{гп.зм.}} = \frac{N_{\text{гар}} \cdot q_{\text{гар}} + N_{\text{хол}} \cdot q_{\text{хол}}}{1000},$$

де $N_{\text{гар}}$, $N_{\text{хол}}$ – кількість робітників, які відповідно протягом зміни працюють в

«гарячих» та «холодних» цехах, люд.;

$Q_{\text{гар}}$, $Q_{\text{хол}}$ – норми водоспоживання (літри за зміну на одного робітника) робітниками для задоволення указаної категорії потреб.

Для кожної зміни кожного промпідприємства, яке знаходиться на території населеного пункту, та підключено до міського водопровідної мережі, в завданні указаний відсоток (від загальної кількості робітників у зміну) робітників, які працюють в «гарячих» цехах. Також в завданні для кожного промпідприємства указана загальна кількість робітників та їх розподіл по змінам.

Згідно завдання на території міста знаходяться три промпідприємства, які працюють в дві зміни.

Витрату води, яка використовується на прийом після зміни душу, розраховуємо за формулою:

$$Q_{\text{душ.зм.}} = \frac{N_{\text{душ}} \cdot 500}{N_{\text{с}} \cdot 1000},$$

де $N_{\text{душ}}$ – кількість робітників у зміні, які після роботи приймають душ, люд.;

$N_{\text{с}}$ – кількість людей, які користуються однією душевою сіткою під час прийому душу після зміни, люд.

Розрахунки за указаною формулою проводимо окремо для «холодних» та «гарячих» цехів. Відсоток (від кількості працюючих в «холодних» або «гарячих» цехах робітників, яким необхідно після зміни приймати душ указано в завданні.

Результати розрахунків, виконаних для промпідприємств, зведемо в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Визначення розрахункових витрат води на промпідприємствах

Параметр	Значення		
	ПП1	ПП2	ПП3
Номер промпідприємства:	ПП1	ПП2	ПП3
Кількість робітників:	2500	2500	1800
1-ша зміна:	1500	1250	1080
в «гарячих» цехах	600	437,5	432
в «холодних» цехах	900	812,5	648
Витрата на госп.-пит. потреби за зміну, м ³ :	49,5	40	35,64
в «гарячих» цехах	27	19,69	19,44
в «холодних» цехах	22,5	20,31	16,2

Параметр	Значення		
<i>що користуються душем:</i>			
в «гарячих» цехах	540	393,75	432
в «холодних» цехах	450	325	259,2
Витрата на душові потреби за зміну, м ³	70,7	51,3	49,4
2-га зміна:	1000	1250	720
в «гарячих» цехах	300	437,5	216
в «холодних» цехах	700	812,5	504
Витрата на госп.-пит. потреби за зміну, м ³ :	31	40,0	22,3
в «гарячих» цехах	13,5	19,7	9,7
в «холодних» цехах	17,5	20,3	12,6
<i>що користуються душем:</i>			
в «гарячих» цехах	270	393,75	216
в «холодних» цехах	350	325	176,4
Витрата на душові потреби за зміну, м ³	44,3	51,3	28,0

1.4 Режим споживання води в населеному пункті

Протягом доби вода на господарсько-питні потреби мешканців міста споживається нерівномірно. Ступень нерівномірності споживання визначається коефіцієнтом годинної нерівномірності $K_{\text{год}\cdot\text{max}}$, який розраховуємо за формулою (4) [3, п. 6.1.2].

Коефіцієнт α_{max} , який враховує місцеві умови, режим роботи підприємств та благоустрій будівель, згідно [3, п. 6.1.2] рекомендується приймати в діапазоні 1,2-1,4, приймаємо $\alpha_{\text{max}} = 1,2$.

Коефіцієнт β_{max} в залежності від кількості населення приймаємо згідно табл. 2 [3, п. 6.1.2]. Для міста з населенням 100 тис. мешканців β_{max} дорівнює 1,1.

Таким чином, коефіцієнт годинної нерівномірності дорівнює $K_{\text{год}\cdot\text{max}} = 1,25$.

Приймаємо, що машинне поливання відбувається рівномірно протягом світлого періоду доби з 6.00 по 21.00. Приймаємо, що поливання вручну здійснюється два рази на добу: з 6.00 по 9.00 та з 18.00 по 21.00.

На пром підприємствах протягом зміни споживання води на господарсько-питні потреби відбувається нерівномірно, причому в «гарячих» та «холодних»

цехах ступінь нерівномірності споживання різна.

Прийом душу робітниками відбувається в наступну годину після того, як закінчиться їх зміна. Приймаємо, що вода, яка витрачається на технологічні потреби, споживається рівномірно в години, коли підприємство працює.

Результати розрахунків балансу водоспоживання населеного пункту протягом доби, в яких враховуються всі категорії потреб, зведені в табл. 1.2. За результатами указаних розрахунків будемо графік водоспоживання міста (рис. 1.1).

Таблиця 1.2 – Розрахунок балансу споживання води містом

Год.	% Q	м ³ /год.	полив вруч.	полив мех.	ПП 1						ПП 2					
					«холодні» цеха		«гарячі» цеха		прийом душ	Техно-логічні	«холодні» цеха		«гарячі» цеха		прийом душ	Техно-логічні
					% від Q зм	м ³ /год	% від Q зм	м ³ /год			% від Q зм	м ³ /год	% від Q зм	м ³ /год		
00:01	3,35	1113,79			18,75	3,28	15,65	2,11	44,29		18,75	3,81	15,65	3,08	51,34	
01:02	3,25	1080,54			6,25	0,00	12,05	0,00			6,25	0,00	12,05	0,00		
02:03	3,30	1097,17			12,50	0,00	12,05	0,00			12,50	0,00	12,05	0,00		
03:04	3,20	1063,92			12,50	0,00	12,05	0,00			12,50	0,00	12,05	0,00		
04:05	3,25	1080,54			18,75	0,00	12,05	0,00			18,75	0,00	12,05	0,00		
05:06	3,40	1130,42			6,25	0,00	12,05	0,00			6,25	0,00	12,05	0,00		
06:07	3,85	1280,03	250,00	233,33	12,50	0,00	12,05	0,00			12,50	0,00	12,05	0,00		
07:08	4,45	1479,51	250,00	233,33	12,50	0,00	12,05	0,00			12,50	0,00	12,05	0,00		
08:09	5,20	1728,87	250,00	233,33	18,75	0,00	15,65	0,00	0,00	36	18,75	0,00	15,65	0,00	0,00	18
09:10	5,00	1662,38		233,33	6,25	1,41	12,05	3,25		36	6,25	1,27	12,05	2,37		18
10:11	4,85	1612,50		233,33	12,50	2,81	12,05	3,25		36	12,50	2,54	12,05	2,37		18
11:12	4,60	1529,39		233,33	12,50	2,81	12,05	3,25		36	12,50	2,54	12,05	2,37		18
12:13	4,60	1529,39		233,33	18,75	4,22	12,05	3,25		36	18,75	3,81	12,05	2,37		18
13:14	4,55	1512,76		233,33	6,25	1,41	12,05	3,25		36	6,25	1,27	12,05	2,37		18
14:15	4,75	1579,26		233,33	12,50	2,81	12,05	3,25		36	12,50	2,54	12,05	2,37		18
15:16	4,70	1562,63		233,33	12,50	2,81	12,05	3,25		36	12,50	2,54	12,05	2,37		18
16:17	4,70	1562,63		233,33	18,75	4,22	15,65	4,23	70,71	36	18,75	3,81	15,65	3,08	51,34	18
17:18	4,35	1446,27		233,33	6,25	1,09	12,05	1,63		36	6,25	1,27	12,05	2,37		18
18:19	4,40	1462,89	250,00	233,33	12,50	2,19	12,05	1,63		36	12,50	2,54	12,05	2,37		18
19:20	4,30	1429,64	250,00	233,33	12,50	2,19	12,05	1,63		36	12,50	2,54	12,05	2,37		18
20:21	4,30	1429,64	250,00	233,33	18,75	3,28	12,05	1,63		36	18,75	3,81	12,05	2,37		18
21:22	4,20	1396,40			6,25	1,09	12,05	1,63		36	6,25	1,27	12,05	2,37		18
22:23	3,75	1246,78			12,50	2,19	12,05	1,63		36	12,50	2,54	12,05	2,37		18
23:24	3,70	1230,16			12,50	2,19	12,05	1,63		36	12,50	2,54	12,05	2,37		18

Продовження табл.1.2

Год.	Промислове підприємство 3						Сумарне споживання води	
	«холодні» цеха		«гарячі» цеха		прийом душ	технологічні	м ³ /год.	% від Q доб.
	% від Q зм	м ³ /год	% від Q зм	м ³ /год				
00:01	18,75	2,36	15,65	1,52	28,03		1253,61	3,14
01:02	6,25	0,00	12,05	0,00			1080,54	2,71
02:03	12,50	0,00	12,05	0,00			1097,17	2,75
03:04	12,50	0,00	12,05	0,00			1063,92	2,67
04:05	18,75	0,00	12,05	0,00			1080,54	2,71
05:06	6,25	0,00	12,05	0,00			1130,42	2,83
06:07	12,50	0,00	12,05	0,00			1763,36	4,42
07:08	12,50	0,00	12,05	0,00			1962,85	4,92
08:09	18,75	0,00	15,65	0,00	0,00	18	2284,20	5,72
09:10	6,25	1,01	12,05	2,34		18	1979,36	4,96
10:11	12,50	2,03	12,05	2,34		18	1933,18	4,84
11:12	12,50	2,03	12,05	2,34		18	1850,06	4,64
12:13	18,75	3,04	12,05	2,34		18	1853,75	4,64
13:14	6,25	1,01	12,05	2,34		18	1829,75	4,58
14:15	12,50	2,03	12,05	2,34		18	1899,93	4,76
15:16	12,50	2,03	12,05	2,34		18	1883,31	4,72
16:17	18,75	3,04	15,65	3,04	49,37	18	2060,80	5,16
17:18	6,25	0,79	12,05	1,17		18	1759,92	4,41
18:19	12,50	1,58	12,05	1,17		18	2029,70	5,09
19:20	12,50	1,58	12,05	1,17		18	1996,45	5,00
20:21	18,75	2,36	12,05	1,17		18	1999,60	5,01
21:22	6,25	0,79	12,05	1,17		18	1476,72	3,70
22:23	12,50	1,58	12,05	1,17		18	1330,25	3,33
23:24	12,50	1,58	12,05	1,17		18	1313,63	3,29
Σ							40000	100

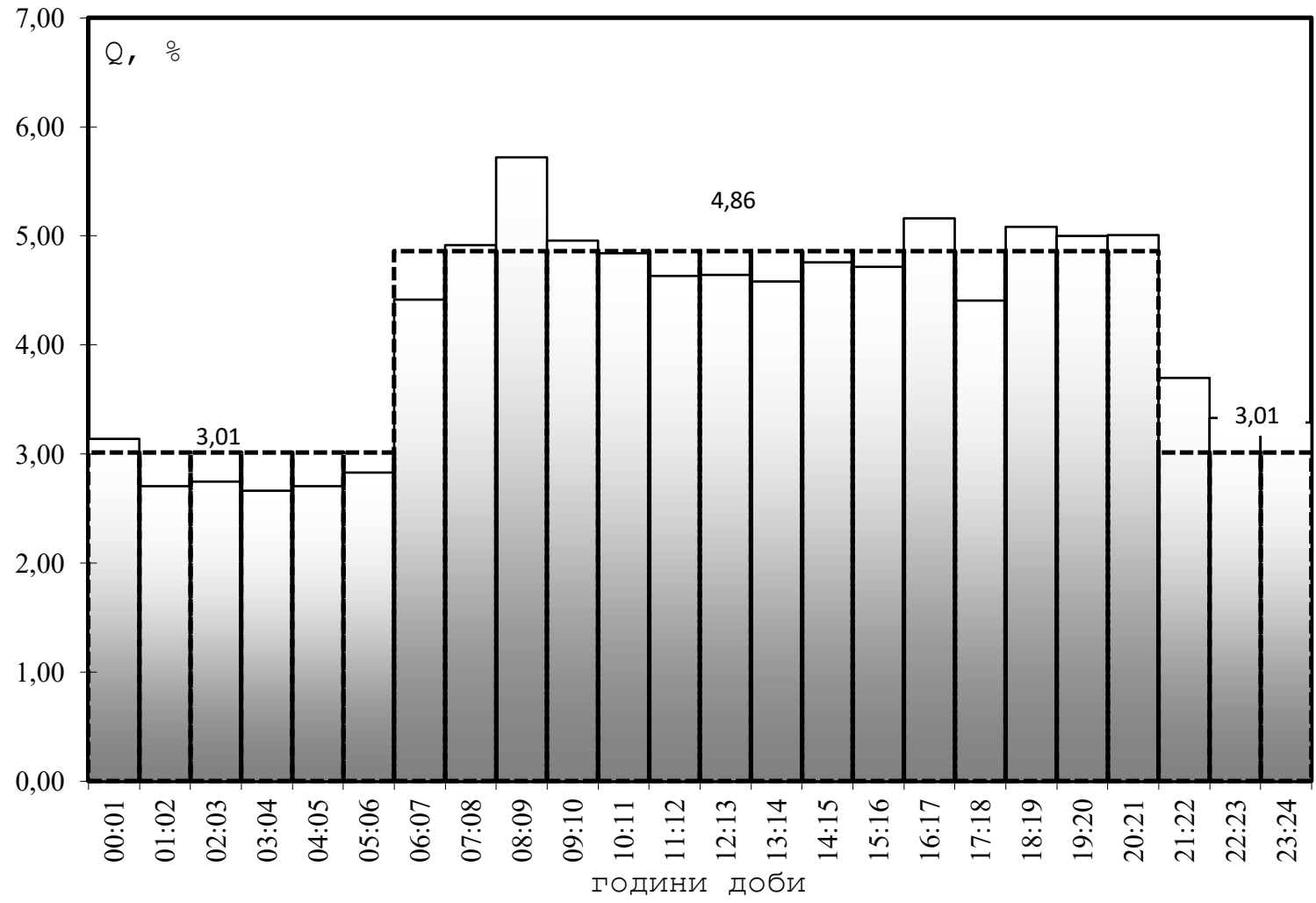


Рисунок 1.1 – Графік споживання води у місті та роботи НС 2-го підйому

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок міської водопровідної мережі

2.1.1 Трасування мережі міського водопроводу

Для населеного пункту, генеральний план якого наведено на 1-ому листі графічної частини проєкту, передбачимо проєктування кільцевої водопровідної мережі, оскільки вона характеризується вищим рівнем надійності порівняно з тупиковою – вода подається до споживача з двох сторін.

При трасуванні кільцевої мережі дотримуємося таких принципів:

- подача води до ключових споживачів (зокрема, до точок підключення промислових об'єктів) має здійснюватися по найкоротшому можливому шляху;
- протяжність магістральних ділянок повинна бути не більше 1000-1200 м, а перемичок між ними – 800 м.

Схему кільцевої мережі наведено на аркуші №1 графічної частини роботи. Передбачаємо влаштування двох водоводів від насосної станції другого підйому, що подають воду в міську водопровідну мережу та приєднуються до різних вузлів.

2.1.2 Підготовка до гідравлічного розрахунку міської водопровідної мережі

Гідравлічний розрахунок кільцевої водопровідної мережі виконується з метою визначення діаметрів ділянок, реальних витрат, що вони пропускають, та втрат напору [6].

Гідравлічний розрахунок кільцевої мережі виконується в наступній послідовності:

- 1) спочатку приймається, що відбір води здійснюється рівномірно вздовж кожної ділянки мережі пропорційно її довжині та наявності забудови, з урахуванням цього визначається питома витрата, тобто витрата на одиницю загальної

- ділянок мережі, та визначаються для кожної ділянки шляхові витрати;
- 2) далі вважається, що відбір води здійснюється в вузлах кільцевої мережі, визначаються вузлові витрати, як напівсума шляхових витрат на ділянках, які примикають до вузла, плюс додається при наявності зосереджена витрата;
 - 3) з урахуванням вузлових витрат проводиться попередній розподіл потоків по ділянках мережі від вузлів, де здійснюється подача від насосної станції 2-го підйому до вузла, де потоки сходяться.

Розрахунки проводимо для двох випадків:

- 1) для години, коли споживання води в мережі найбільше;
- 2) коли під час максимального водоспоживання здійснюється гасіння пожеж, які відбуваються в критичних точках мережі.

На рис. 2.1 та рис. 2.2 представлені відповідні схеми мережі для указаних випадків. На схемах указано:

- номери кілець, вузлів та ділянок;
- вузлові витрати;
- довжини та діаметри ділянок, а також витрати в результаті попереднього поточкорозподілу;
- місця під'єднання водоводів від НС 2 та водоводів, що подають воду на промпідприємства.

Згідно розрахунків година найбільшого споживання води – це час з 8.00 по 9.00 (табл. 1.2). Розрахункова витрата, яка надходить до мережі, дорівнює 634,5 л/с.

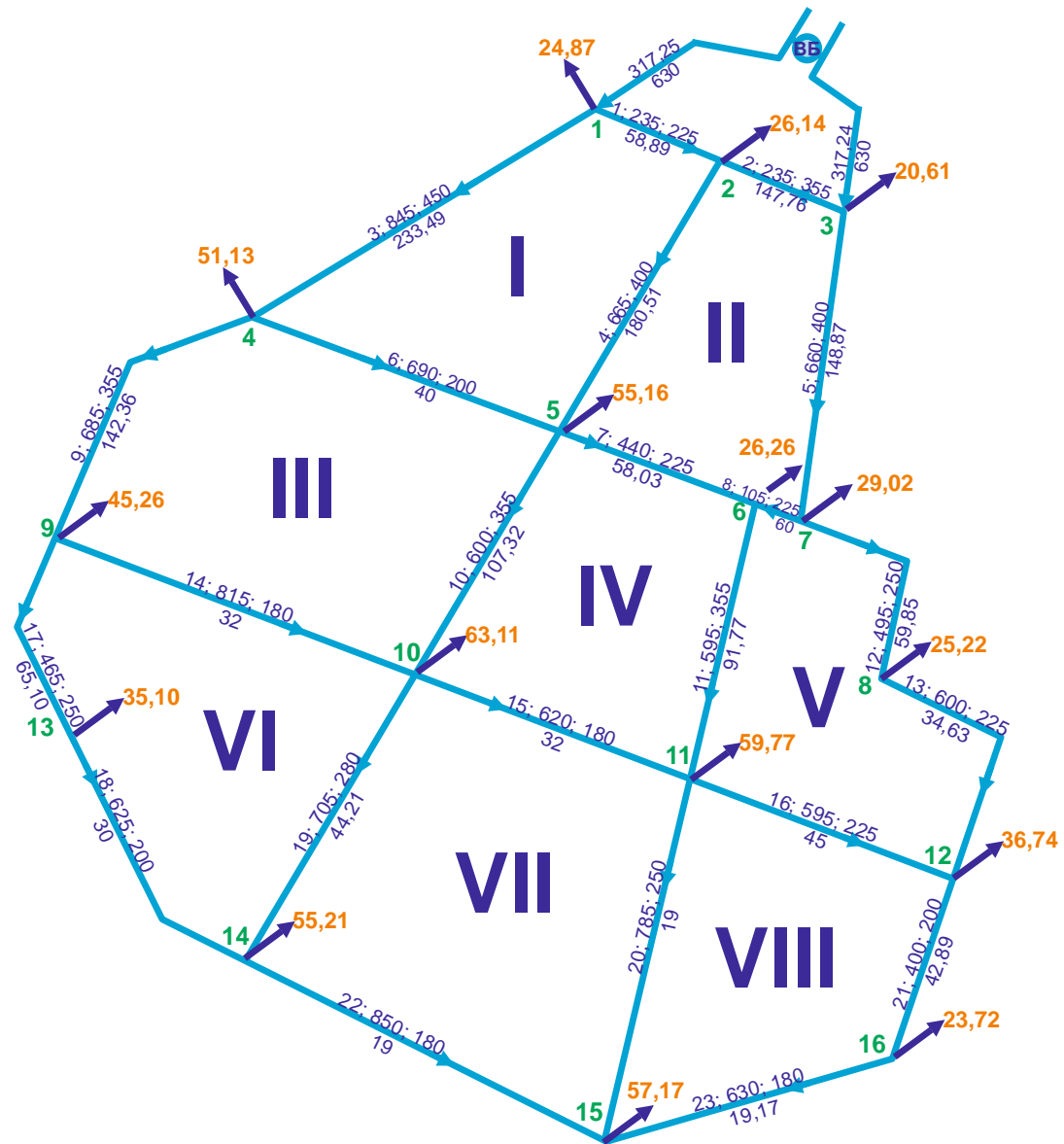


Рисунок 2.1 – Схема попереднього розподілу потоку води на ділянках у годину найбільшого споживання

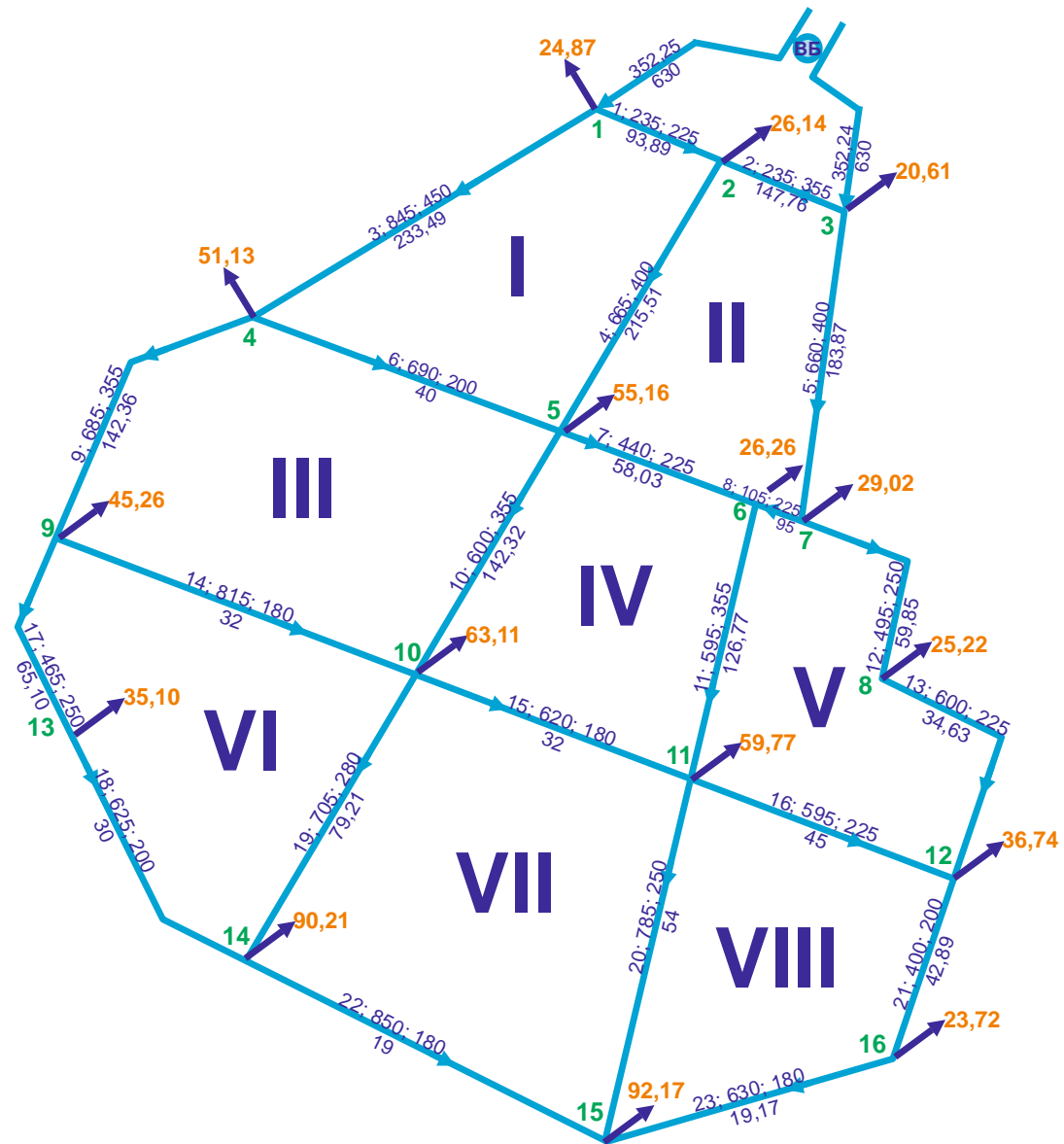


Рисунок 2.2 – Схема попереднього розподілу потоку води при гасінні пожеж у годину найбільшого споживання

Проведемо розрахунки згідно указаній послідовності.

Визначаємо для мережі питому витрату за формулою:

$$q_{\text{пит}} = \frac{Q_{\text{р.год}} - \Sigma Q_{\text{зосер.}}}{\Sigma L},$$

де $Q_{\text{р.год}}$ – витрата в годину найбільшого споживання, яка, в свою чергу, розглядається в добу найбільшого споживання, л/с; $Q_{\text{р.год}} = 634,5$ л/с (табл. 1.2);

$Q_{\text{зосер.}}$ – сумарна витрата води, що споживається промпідприємствами в годину найбільшого споживання, л/с ; $\Sigma Q_{\text{зосер.}} = 20$ л/с;

ΣL – сумарна довжина ділянок кільцевої мережі, з урахуванням рівномірності споживання вздовж ділянки, м; $\Sigma L = 13340$ м (лист 1, ГЧ).

$$q_{\text{пит}} = \frac{634,5 - 20}{13340} = 0,0461 \text{ (л/с)/м.}$$

Визначаємо для кожної ділянки шляхові витрати за формулою:

$$Q_{\text{шлях}} = q_{\text{пит}} \cdot L_{\text{діл}},$$

де $L_{\text{діл}}$ – довжина ділянки кільцевої мережі (лист 1, ГЧ), м;

Результат розрахунку шляхових витрат показаний в табл. 2.1.

Для кожного вузла кільцевої мережі визначаємо вузлові витрати за формулою

$$Q_{\text{вуз}} = Q_{\text{зосер.}} + 0,5 \cdot \Sigma Q_{\text{шлях}}$$

де $\Sigma Q_{\text{шлях}}$ – сума шляхових витрат на ділянках, які утворюють даний вузол, л/с;

$Q_{\text{зосер.}}$ – зосереджена витрата у вузлі (при наявності), л/с.

Результати розрахунку вузлових витрат показано в табл. 2.2.

Таблиця 2.1 – Визначення шляхових витрат на ділянках

Номер ділянки	Довжини ділянок з урахуванням рівномірності споживання, м	Питома витрата в мережі, л/(с·м)	Шляхова витрата на ділянці мережі, л/с
1	235	0,0461	10,83
2	235		10,83
3	845		38,92
4	665		30,63
5	660		30,40
6	690		31,78
7	440		20,27
8	105		4,84
9	685		31,55
10	600		27,64
11	595		27,41
12	495		22,80
13	600		27,64
14	815		37,54
15	620		28,56
16	595		27,41
17	465		21,42
18	625		28,79
19	705		32,48
20	785		36,16
21	400		18,43
22	850		39,15
23	630		29,02
	13340		614,5

Таблиця 2.2 – Визначення вузлових витрат

Номер вузла	Номери ділянок, що утворюють вузол				Зосереджена витрата у вузлі, л/с	Вузлова витрата, л/с
1	1	3	0	0	0	24,87
2	1	2	4	0	0	26,14
3	2	5	0	0	0	20,61
4	3	6	9	0	0	51,13
5	4	6	7	10	0	55,16
6	7	8	11	0	0	26,26
7	5	8	12	0	0	29,02
8	12	13	0	0	0	25,22
9	9	14	17	0	0	45,26
10	10	14	15	19	0	63,11
11	11	15	16	20	0	59,77
12	13	16	21	0	0	36,74
13	17	18	0	0	10	35,11
14	18	19	22	0	5	55,21
15	20	22	23	0	5	57,17
16	21	23	0	0	0	23,72
					Сума	634,5

Значення вузлових витрат переносимо на розрахункову схему кільцевої мережі (рис. 2.1). Указуємо вузли, до яких здійснюється підключення водоводів. В нашому випадку, це вузли 1 та 3.

Перевіряємо виконання наступної умови:

$$\Sigma Q_{\text{вузл.}} = Q_{\text{р.год.}}$$

При проведенні попереднього розподілу потоків по ділянках кільцевої мережі дотримуємося виконання I закону Кірхгофа: сума витрат, які надійшли до вузла по ділянках чи водоводах дорівнює сумі витрат, які вийшли з вузла (транзитних та вузлової).

Розрахунки для випадку гасіння пожеж, які відбуваються в час найбільшого споживання, необхідні для того щоб перевірити пропускну здатність ділянок мережі. Найбільш несприятливі умови реалізуються, коли пожежі відбуваються в критичних точках, тобто з найменшим вільним напором. Це можуть бути вузли, які найбільш віддалених від вузлів, до яких підходять водоводи, або найбільш високо розташовані вузли. Приймаємо, що пожежі відбуваються в вузлах 15 та 16.

В цих вузлах додаємо до вузлових витрат витрату, необхідну на гасіння однієї пожежі. В нашому випадку вона дорівнює 35 л/с для кожного вузла.

На розрахунковій схемі (рис. 2.2) на ділянках з найбільшими діаметрами, які з'єднують найкоротшим шляхом вузли, до яких підключено водоводи, та вузли, де відбуваються пожежі, додаємо відповідні витрати на їх гасіння.

2.1.3 Визначення діаметрів трубопроводів

Влаштування водоводів від насосної станції 2-го підйому та ділянок водопровідної мережі передбачаємо використання поліетиленових напірних труб.

Підбір діаметрів ділянок кільцевої мережі та водоводів проводимо, орієнтуючись на витрати попереднього розподілу потоків в годину максимального споживання, а також на рекомендований діапазон швидкостей. Цей діапазон визначається техніко-економічними розрахунками [3, п. 12.44]. Прийmemo цей діапазон рівним 0,7-1,5 м/с, з можливістю збільшення при необхідності на деяких ділянках до 0,5-2,0 м/с.

На розрахункових схемах (рис. 2.1 та 2.2) для кожної ділянки вказуємо значення її діаметру.

2.1.4 Ув'язування кільцевої водопровідної мережі

Метою гідравлічного ув'язування кільцевої водопровідної мережі є такий перерозподіл витрат води по її ділянках у порівнянні з попереднім розподілом потоків, при якому, окрім збереження у кожному вузлі нульового балансу витрат, для кожного замкнутого контуру забезпечується баланс витрат напорів: сума витрат на ділянках з рухом води за годинниковою стрілкою має дорівнювати сумі витрат на ділянках з протилежним напрямком руху. Допустима похибка ув'язування прийнята нами 0,01 м.

Розрахунки виконували для двох випадків:

- при найбільшому споживанні (табл. 2.3),
- при гасінні двох пожеж в критичних точках при найбільшому споживанні

(табл. 2.4).

Розрахунки проводили за допомогою комп'ютерної програми, розробленої на кафедрі ВВіОВ.

Таблиця 2.3 – Результати ув'язування кільцевої мережі в годину найбільшого споживання

№ ділянки	Витрата (л/с)	Вт. напору $ h $ (м) ≥ 0	Напрямок потоку	Швидкість (м/с)	1000-і (‰)	D зовн. (мм)	σ стінки (мм)	D вн. розрах. (мм)	Довжина (м)
1	50,51	3,61	→ прямий	1,6370	15,365	225	13,4	198,2	235
2	116,62	1,61	→ прямий	1,5176	6,866	355	21,1	312,8	235
3	241,87	6,67	→ прямий	1,9579	7,897	450	26,7	396,6	845
4	140,99	3,49	→ прямий	1,4438	5,250	400	23,7	352,6	665
5	180,01	5,51	→ прямий	1,8435	8,353	400	23,7	352,6	660
6	-6,76	0,43	← реверс	0,2772	0,624	200	11,9	176,2	690
7	44,70	5,36	→ прямий	1,4489	12,186	225	13,4	198,2	440
8	91,14	4,95	→ прямий	2,9540	47,168	225	13,4	198,2	105
9	103,99	3,78	→ прямий	1,3532	5,522	355	21,1	312,8	685
10	127,88	4,91	→ прямий	1,6641	8,180	355	21,1	312,8	600
11	117,64	4,15	→ прямий	1,5308	6,980	355	21,1	312,8	595
12	51,80	4,57	→ прямий	1,3577	9,233	250	14,8	220,4	495
13	26,58	2,72	→ прямий	0,8614	4,537	225	13,4	198,2	600
14	9,11	1,56	→ прямий	0,4611	1,912	180	10,7	158,6	815
15	18,62	4,61	→ прямий	0,9423	7,433	180	10,7	158,6	620
16	28,78	3,14	→ прямий	0,9327	5,276	225	13,4	198,2	595
17	49,62	3,96	→ прямий	1,3005	8,508	250	14,8	220,4	465
18	14,52	1,67	→ прямий	0,5953	2,667	200	11,9	176,2	625
19	55,26	4,06	→ прямий	1,1552	5,765	280	16,6	246,8	705
20	47,71	3,42	→ прямий	0,9972	4,360	280	16,6	246,8	785
21	18,61	0,68	→ прямий	0,7633	4,277	200	11,9	176,2	160
22	14,57	3,97	→ прямий	0,7375	4,667	180	10,7	158,6	850
23	-5,11	0,40	← реверс	0,2585	0,637	180	10,7	158,6	630

Таблиця 2.4 – Результати ув'язування кільцевої мережі при пожежогасінні

№ ділянки	Витрата (л/с)	Вт. напору h (м) ≥ 0	Напрямок потоку	Швидкість (м/с)	1000·i (‰)	D зовн. (мм)	σ стінки (мм)	D вн. розрах. (мм)	Довжина (м)
1	60,47	5,08	→ прямий	1,9599	21,634	225	13,4	198,2	235
2	130,96	2,01	→ прямий	1,7042	8,559	355	21,1	312,8	235
3	266,91	8,05	→ прямий	2,1606	9,522	450	26,7	396,6	845
4	165,29	4,72	→ прямий	1,6927	7,103	400	23,7	352,6	665
5	200,67	6,78	→ прямий	2,0551	10,268	400	23,7	352,6	660
6	-14,19	1,76	← реверс	0,5821	2,555	200	11,9	176,2	690
7	52,76	7,35	→ прямий	1,7100	16,694	225	13,4	198,2	440
8	111,80	7,30	→ прямий	3,6237	69,542	225	13,4	198,2	105
9	121,59	5,09	→ прямий	1,5822	7,432	355	21,1	312,8	685
10	151,56	6,78	→ прямий	1,9723	11,297	355	21,1	312,8	600
11	140,58	5,83	→ прямий	1,8293	9,792	355	21,1	312,8	595
12	57,57	5,59	→ прямий	1,5091	11,286	250	14,8	220,4	495
13	32,35	3,96	→ прямий	1,0486	6,593	225	13,4	198,2	600
14	13,85	3,45	→ прямий	0,7009	4,236	180	10,7	158,6	815
15	22,12	6,39	→ прямий	1,1195	10,313	180	10,7	158,6	620
16	31,45	3,72	→ прямий	1,0192	6,246	225	13,4	198,2	595
17	62,48	6,13	→ прямий	1,6377	13,184	250	14,8	220,4	465
18	27,38	5,57	→ прямий	1,1229	8,905	200	11,9	176,2	625
19	80,18	8,24	→ прямий	1,6761	11,693	280	16,6	246,8	705
20	71,48	7,38	→ прямий	1,4941	9,399	280	16,6	246,8	785
21	27,06	3,48	→ прямий	1,1098	8,708	200	11,9	176,2	400
22	17,35	5,53	→ прямий	0,8784	6,505	180	10,7	158,6	850
23	3,34	0,18	→ прямий	0,1691	0,284	180	10,7	158,6	630

2.1.5 Споруди та обладнання на міській водопровідній мережі

Проектом передбачено облаштування на міській водопровідній мережі таких споруд та обладнання:

- оглядових колодязів,
- в оглядових колодязях передбачаємо встановлення:
 - поворотних дискових затворів (запірно-регулююча арматура),
 - вантузів – в вузлах та на ділянках з найвищими геодезичними відмітками мережі (захисна арматура)
 - пожежних гідрантів (водорозбірна арматура);
- бетонних упорів – в точках поворотів і розгалужень трубопроводів, призначених для сприйняття динамічних навантажень, що виникають при

- зміні напрямку потоку;
- компенсаторів – поглинають температурні деформації трубопроводів у повздовжньому напрямку;
 - водонапірної башти.

Для регулювання та перекриття потоку обрано поворотні дискові затвори, оскільки порівняно з засувками вони мають менші габарити та вагу.

Встановлення водонапірної башти зумовлене можливістю зменшити розрахункову подачу насосної станції другого підйому. Башту розміщено на початку мережі, оскільки саме там знаходяться найвищі точки водопровідної мережі.

2.1.6 Водонапірна башта. Визначення розмірів регулюючого резервуару

Водонапірна башта є важливою регулюючою спорудою системи водопостачання, призначеною для забезпечення безперебійної подачі води споживачам та узгодження нерівномірного режиму водоспоживання з двохступеневим режимом роботи насосної станції другого підйому.

За конструктивним виконанням водонапірна башта являє собою високу споруду, що складається з трьох основних елементів: фундаменту, стовбура (опорної конструкції) та бака для зберігання запасу води.

Висоту башти визначимо на основі гідравлічного розрахунку мережі в залежності від геодезичних відміток місцевості, втрат напору у міській водопровідній мережі та необхідного вільного напору у диктуючій точці.

Фундамент башти влаштовується відповідно до інженерно-геологічних умов будівельного майданчика та сприймає навантаження від ваги конструкції, бака з водою та вітрові навантаження. Передбачаємо застосування монолітних залізобетонних фундаментів кільцевого типу, глибина закладання яких приймається з урахуванням глибини промерзання ґрунту та рівня підземних вод.

Стовбур башти є несучою частиною споруди. Його виконання передбачаємо вигляді залізобетонної оболонки циліндричної форми, який забезпечує достатню

жорсткість конструкції та стійкість до вітрових навантажень. Усередині стовбура передбачаємо облаштування технологічної шахти для прокладання трубопроводів (подавального, відвідного та переливного), а також драбини для обслуговування обладнання, розміщеного у баку.

Бак башти є основним функціональним елементом споруди і призначений для зберігання регулюючого та протипожежного запасу води. Його виготовлення передбачаємо з залізобетону. Форма баку – циліндрична.

Бак обладнується наступними трубопроводами та арматурою:

- подавально-розвідним трубопроводом, через який вода надходить у бак та подається в мережу;
- переливною трубою, що відводить надлишок води у разі перевищення максимального рівня;
- спускним (грязьовим) трубопроводом для періодичного очищення бака від накопичених осадів;
- запірною арматурою на кожному з трубопроводів для можливості їх відключення під час обслуговування;
- приладами контролю рівня води (датчики рівня, сигналізатори) для автоматизації роботи насосної станції.

Для запобігання замерзанню води в холодний період року передбачаємо теплоізоляція бака та шахти стовбура. Для забезпечення довговічності конструкції в умовах атмосферних впливів передбачаємо захист зовнішньої поверхні бака та стовбура спеціальними покриттями.

Водонапірна башта працює за наступним принципом. У період зниженого водоспоживання (найчастіше в нічні години) насосна станція другого підйому продовжує подавати воду в мережу за розрахунковою витратою, при цьому надлишок води накопичується в баку башти. У години максимального водоспоживання, коли потреба мережі перевищує подачу насосної станції, додаткова витрата забезпечується за рахунок спрацювання запасу води з бака. Таким чином башта виконує функцію буферної ємності, що дозволяє вирівняти графік роботи насосного обладнання та забезпечити стабільний напір у мережі

протягом доби.

Бак водонапірної башти розраховуємо з умови зберігання регулюючого об'єму води та об'єму на гасіння пожеж: однієї зовнішньої та однієї внутрішньої.

Для визначення регулюючого об'єму скористуємось даними табл. 2.5, що представляє собою поєднання ступеневого графіку споживання води та графіку подачі води НС 2 (рис. 1.1), а також наступною формулою:

$$W_{\text{рег}} = \frac{Q_{\text{доб.мах.}} \cdot \alpha}{100}$$

де $W_{\text{рег}}$ – об'єм бака, який використовується для регулювання м³;

α – коефіцієнт, що враховує ступінь регулювання (визначаємо за допомогою табл. 2.5);

$Q_{\text{доб.мах.}}$ – найбільша добова витрата, м³/добу.

$$\alpha = Z_{\text{мах}} + Z_{\text{мін}}$$

де $Z_{\text{мах}}$ та $Z_{\text{мін}}$ – відповідно, максимальне та мінімальне значення за період доби максимального водоспоживання об'єму води, який міститься в баку (табл. 2.5). Приймається у відсотках від найбільшої добової витрати.

$$\alpha = |1,93| + |-0,00| = 1,93$$

$$W_{\text{рег}} = \frac{40000 \cdot 1,93}{100} = 772 \text{ м}^3$$

Таблиця 2.5. – Розрахунок об'єму регулюючого резервуару

Години	Споживання води, % від $Q_{\text{доб}}$	Подача води, % від $Q_{\text{доб}}$	Надходження чи витрата з бака, % від $Q_{\text{доб}}$	Залишок у баку, % від $Q_{\text{доб}}$
00:01	3,14	3,01	-0,13	0,00
01:02	2,71	3,01	0,31	0,31
02:03	2,75	3,01	0,27	0,57
03:04	2,67	3,01	0,35	0,92
04:05	2,71	3,01	0,31	1,23
05:06	2,83	3,01	0,18	1,41
06:07	4,42	4,86	0,44	1,85
07:08	4,92	4,86	-0,06	1,79
08:09	5,72	4,86	-0,86	0,92
09:10	4,96	4,86	-0,10	0,82
10:11	4,84	4,86	0,01	0,84
11:12	4,64	4,86	0,22	1,06

Години	Споживання води, % від $Q_{\text{доб}}$	Подача води, % від $Q_{\text{доб}}$	Надходження чи витрата з бака, % від $Q_{\text{доб}}$	Залишок у баку, % від $Q_{\text{доб}}$
12:13	4,64	4,86	0,21	1,28
13:14	4,58	4,86	0,27	1,55
14:15	4,76	4,86	0,10	1,65
15:16	4,72	4,86	0,14	1,79
16:17	5,16	4,86	-0,30	1,48
17:18	4,41	4,86	0,45	1,93
18:19	5,09	4,86	-0,23	1,70
19:20	5,00	4,86	-0,14	1,56
20:21	5,01	4,86	-0,15	1,41
21:22	3,70	3,01	-0,69	0,72
22:23	3,33	3,01	-0,32	0,40
23:24	3,29	3,01	-0,28	0,13
Всього:	$\Sigma=100\%$			

На гасіння зовнішньої пожежі для нашого випадку необхідна витрата дорівнює $q_{\text{пож.зовн.}} = 35$ л/с, а на гасіння внутрішньої пожежі – $q_{\text{пож.вн.}} = 5$ л/с. Значення об'єму бака на потреби пожежогасіння визначаємо за формулою

$$W_{\text{пож}} = \frac{(q_{\text{пож. зовн.}} + q_{\text{пож. вн.}}) \cdot 60 \cdot 10}{1000} = \frac{(35 + 5) \cdot 60 \cdot 10}{1000} = 24 \text{ м}^3$$

Повний об'єм баку буде дорівнює:

$$W_{\text{б}} = W_{\text{рег.}} + W_{\text{пож.}} = 772 + 24 = 796 \text{ м}^3$$

Діаметр регулюючого резервуару прийемо рівним $d = 12$ м, тоді найбільша висота шару води в ньому буде дорівнювати

$$h_{\text{б}} = \frac{4 \cdot W_{\text{б}}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 796}{3,14 \cdot 12^2} = 7,04 \text{ м.}$$

Для визначення висота стовбура водонапірної башти просумуємо наступні складові:

$$H_{\text{б}} = H_{\text{в}} + h_{\text{мер}} + z_{\text{кр.т}} - z_{\text{вб}},$$

де $H_{\text{в}}$ – найменший допустимий вільний напір, м, для п'ятиповерхової житлової забудови він дорівнює $H_{\text{в}} = 26$ м (приймається на перший поверх – 10 м, на наступні – 4 м);

$h_{\text{мер}}$ – втрати напору на ділянках кільцевої мережі, що з'єднують критичну точку

(вузол з найменшим вільним напором) та водонапірної башти, приймаємо за результатами ув'язування кільцевої мережі $h_{\text{мер}}=19,2$ м;

$z_{\text{кр.т}}$ – геодезична відмітка землі в критичному вузлі, $z_{\text{кр.т}}=122,00$ м (лист 1, ГЧ);

$z_{\text{ВБ}}$ – геодезична відмітка землі у місці розташування водонапірної башти, $z_{\text{ВБ}} = 126,00$ м (лист 1, ГЧ).

$$H_6 = 26 + 19,2 + 122 - 126 = 41,2 \text{ м.}$$

2.2 Розрахунок майданчику I-го підйому

2.2.1 Вибір типу поверхневого водозабору

Джерелом водопостачання згідно завданню до бакалаврської роботи є р. Сула. Багаторічні гідрологічні та метеорологічні спостереження показали, що для указанного джерела в районі міста, для якого проектується система водопостачання, спостерігаються наступні явища. Льодяний покрив, який неодноразово виникає протягом холодного сезону, супроводжується рухом шуги та її накопиченням у поперечному перерізі водойми. Обсяг такого заповнення русла під час льодоставу сягає 60 % площі живого перетину потоку. Окремими роками трапляється формування скупчень шуги ще до настання повного льодоставу, а навесні – утворення льодових заторів.

З урахуванням цих факторів можемо зробити висновок, що умови водозабору є важкими [3, п. 9.2.4]. Згідно [3, п. 9.2.4] приймаємо рішення про влаштування водозаборів в двох створах, на такий відстані між ними, щоб виключити можливість зупинки забору води в них одночасно (рис. 2.3).

Розташування водозабірних споруд передбачаємо на стійкій до розмиву ділянці берегу, що має увігнуту форму [3, п. 9.2.7; 5].

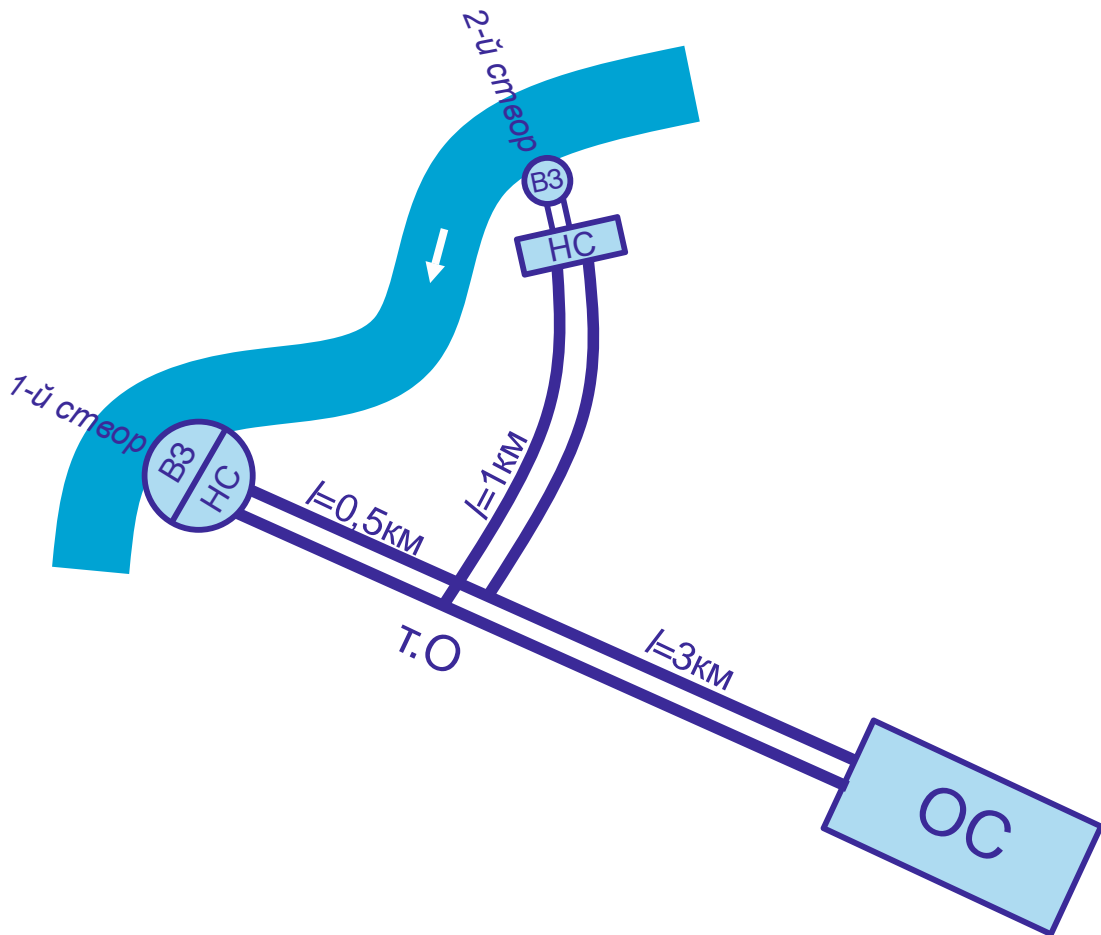


Рисунок 2.3 – Схема двохвузлового майданчика 1-го підйому

В першому створі берег, де планується розташування водозабірних споруд має крутий рельєф, глибина води біля берегу – понад 3 м при мінімальній відмітці рівня води у річці. Ці обставини дозволяють обґрунтувати вибір для цього створу водозабору берегового типу, суміщений з насосною станцією першого підйому.

В другому створі берег має теж крутий рельєф, глибина води біля берегу біля 3,5 м. В цьому створі також приймаємо рішення про влаштування берегового водозабору. Безпосередньо на березі ділянка з найбільш сприятливими для будівництва заглиблених споруд умовами має невелику площу, тому тут, в другому створі, розташування насосної станції першого підйому передбачаємо окремо на відстані 40 м на більш стійкій ділянці.

Обидва створи розташовані набагато вище за течією місця випуску міських стічних вод в дане джерело [3, п. 9.2.8].

Система водопостачання, що проєктується в даній роботі відноситься до I категорії за надійністю. Такий висновок прийнято на основі рекомендацій [3, п. 8.4]. При кількості жителів більше, ніж 50 тис. приймається I категорія за надійністю. В нашому випадку розрахункова кількість жителів складає 100 тис.

Згідно [3, п. 9.2.8], якщо водозабірні споруди розділені на два вузли, то продуктивність кожного з них можна приймати, орієнтуючись на природні умови та особливості вимог споживачів, в діапазоні від 50% до 100% від загальної.

Згідно [3, п. 8.4] для систем водопостачання I категорії надійності допускається зниження подачі не більше, ніж на 30%, строком до трьох діб. В нашому випадку важкі умови водозабору обумовлені насамперед високою ймовірністю утворення льодових заторів, що може призвести до майже повної зупинки одного з водозабірних вузлів. Гарантія відновлення продуктивності протягом трьох днів в даному випадку невисока. З урахуванням цих обставин приймаємо, що продуктивність кожного з двох водозабірних вузлів становить 100%. від загальної. Слід відмітити, що таке рішення в тому числі підвищує надійність системи водопостачання в умовах воєнного стану.

Для кожного водозабірного вузла передбачаємо секціонування водозабірних споруд. Передбачається влаштування двох секцій, продуктивність кожної з них – 50% від загальної. Згідно рекомендацій [3, п. 9.2.13] розрахунок основних елементів споруди (отворів для пропуски води, решіток, сіток) слід проводити для нормальних умов роботи, тобто на 50% від загальної продуктивності, а визначення розрахункових втрат напору та максимально можливої відмітки осі насосів будемо проводити для аварійного режиму, тобто для випадку, коли одна з секцій відключена, а інша вимушена пропускати 100% витрати.

Режим роботи обох майданчиків I-го підйому прийmemo рівномірним та безперервним протягом доби. Передбачається, що у разі виникнення пожежі протипожежний запас води в резервуарі чистої води буде відновлюватися в результаті деякого тимчасового скорочення споживання, пов'язаного з поливом, миттям вулиць, підлог та ін.

2.2.2 Визначення значень розрахункових продуктивностей

Водозабірні споруди та насосні станції майданчику 1-го підйому повинні забезпечувати забір та подачу води не тільки на забезпечення різних категорій потреб міста, але й для забезпечення власних потреб станції водопідготовки. На станції водопідготовки вода в основному витрачається на промивку фільтрувальних споруд з зернистим завантаженням. Так як сучасним рішенням є повторне використання промивної води після її очистки, то забір води на власні потреби станції водопідготовки можемо прийняти від 3% до 4% [3, п. 10.1.6], приймаємо 4%.

100% продуктивність споруд майданчику 1-го підйому визначимо з урахуванням цього фактору:

$$Q_p = Q_{\text{корис}} \alpha,$$

де α – коефіцієнт для врахування власних потреб станції водопідготовки,

$$\alpha = 1,04;$$

$Q_{\text{корис}}$ – максимально добова витрата води, що подається до міста

$$Q_{\text{корис}} = 40000 \text{ м}^3/\text{доб} \text{ (табл. 1.2).}$$

$$Q_p = 40000 \cdot 1,04 = 41600 \text{ м}^3/\text{доб} = 1733 \text{ м}^3/\text{год} = 481 \text{ л/с.}$$

Відповідно,

70% продуктивність буде дорівнювати 337 л/с,

50% продуктивність – 241 л/с (0,241 м³/с).

2.2.3 Розрахунок решіток та сіток

Визначаємо необхідну площу отворів, перекритих решітками, через які вода надходить в приймальне відділення, а також необхідну площу сітки за такою формулою :

$$\Omega = 1,25 \cdot \frac{Q_{p1}}{V_B} \cdot K_{\text{ст}} ,$$

де v_B – швидкість руху води, яка приймається у відповідних водоприймальних отворах, для решіток з урахуванням наявності заходів з рибозахисту приймемо $v_B = 0,2$ м/с, для сіток – $v_B = 0,5$ м/с;

Q_{p1} – продуктивність однієї секції, дорівнює 50% від загальної продуктивності

$$Q_p = 241 \text{ л/с} = 0,241 \text{ м}^3/\text{с};$$

$K_{ст}$ – коефіцієнт, який дозволяє оцінити стискання отворів або стрижнями решіток, або дротом сіток,

Для решіток $K_{ст}$ знаходимо за допомогою виразу наступного виразу [7]:

$$K_{ст} = \frac{a_{ст} + c_{ст}}{a_{ст}},$$

де $a_{ст}$ – ширина простору між стрижнями решіток, приймаємо $a_{ст} = 5$ см;

$c_{ст}$ – товщина стрижнів решіток, візьмемо $c_{ст} = 1$ см.

$$K_{ст} = \frac{5 + 1}{1} = 1,2.$$

Для визначення $K_{ст}$ сіток скористаємося виразом [5]:

$$K_{ст} = \left(\frac{a_{ст} + c_{ст}}{a_{ст}} \right)^2,$$

де $a_{ст}$ – розмір комірки полотна сітки, приймаємо $a_{ст} = 2$ мм;

$c_{ст}$ – товщина дроту, з якого виготовлене полотно сітки, приймаємо $c_{ст} = 1$ мм.

$$K_{ст} = \left(\frac{2 + 1}{2} \right)^2 = 2,25.$$

Обчислюємо необхідну площу решіток (приймаємо що вони будуть однакові як для берегового так руслового водозабору):

$$\Omega = 1,25 \cdot \frac{0,241}{0,2} \cdot 1,2 = 1,8 \text{ м}^2.$$

Приймаємо для кожної секції кожного водозабірною вузла решітки розміром 1250x1500 мм, масою 135 кг [8].

Обчислюємо необхідну площу сіток:

$$\Omega = 1,25 \cdot \frac{0,241}{0,5} \cdot 2,25 = 1,36 \text{ м}^2.$$

Оскільки умови водозабору важкі, то приймаємо встановлення між приймальними та всмоктувальними відділеннями сіток, що обертаються, а саме сіток з зовнішнім підводом води марки ГН-1500, яка має такі характеристики:

- діапазон пропускної здатності – 1,5-3 м³/с;
- ширина полотна (В_с) – 1500 мм;
- розмір комірок – 2х2мм ;
- радіус – 730 мм ;
- відстань від вісі нижньої зірочки до дна водоприймача – 1000 мм ;
- відстань від вісі верхньої зірочки до підлоги службового павільйону водоприймача – 1100 мм;
- максимальна висота механізму сітки над підлогою службового павільйону – 2695 мм.

Необхідна глибина занурення полотна сітки дорівнює

$$H_c = \frac{\Omega}{B_c} = \frac{1,36}{1,5} = 0,91 \text{ м.}$$

2.2.4 Обчислення відміток рівнів води у відділеннях водозабору

Водозабірна споруда складається з двох відділень: приймального та всмоктувального. Вода послідовно через решітки для затримання сміття заходить спочатку до приймального відділення, а потім, проходячи через сітки, які обертаються, надходить до всмоктувального відділення, а вже звідти по всмоктувальним трубопроводам відкачується насосами насосної станції I-го підйому.

Розрахунковими рівнями води в указаних відділеннях будуть рівні, які встановлюються, коли в річці спостерігається найменший рівень води $Z_{ГНВ}$ (з 95% забезпеченістю).

Таким чином, розрахунковий рівень води в приймальному відділенні $Z_{р.пр}$ берегового водозабору буде меншим від $Z_{ГНВ}$ на величину втрат напору в решітках

h_p , а розрахунковий рівень води у всмоктувальному відділенні $z_{p.вс}$ буде меншим від $z_{p.пр}$ на величину втрат напору у сітках, які обертаються, h_{cIT} .

$$z_{p.пр} = z_{ГНВ} - h_p, \quad z_{p.вс} = z_{p.пр} - h_{cIT}.$$

Втрати напору в решітках можемо прийняти, орієнтуючись на діапазон 0,05-0,1 м, а втрати напору в сітках, що обертаються, – на діапазон 0,1-0,3 м [8]. Приймаючи до уваги рекомендації [3, п. 9.2.13], про те, що втрати напору при розрахунку водозабірної споруди слід приймати для аварійного режиму, приймаємо верхнє значення: $h_p = 0,1$ м, $h_{cIT} = 0,3$ м.

Згідно завданню мінімальний рівень води в р. Сула в районі місця для влаштування водозабору (перший створ) становить $z_{ГНВ} = 84$ м, в другому створі, який знаходиться на відстані 1,1 км від першого, $z_{ГНВ} = 84,2$ м.

Проведемо обчислення

– для першого створу

$$z_{p.пр \min} = 84 - 0,1 = 83,9 \text{ м}; \quad z_{p.вс \min} = 83,9 - 0,3 = 83,6 \text{ м}.$$

– для другого створу

$$z_{p.пр \min} = 84,2 - 0,1 = 84,1 \text{ м}; \quad z_{p.вс \min} = 84,1 - 0,3 = 83,8 \text{ м}.$$

Аналогічні обчислення проведемо, для періоду, коли в річці встановлюється найбільший рівень води $z_{ГВВ}$. Згідно завданню $z_{ГВВ} = 86$ м (для першого створу), для другого $z_{ГВВ} = 86$ м.

Для цього випадку критичними значеннями рівнів води є їх максимально можливі величини, тому при визначенні цих параметрів у відділеннях водозабору будемо використовувати такі значення втрат напору в решітках та сітках, які відповідають нормальному режиму роботи споруди, тобто $h_p = 0,05$ м, $h_{cIT} = 0,1$ м.

Результати розрахунків найбільше можливих рівнів воду у відділеннях водозабору

– для першого створу

$$z_{p.пр \max} = 86 - 0,05 = 85,95 \text{ м}; \quad z_{p.вс \max} = 85,95 - 0,1 = 85,85 \text{ м}.$$

– для другого створу

$$z_{p.пр \min} = 86,2 - 0,05 = 86,15 \text{ м}; \quad z_{p.вс \min} = 86,15 - 0,1 = 86,05 \text{ м}.$$

2.2.5 Визначення значень розрахункового напору насосних станцій I-го підйому, підбір насосних агрегатів

Необхідний напір насосів НС I-го підйому складається з наступних доданків [9]:

$$H_{н.с.} = H_{\Gamma} + h_{вс} + h_{ст} + h_{н} + h_{в},$$

де H_{Γ} – геометрична висота підйому води, що представляє собою різницю відміток рівня води в першій споруді на станції водопідготовки $z_{о.с.}$ (згідно завданню $z_{о.с.} = 125,00$ м) та мінімального рівня води в всмоктувальному відділенні водозабірної споруди $z_{р.вс \min}$:

$$H_{\Gamma} = z_{о.с.} - z_{р.вс \min}.$$

$h_{вс}$ – втрати напору, що відбуваються в всмоктувальних трубопроводах майданчику I-го підйому, для попередніх розрахунків можна прийняти $h_{ст} = 0,5-1,0$ м [9], приймаємо $h_{ст} = 1,0$ м;

$h_{ст}$ – втрати напору, що відбуваються в внутрішніх напірних трубопроводах НС I-го підйому, в [9] рекомендується приймати в діапазоні $3,0-5,0$ м, приймаємо $h_{ст} = 5,0$ м;

$h_{в}$ – вільний напір при виливі в напірний резервуар (змішувач), в [9] рекомендується приймати в діапазоні $1,0-1,5$ м, приймаємо $h_{в} = 1,0$ м;

$h_{н}$ – втрати напору в зовнішніх напірних водоводах, визначаємо за формулою

$$h_{н} = (1,1 \div 1,2) \cdot 1000i \cdot l_{н}$$

де $l_{н}$ – довжина зовнішніх напірних водоводів, що подають воду на станцію водопідготовки,;

$1,1 \div 1,2$ – коефіцієнт, за допомогою якого враховуємо втрати напору на подолання місцевих опорів [9], приймаємо $1,2$.

Згідно схемі на рис. 2.3 довжина напірних водоводів для насосної станції першого вузла буде дорівнювати $l_{н} = 0,5 + 3,0 = 3,5$ км, для насосної станції другого вузла $l_{н} = 1,0 + 3,0 = 4,0$ км.

Згідно [3, п. 12.2 та п. 8.4] передбачаємо прокладання напірних водоводів в дві нитки для того, щоб забезпечити виконання умов, описаних в табл. 9 [3, п.8.4].

Приймаємо, що пропускна здатність кожної нитки становить 50% від повної витрати, тобто 241 л/с. Згідно [3, п. 12.21], де рекомендується для напірних водоводів використовувати неметалеві труби, приймаємо поліетиленові труби.

Підберемо діаметри напірних водоводів, орієнтуючись на розрахункову витрату та наступний діапазон швидкостей $v = 1,2-2,0$ м/с [9].

$$d = 500 \text{ мм}; \quad v = 1,57 \text{ м/с}; \quad 1000i = 4,185.$$

Проведемо необхідні обчислення:

- для першого вузла:

- геометрична висота підйому води

$$H_r = 125,00 - 83,6 = 41,4 \text{ м.}$$

- втрати напору, що відбуваються в напірних водоводах

$$h_n = 1,2 \cdot 4,185 \cdot 3,5 = 17,6 \text{ м.}$$

- розрахунковий напір насосної станції

$$H_{н.с.} = 41,4 + 1,0 + 5,0 + 17,6 + 1,0 = 66,0 \text{ м};$$

- для другого вузла:

- геометрична висота підйому води

$$H_r = 125,00 - 83,8 = 41,2 \text{ м.}$$

- втрати напору, що відбуваються в напірних водоводах

$$h_n = 1,2 \cdot 4,185 \cdot 4,0 = 20,1 \text{ м.}$$

- розрахунковий напір насосної станції

$$H_{н.с.} = 41,2 + 1,0 + 5,0 + 20,1 + 1,0 = 68,3 \text{ м.}$$

Враховуючи необхідну подачу насосних станцій обох вузлів (прийнято 100% від загальної), яка дорівнює $Q_{н.ст.} = 1733 \text{ м}^3/\text{год}$, та розрахункові напори підбираємо для них насосні агрегати. Згідно [3, п. 11.2] для системи водопостачання I категорії надійності ми повинні прийняти мінімум два робочих та мінімум два резервних насосних агрегати.

Користуючись каталогом насосів [10], для насосних станцій обох вузлів підбираємо насоси марки Д 1250-63, робочі характеристики яких представлено на рис. 2.4, а габаритні розміри на рис. 2.5 (розшифрування позначень на рис. 2.5 приведено в [10]).

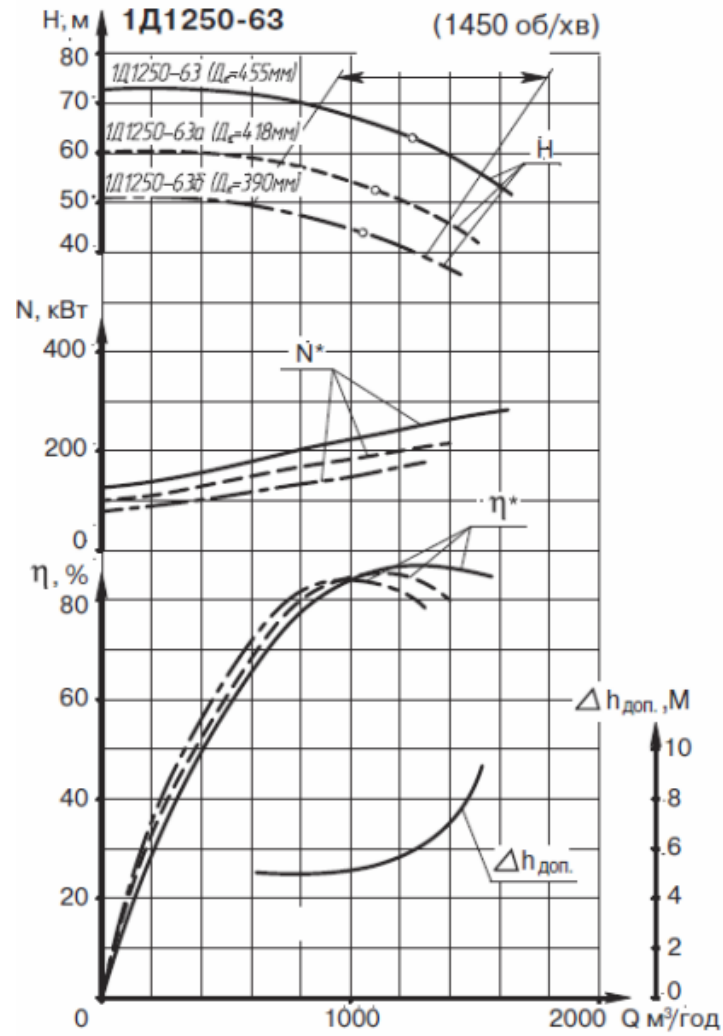


Рисунок 2.4 – Робочі характеристики насоса Д 1250-63 [10]

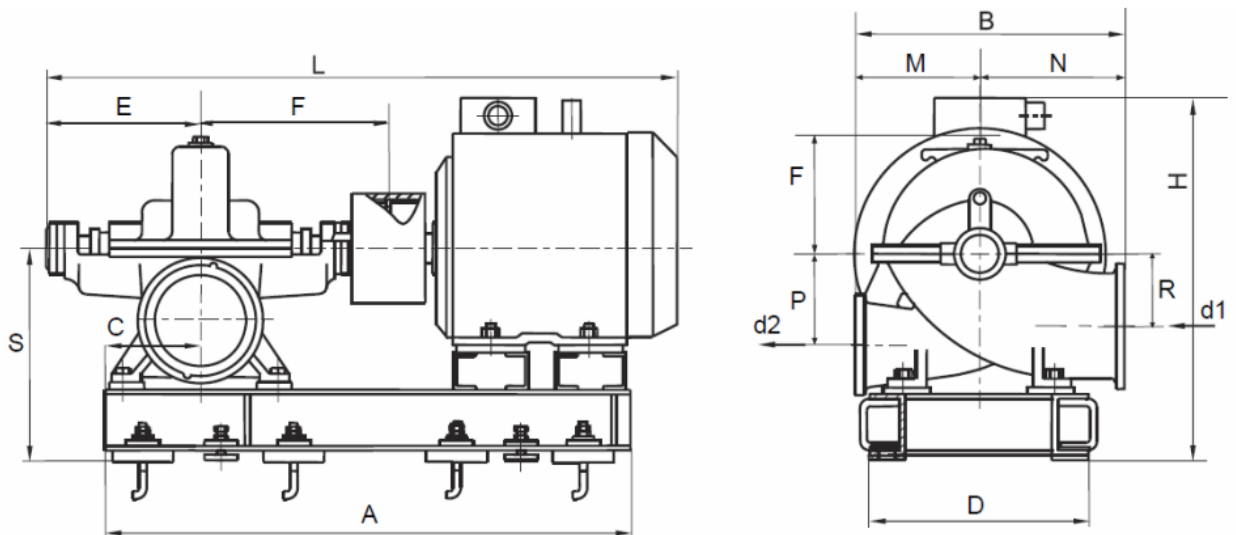


Рисунок 2.5 – Габаритні розміри насоса Д 1250-63 [10]

При номінальній подачі ($1733/2 = 867 \text{ м}^3/\text{год}$) насос марки Д 1250-63 має такі параметри:

- частота обертання робочого колеса при номінальній частоті струму $n = 1450 \text{ об/хв}$;
- діаметр робочого колеса $D_{\text{рк}} = 455 \text{ мм}$;
- робочий напір $H = 68,5 \text{ м}$;
- потужність на валу $N = 220 \text{ кВт}$;
- ККД $\eta = 84 \%$;
- кавітаційний запас $\Delta h_{\text{доп}} = 4,8 \text{ м}$;
- діаметр напірного патрубку $D_{\text{нап.п}} = 250 \text{ мм}$;
- діаметр всмоктувального патрубку $D_{\text{вс.п}} = 350 \text{ мм}$.

Побудуємо графіки сумісної роботи насосів та напірних водоводів для таких варіантів:

- 1) подача здійснюється двома робочими насосами з вузла водозабірних споруд №1;
- 2) подача здійснюється двома робочими насосами з вузла водозабірних споруд №2;
- 3) подача здійснюється одним робочим насосом з вузла водозабірних споруд №1 та другим робочим насосом з вузла №2;

Q-H характеристику насосу беремо з каталогу відцентрових насосів [10], а Q-H характеристику водовода будемо, використовуючи наступне рівняння

$$H = H_{\text{ст}} + S \cdot Q^2,$$

де $H_{\text{ст}} = H_{\text{г}} + h_{\text{св}}$ – статичний (сума геометричної висоти підйому та вільного напору) напір, м.

S – коефіцієнт опору системи водоводів, $\text{м}/(\text{м}/\text{год})^2$, знайдемо за наступною залежністю

$$S_{\text{пр}} = \frac{h_{\text{вс}} + h_{\text{ст}} + h_{\text{н}}}{(0,5 \cdot Q_{\text{н.ст.}})^2}.$$

Проведемо розрахунки:

- для водоводів від першого вузла:

$$H_{\text{ст}} = 41,4 + 1,0 = 42,4 \text{ м};$$

$$S_1 = \frac{1,0 + 17,6 + 5,0}{(0,5 \cdot 1733)^2} = 3,143 \cdot 10^{-5} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{год})^2.$$

- для водоводів від другого вузла:

$$H_{\text{ст}} = 41,2 + 1,0 = 42,2 \text{ м}.$$

$$S_2 = \frac{1,0 + 20,1 + 5,0}{(0,5 \cdot 1733)^2} = 3,476 \cdot 10^{-5} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{год})^2.$$

Щоб побудувати графіки сумісної роботи насосів та напірних водоводів для 3-го варіанту, ми повинні привести Q-H характеристики насосів першого та другого вузлів до точки О, де потоки води, що подається відповідними насосними станціями, об'єднуються (рис. 2.3). Для цього з номінальної характеристики насоса Д 1250-63, яка приведена в каталозі [10], необхідно відняти відповідні втрати напору ($S_{01}Q^2$ та $S_{02}Q^2$) на ділянках від вузлів до точки сходу потоків (т. О). Також треба визначити втрати напору та коефіцієнт опору на ділянці від т. О до станції водопідготовки.

Проведемо розрахунки:

- ділянка водоводів від першого вузла до точки сходу потоків (т. О):

- втрати напору:

$$h_{\text{н}} = 1,2 \cdot 4,185 \cdot 0,5 = 2,51 \text{ м};$$

- коефіцієнт опору:

$$S_{01} = \frac{1,0 + 2,51 + 5,0}{(0,5 \cdot 1733)^2} = 1,133 \cdot 10^{-5} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{год})^2.$$

- ділянка водоводів від другого вузла до точки сходу потоків (т. О):

- втрати напору:

$$h_{\text{н}} = 1,2 \cdot 4,185 \cdot 1,0 = 5,02 \text{ м};$$

- коефіцієнт опору:

$$S_{02} = \frac{1,0 + 5,02 + 5,0}{(0,5 \cdot 1733)^2} = 1,468 \cdot 10^{-5} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{год})^2.$$

- ділянка водоводів від точки сходу потоків (т. О) до станції водопідготовки:

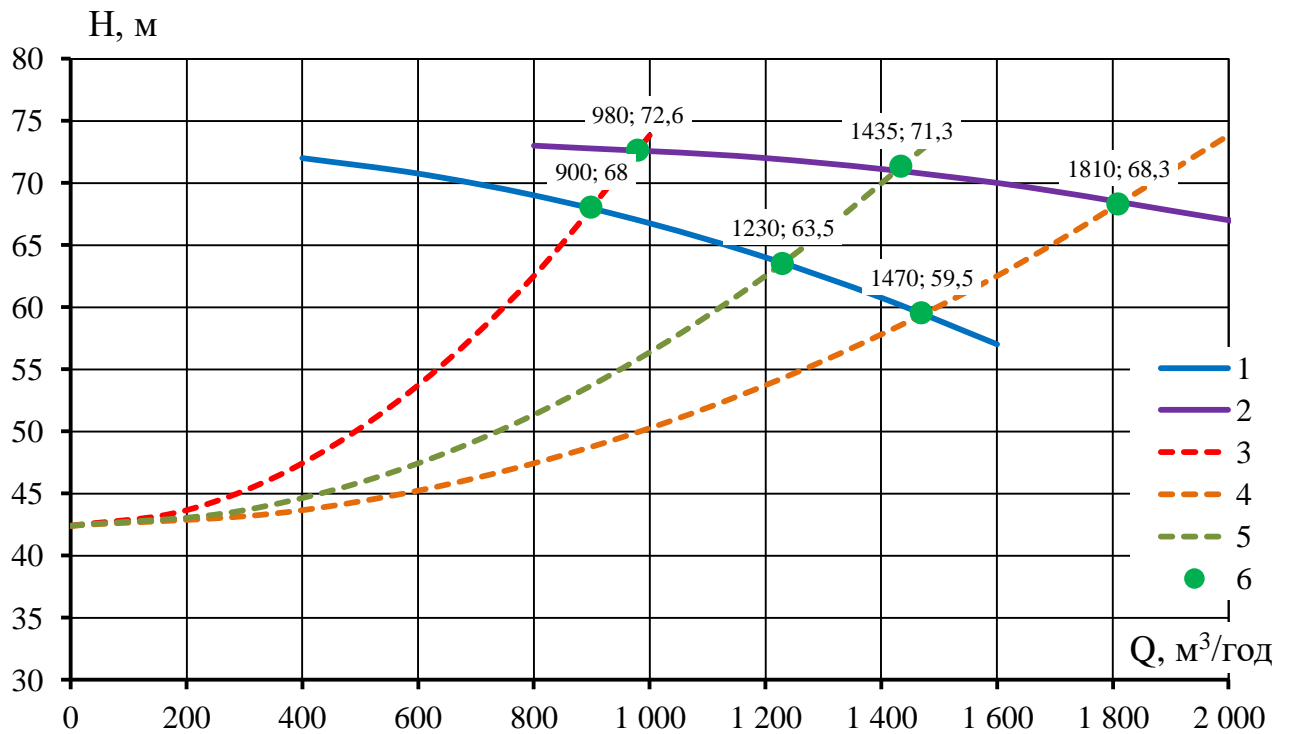
- втрати напору:

$$h_H = 1,2 \cdot 4,185 \cdot 3,0 = 15,1 \text{ м};$$

– коефіцієнт опору:

$$S_{0-OC} = \frac{15,1}{(0,5 \cdot 1733)^2} = 2,01 \cdot 10^{-5} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{ГОД})^2.$$

Графіки сумісної роботи насосів та напірних водоводів для указаних варіантів представлені на рис. 2.6-2.8.



1 – Q-H характеристика роботи одного насоса;

2 – Q-H характеристика роботи двох насосів;

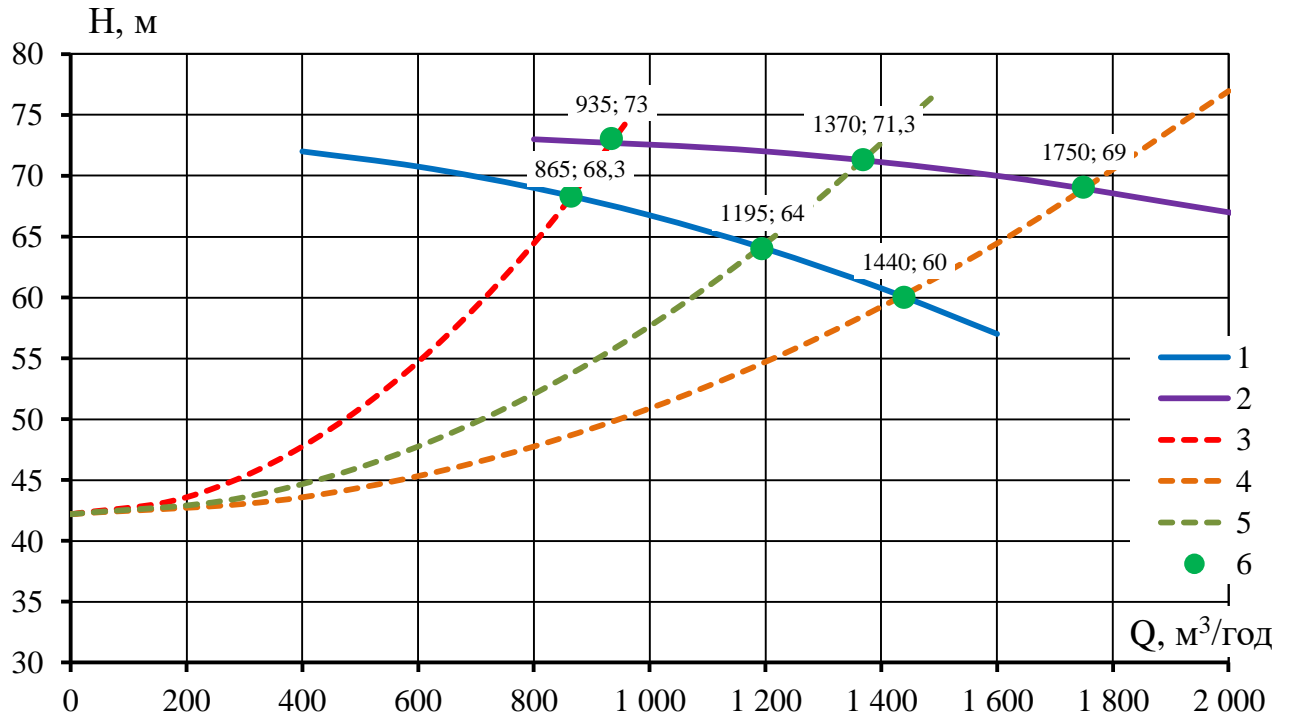
3 – Q-H характеристика роботи одного водовода;

4 – Q-H характеристика роботи двох водоводів;

5 – Q-H характеристика роботи двох водоводів з двома перемичками при аварії;

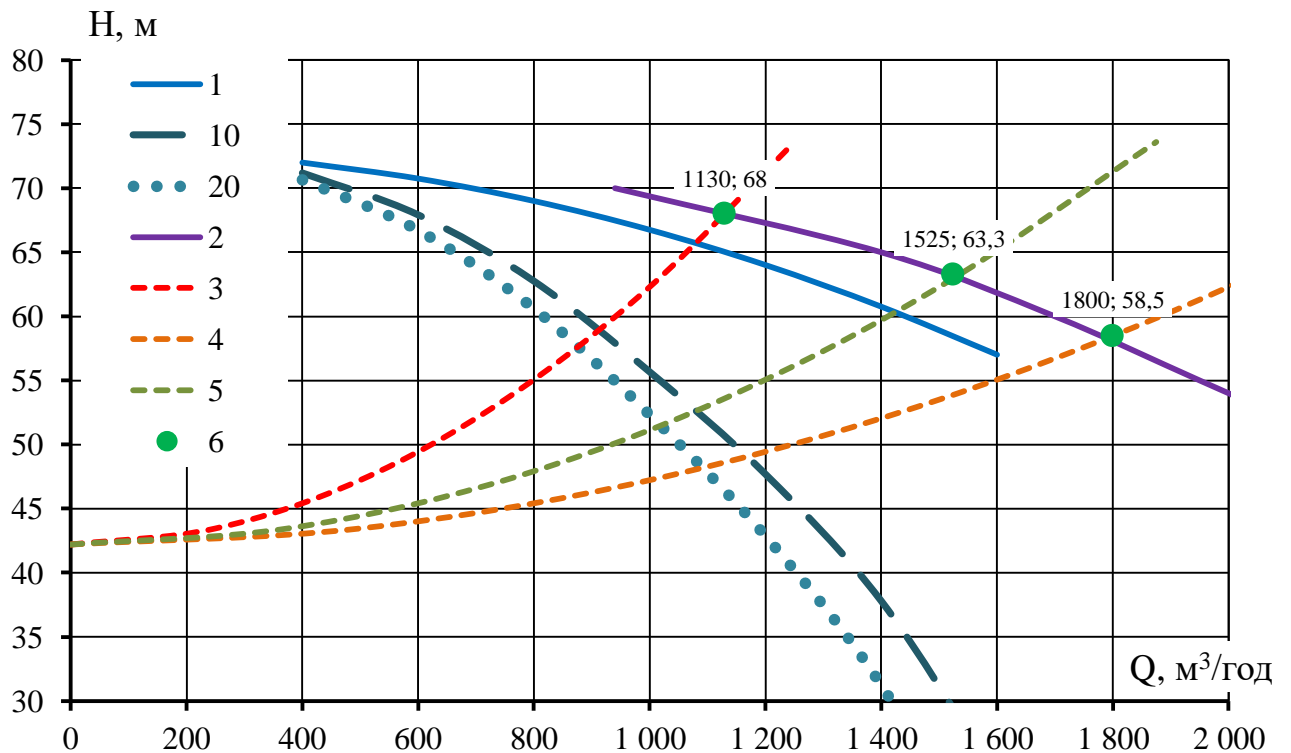
6 – робочі точки системи, що складається з насосів та водоводів

Рисунок 2.6 – Графіки сумісної роботи насосів та напірних водоводів (варіант 1)



позначення такі ж, як і на рис. 2.6

Рисунок 2.7 – Графіки сумісної роботи насосів та напірних водоводів (варіант 2)



1 – номінальна Q-H характеристика роботи одного насоса;

10, 20 – Q-H характеристики насосів, відповідно в вузлах 1 та 2, приведені к т. О;

2-6 – позначення такі ж, як і на рис. 2.6

Рисунок 2.8 – Графіки сумісної роботи насосів та напірних водоводів (варіант 3)

Перевіряємо пропускну здатність системи при виході з ладу на одній з ниток водоводів. Згідно [3, п. 8.4] при аварії елементи системи водопостачання, які залишилися в роботі, повинні пропустити 70% від загальної витрати. В нашому випадку нижня межа аварійної витрати складає $0,7 \cdot 1733 = 1213 \text{ м}^3/\text{год}$. Як показують розрахунки (рис. 2.6-2.8), для всіх варіантів, якщо працює одна нитка водоводів, пропуск мінімальної аварійної витрати не забезпечується:

- 1) $980 \text{ м}^3/\text{год} < 1213 \text{ м}^3/\text{год}$;
- 2) $935 \text{ м}^3/\text{год} < 1213 \text{ м}^3/\text{год}$;
- 3) $1130 \text{ м}^3/\text{год} < 1213 \text{ м}^3/\text{год}$.

Тому передбачаємо влаштування на двох перемичок, які розділяють водоводи приблизно на три рівні частини. В цьому випадку при аварії з ладу виходить не вся нитка, а тільки її третина. При такому рішенні для всіх варіантів забезпечується подача води, значення якої вище мінімальної аварійної витрати:

- 1) $1435 \text{ м}^3/\text{год} > 1213 \text{ м}^3/\text{год}$;
- 2) $1370 \text{ м}^3/\text{год} > 1213 \text{ м}^3/\text{год}$;
- 3) $1525 \text{ м}^3/\text{год} > 1213 \text{ м}^3/\text{год}$.

2.2.6 Визначення відмітки осі насосів

Згідно вимог [3, п. 11.3] на насосних станціях I категорії насоси повинні бути встановлені під заливом. Таким чином, відмітка осі насосів бути менша за відмітку рівня води у всмоктувальному відділенні водозабору мінімум на величину, що дорівнює півдіаметра робочого колеса, що для нашого випадку складає $455/2 = 228 \text{ мм}$. Прийmemo значення перепаду $0,5 \text{ м}$.

Однак, додатково ми повинні врахувати всмоктувальні можливості насоса в даних умовах, тобто визначити максимальну геометричну висоту всмоктування $H_{г.в.}$, що як раз і представляє собою різницю геодезичних відміток осі насоса та рівня води в всмоктувальному резервуарі.

Для розрахунку $H_{г.в.}$ скористаємося наступною залежністю:

$$H_{г.в.} = H_a - h_t - \Delta h_{доп} - \frac{v_{вс.патр.}^2}{2 \cdot g},$$

де H_a – напір, що відповідає тиску атмосфери, $H_a = 10$ м;

h_t – напір, що відповідає тиску утворення пари при даній температурі, при 20°C $h_t = 0,24$ м;

$v_{вс.патр.}$ – швидкість води у всмоктувальному патрубку насоса при розрахунковій витраті $Q = 0,241$ м³/с, м/с:

$$v_{вс.патр.} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_{вс.п.}^2} = \frac{4 \cdot 0,241}{3,14 \cdot 0,35^2} = 2,51 \text{ м/с.}$$

$$H_{г.в.} = 10 - 0,24 - 4,8 - \frac{2,51^2}{2 \cdot 9,81} = 4,64 \text{ м,}$$

$H_{г.в.}$ має позитивне значення, тому розташування осі насосів приймаємо на 0,5 м нижче рівня води у всмоктувальному відділенні.

2.2.7 Принципи визначення розмірів споруд майданчика I-го підйому та підбору обладнання

Для першого вузла розміри підземної частини водозабору суміщеного з насосною станцією визначаємо, враховуючи розміщення наступного обладнання: решіток, сіток, насосних агрегатів, трубопроводів, арматури. Форма в плані – кругла, діаметр – 12 м. Насосну станцію приймаємо заглибленого типу.

Для другого вузла:

- розміри підземної частини берегового водозабору визначаємо, враховуючи розміщення решіток та сіток та сіток, що обертаються; форма в плані – кругла, діаметр – 6 м.
- розміри підземної частина будівлі насосної станції визначаємо, враховуючи розміщення насосних агрегатів, всмоктувальних та напірних трубопроводів, арматури; форма в плані – прямокутна, розміри – 9x12 м; насосну станцію приймаємо напівзаглибленого типу.

Величину заглиблення підземних частин визначаємо з урахуванням умов розташування для водозаборів – решіток, сіток, воронок всмоктувальних трубопроводів, для насосних станцій – самих насосних агрегатів, всмоктувальних та напірних трубопроводів.

Виконання підземних частин указаних споруд приймаємо з монолітного залізобетону.

Для наземних частин указаних споруд форму в плані приймаємо прямокутну, їх розміри:

- 1-й вузол водозабірних споруд – 15x12 м;
- 2-й вузол водозабірних споруд: водозабір – 9x6 м, насосна станція – 18x9 м.

Виконання наземних частин основних будівель приймаємо з збірного залізобетону.

Висоту наземної частини визначаємо з урахуванням розміщення обладнання, характеристик підйомно-транспортного обладнання, характеристик вантажного автомобіля, розмірів найбільш габаритного вантажу, розмірів обладнання, розташованого в наземній частині. З урахуванням того, що висота наземної частини повинна бути кратна 1,2 м приймаємо

- 1-й вузол водозабірних споруд – 7,2 м;
- 2-й вузол водозабірних споруд: водозабір – 6 м, насосна станція – 6 м.

Розміри камер переключень, в яких розташовано напірний колектор та гасії гідравлічного удару, для обох вузлів приймаємо прямокутними в плані, розміри 6x6 м, висота наземної частини – 4,8 м.

Підбір діаметрів всмоктувальних та напірних трубопроводів насосних станцій здійснюємо з урахуванням відповідних витрат та діапазону швидкостей, рекомендованих [3, п. 11.8].

Підбір трубопровідної арматури (засувки, поворотні дискові затвори, зворотні клапани) здійснюємо за відповідними каталогами [11] в залежності від діаметру трубопроводу, на якому вони встановлені, та тиску в ньому.

В машинному залі насосних станцій передбачаємо влаштування лотка та приямка для відведення дренажних вод, а також застосування дренажного

занурювального насоса одного робочого та одного резервного (зберігається на складі).

У якості основного підйомно-транспортного обладнання приймаємо кран-балки, їх вантажопідйомність для насосних станцій та водозаборів – 5 т, для камер переключень – 1 т. Підбір здійснюємо за каталогом [12]. Для можливості підйому решіток для їх очищення і заміни передбачаємо встановлення на балконі водозабору талів.

Також передбачаємо застосування щитових затворів для можливості перекриття водоприймальних отворів та отворів між секціями водозаборів.

Для забезпечення вимог рибозахисту передбачаємо підведення до стрижнів решіток слабкого електричного струму.

Видалення наносів та осаду з відділень водозабору передбачаємо за допомогою гідроелеваторів. Для можливості автоматичної промивки сіток, що обертаються, передбачаємо підведення до них трубопроводу $d = 50$ мм від напірних ліній насосних станцій.

3 ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СПОРУД МАЙДАНЧИКУ І-ГО ПІДЙОМУ

3.1 Технічна експлуатація основного обладнання

Водоприймальні решітки та сітки

Водоприймальні решітки є першою лінією захисту водозабірної споруди від засмічення. Вони затримують крупне сміття — гілки, листя, плаваючий льодовий шуга — і запобігають потраплянню його у всмоктувальний відсік. Конструкція решіток передбачає стержневі або пластинчасті елементи з просвітами від 50 до 150 мм. Залежно від характеру джерела та сезону решітки можуть замерзати і покриватися шугою, що різко знижує їх пропускну здатність. Для боротьби з цим явищем застосовують електричний або паровий обігрів металевих елементів решіток, а також примусову промивку зворотним струменем води.

Фільтруючі сітки розташовуються за решітками і призначені для затримання дрібнішого планктону, мулу та суспензій. В сучасних береговий водозаборах широко застосовуються барабанні сітки з дротяної тканини з коміркою від 0,5 до 5 мм, що обертаються з постійною або регульованою швидкістю і безперервно промиваються струменями води під тиском. Важливим аспектом технічної експлуатації сіток є своєчасна заміна зношеного сітчастого полотна та контроль цілісності гумових ущільнень рамної конструкції. Пошкодження сітки призводить до прориву забруднень у всмоктувальний відсік, що може спричинити кавітаційне пошкодження насосів.

Регламент технічного обслуговування решіток і сіток включає щоденний огляд стану полотна і рамних конструкцій, щотижневий контроль перепаду рівнів між відсіками, щомісячне мащення підшипників барабанного механізму, а також сезонне профілактичне обслуговування перед льодоставом і весняним водопіллям [13]. Показники перепаду тиску на сітках є одним з ключових параметрів контролю: зростання цього перепаду понад допустимого значення свідчить про засмічення і є сигналом до посиленого режиму промивки.

Насосне обладнання першого підйому

Насоси першого підйому є основним обладнанням берегового водозабору. Від їх надійності безпосередньо залежить безперебійність водопостачання.

Організація технічного обслуговування насосного обладнання передбачає кілька рівнів. Щозмінне обслуговування включає контроль температури підшипників і сальникових ущільнень, перевірку рівня масла в підшипникових камерах, контроль вібрації та шуму, спостереження за показниками манометрів і вакуумметрів. Щомісячне обслуговування передбачає доливання або заміну масла, підтягування або заміну набивки сальників, перевірку стану з'єднувальних муфт. Щорічне обслуговування включає повне розбирання насоса, огляд і заміну зношених деталей – робочого колеса, ущільнюючих кілець, підшипників.

Кавітація є одним з найнебезпечніших явищ, що загрожують насосному обладнанню. Вона виникає тоді, коли тиск у всмоктувальному трубопроводі знижується нижче тиску насичених парів рідини, внаслідок чого утворюються і миттєво схлопуються парові бульбашки. Це супроводжується характерним шумом, вібрацією і призводить до ерозійного руйнування деталей насоса. Для запобігання кавітації необхідно суворо дотримуватися допустимої вакуумметричної висоти всмоктування і уникати роботи насосів у режимах, що виходять за межі їх робочих характеристик.

Трубопроводи і арматура

Система трубопроводів берегового водозабору включає всмоктувальні лінії від відсіків до насосів, напірні лінії від насосів до вузла обліку або очисних споруд, а також трубопроводи допоміжних систем – дренажу, промивки, обігріву. Матеріал трубопроводів вибирається з урахуванням корозійної активності води, температурних умов і робочого тиску. Найчастіше застосовуються сталеві трубопроводи з антикорозійним покриттям, чавунні, а в сучасних спорудах – поліетиленові і склопластикові.

Арматура водозабірних споруд включає засувки, зворотні клапани, запобіжні клапани, регулятори тиску та витрати. Засувки встановлюються на всіх

основних вузлах трубопровідної системи, що дозволяє відключати окремі ділянки для ремонту без зупинки всієї споруди. Зворотні клапани запобігають зворотному руху рідини при зупинці насосів, що захищає обладнання від гідравлічного удару. Регламент обслуговування арматури передбачає щоквартальну перевірку легкості ходу засувки і щорічне фарбування зовнішніх поверхонь.

Гідравлічний удар являє собою суттєву загрозу для трубопровідної системи водозабору. Він виникає при різкому відкритті або закритті арматури, аварійній зупинці насосів або перемиканні режимів роботи. Хвиля підвищеного тиску, що поширюється по трубопроводу з великою швидкістю, може спричинити розрив труб або деформацію фланцевих з'єднань. Для захисту від гідравлічного удару застосовуються повільне відкриття і закриття арматури (не менше 30–60 секунд), встановлення гасників гідравлічного удару та систем плавного пуску і зупинки насосів.

3.2 Контроль якості води та санітарна охорона

Системи моніторингу якісних показників

Якість води у поверхневих джерелах є динамічним параметром, що змінюється під впливом природних і антропогенних чинників. Весняна повінь несе велику кількість зважених речовин і гумінових сполук; літо характеризується інтенсивним розвитком фітопланктону і водоростей; осінній дощовий сезон пов'язаний зі змивом з водозбору агрохімікатів та патогенів; зима відзначається загальним погіршенням кисневого режиму під льодом. Весь цей спектр змін персонал водозабору зобов'язаний відстежувати і враховувати при організації роботи споруди та попередньої обробки води.

Сучасні берегові водозабори обладнуються стаціонарними аналітичними приладами, що забезпечують безперервний автоматичний контроль ключових показників – каламутності, забарвленості, рН, температури, вмісту розчиненого кисню та специфічних забрудників. Дані з цих приладів надходять у систему диспетчерського управління і дозволяють оперативно реагувати на погіршення

якості. Поряд з автоматичним контролем, лабораторія водозабору проводить регулярний відбір проб і розширений хімічний та мікробіологічний аналіз відповідно до нормативного графіка.

Особливої уваги заслуговує контроль специфічних органічних забрудників, що можуть надходити зі стічними водами підприємств вище за течією. Нафтопродукти, феноли, важкі метали, пестициди – ці речовини можуть бути присутні у воді в концентраціях, що не визначаються рутинними методами аналізу, але здатні шкідливо впливати на здоров'я людини навіть у мікрограмових кількостях. Відтак підприємства, що здійснюють водозабір для питного водопостачання, повинні систематично проводити скринінговий аналіз на широкий спектр органічних забрудників.

Санітарна охорона водозабору та джерела

Відповідно до законодавства України та міжнародних стандартів, навколо водозабірних споруд встановлюються зони санітарної охорони (ЗСО), що складаються з трьох поясів [14-16]. Перший пояс, або пояс суворого режиму, безпосередньо оточує водозабір і охоплює ділянку берегу та акваторії на відстані не менше 200 м вище і 100 м нижче за течією від водозабірних споруд при ширині не менше 100 м вздовж кожного берега. На цій території категорично забороняється проживання, будівництво не пов'язаних з водозабором об'єктів, купання, рибальство і водний спорт.

Другий пояс ЗСО охоплює водозбір таким чином, щоб будь-який забрудник, що потрапив на цю територію, досяг водозабору не раніше ніж через певний нормативний час (зазвичай не менше 400 діб для мікробіологічних забрудників). В межах цього поясу обмежується застосування добрив і пестицидів, забороняється розміщення кладовищ і скотомогильників, тваринницьких комплексів і промислових підприємств, що забруднюють водойму. Третій пояс охоплює весь водозбір джерела і в ньому встановлюються менш суворі обмеження на господарську діяльність.

Персонал водозабору зобов'язаний здійснювати постійний нагляд за дотриманням режиму ЗСО: регулярно обходити периметр першого поясу, контролювати стан огорожі і воріт, виявляти і усувати порушення, а при виявленні стороннього забруднення негайно інформувати відповідні контролюючі органи. Особливу увагу в сучасних умовах слід приділяти запобіганню актам навмисного пошкодження або диверсії, для чого береговий водозабір обладнується системами відеоспостереження, охоронної сигналізації та фізичної охорони.

3.3 Сезонна експлуатація берегового водозабору

Весняний період. Пропуск повені та крижаного льоду

Весняний період є найбільш відповідальним і напруженим у річному циклі експлуатації берегового водозабору з річкового джерела. З початком танення снігу і льодоходу різко зростають рівень і витрата річки, у воду надходять великі кількості зважених і колоїдних речовин, можливий льодохід з крупними крижинами, що можуть пошкодити сітки і решітки. Персонал водозабору переходить на посилений режим чергування, частота оглядів обладнання збільшується.

Для захисту від льодових крижин навколо берегового водозабору у весняний період нерідко встановлюють запобіжні дерев'яні або металеві ряжі – частокіл паль, що відхиляє крупні крижини від водоприймальних вікон. Паралельно здійснюється посилена промивка решіток і сіток, оскільки навесні через них проходить максимальна кількість зважених речовин. Якщо перепад рівнів між водоприймальним і всмоктувальним відсіками досягає критичних значень, необхідно негайно вжити заходів до відновлення нормальної пропускнув здатності фільтруючих елементів.

Весняний паводок нерідко супроводжується тимчасовим різким погіршенням якості води. Каламутність може зростати в десятки і сотні разів порівняно з меженним рівнем, кольоровість значно підвищується через змив

гумінових речовин з боліт і заболочених угідь, а мікробіологічні показники часто погіршуються внаслідок змиву з поверхні водозбору тваринницьких відходів і агрохімікатів. Лабораторія водозабору в цей час переходить на посилений графік контролю, а доза коагулянтів на очисних спорудах збільшується відповідно до реальних показників каламутності.

Літній та осінній сезони

Влітку основною проблемою є «цвітіння» водойми – масовий розвиток синьо-зелених водоростей (ціанобактерій). Ціанобактерії не лише погіршують органолептичні властивості води, надаючи їй специфічного запаху і присмаку, але й виділяють токсичні речовини – ціанотоксини, небезпечні для здоров'я людини. При масовому «цвітінні» рекомендується змінювати горизонт забору води (у водосховищах і озерах), посилювати попереднє хлорування або озонування, а також застосовувати розширену аналітичну програму для контролю вмісту мікроцистинів та інших ціанотоксинів.

Осінній сезон характеризується поступовим пониженням рівня і зниженням температури води. В цей час особлива увага приділяється профілактичному обслуговуванню обладнання перед зимовим сезоном: перевірці систем обігріву, ревізії арматури, підготовці аварійного запасу матеріалів і запасних частин. Також проводиться повторний огляд і за необхідності ремонт кріплення берегових схилів в межах першого поясу ЗСО, оскільки осінні дощі можуть спровокувати ерозійні процеси.

Зимовий сезон. Боротьба з льодоутворенням

Зима є складним сезоном для водозабору через загрозу льодоутворення на водоприймальних решітках і в підводній частині споруди. Найбільш небезпечним явищем є шуга – дрібні кристали льоду, що утворюються у переохолодженій турбулентній воді. Шуга здатна протягом кількох годин повністю закупорити водоприймальні отвори і призвести до повної зупинки водопостачання. Для боротьби з шугою застосовують електричний обігрів решіток, подавання теплого

повітря або пари у простір перед решітками, а також скорочення часу перебування води у водоприймальному відсіку шляхом збільшення продуктивності насосів.

Крім шуги, взимку можливе утворення внутрішньоводного льоду на оголовках і прийомних трубопроводах, а також намерзання льодового покриву безпосередньо на решітках. Ефективним заходом профілактики є підтримання постійної швидкості течії через водоприймальні отвори на рівні не нижче 0,1–0,2 м/с, оскільки при цьому кристалізація значно уповільнюється. На водозаборах, що розташовані в районах з суворими зимами, іноді влаштовують стаціонарні паропроводи вздовж зовнішньої стінки споруди, що дає змогу швидко розтопити льодові відкладення в аварійних ситуаціях.

3.4 Аварійна готовність та усунення відмов

Класифікація аварійних ситуацій

Аварійні ситуації на береговому водозаборі можна розділити на кілька категорій залежно від характеру і наслідків. До першої категорії відносяться відмови одиниць обладнання, що не призводять до зупинки водопостачання і можуть бути усунені черговим персоналом у плановому режимі. Прикладами є підвищена температура підшипника насоса, незначне підтікання через сальник, відмова одного з допоміжних пристроїв автоматики. Такі ситуації фіксуються в оперативному журналі і усуваються протягом чергової зміни або наступного робочого дня.

До другої категорії відносяться події, що вимагають аварійного перемикання режимів роботи і можуть спричинити короткочасне (до кількох годин) зниження подачі води. Найбільш поширені ситуації цього типу – відмова одного з насосів при роботі в многонасосному режимі, пошкодження трубопровідної арматури на одному з паралельних водоводів, вихід з ладу фільтруючих сіток. Для ліквідації таких ситуацій на водозаборі повинні бути розроблені конкретні планові рішення, а персонал – навчений їх виконанню.

Найбільш серйозними є аварії третьої категорії – катастрофічні події, що призводять до повного припинення подачі води на тривалий час. Це можуть бути повінь або льодохід, що пошкоджують споруду, обвал берегового схилу, руйнування напірного водоводу, масове забруднення джерела внаслідок аварії на підприємстві вище за течією. Для таких ситуацій повинні бути розроблені плани аварійного водопостачання, що передбачають використання резервних джерел, підвезення води автоцистернами та еventуальну евакуацію водоемних виробництв.

Аварійний захист і резервування

Принцип резервування є одним з фундаментальних в організації надійної роботи берегового водозабору. Він реалізується на кількох рівнях. На рівні насосного обладнання передбачається наявність резервних насосних агрегатів: якщо в нормальному режимі працюють два насоси, то третій і четвертий знаходяться в режимі гарячого або холодного резерву. Резервні агрегати повинні бути постійно підготовлені до пуску, їх технічний стан регулярно перевіряється пробними пусками.

На рівні електропостачання передбачається підключення до двох незалежних введів від різних підстанцій або джерел. При відмові основного живлення автоматично вмикається резервний ввід, а при аварії на обох вводах – дизельна електростанція власних потреб. Час автоматичного переключення на резервне живлення не повинен перевищувати 15–30 секунд, щоб уникнути критичного пониження тиску у водопровідній мережі. Дизельна електростанція повинна мати достатній запас пального для роботи не менше 24–48 годин.

На рівні водозабірних конструкцій резервування досягається влаштуванням двох і більше відокремлених водоприймальних секцій, кожна з яких здатна самостійно забезпечити мінімально необхідну подачу. При виведенні однієї секції на ремонт або очищення водопостачання продовжується з іншої. Це вимагає регулярного почергового техобслуговування секцій та підтримання у справному стані відповідної запірно-регулюючої арматури.

3.5 Облік спожитої води та енергоефективність

Вимірювання витрати і обсягу

Точний облік обсягів відібраної і поданої води є обов'язковою умовою правильного ведення господарства водопостачального підприємства. Водомірні прилади на береговому водозаборі встановлюються на напірних трубопроводах після насосів і дозволяють визначати миттєву витрату та накопичений обсяг перекачаної рідини. Найбільш поширеними типами витратомірів є електромагнітні (індукційні), ультразвукові та диференційно-тискові – кожен з яких має свою область застосування і вимоги до умов встановлення.

Електромагнітні витратоміри є найбільш точними (похибка вимірювання 0,5–1%) і позбавленими рухомих частин, тому вони мають мінімальні втрати напору і практично не потребують обслуговування. Їх суттєвим обмеженням є необхідність, щоб рідина мала достатню електропровідність – для природних вод це, як правило, виконується. Ультразвукові витратоміри зовнішнього монтажу дозволяють вимірювати витрату без врізання в трубопровід і зупинки роботи, що робить їх зручними для тимчасового або мобільного застосування.

Дані вимірювань фіксуються в оперативних і зведених журналах, передаються в систему диспетчеризації і використовуються для розрахунку балансу водопостачання. Різниця між виміряним обсягом відібраної і поданої споживачам води характеризує втрати в мережі, рівень яких є важливим показником ефективності роботи всієї системи. Дані щодо витрати також використовуються для оперативного регулювання режиму роботи насосів відповідно до поточного споживання.

Заходи з підвищення енергоефективності

Електроенергія є найбільшою статтею операційних витрат берегового водозабору, на яку може припадати від 40 до 70 відсотків загальних поточних витрат підприємства. Тому питання зниження питомих витрат електроенергії на підйом одиниці обсягу води є надзвичайно актуальним. Головним резервом тут є

впровадження частотно-регульованих електроприводів насосних агрегатів, що дозволяють плавно змінювати продуктивність насоса відповідно до поточної потреби без дроселювання арматури – нераціонального методу регулювання витрати з великими енергетичними втратами.

Застосування частотних перетворювачів дає змогу знизити споживання електроенергії на 20–40% залежно від графіку водоспоживання. Найбільший ефект досягається в тих системах, де є виражена нерівномірність споживання протягом доби: у нічні часи насоси можуть працювати на зниженій частоті обертання, забезпечуючи мінімально необхідну подачу, тоді як вранці і ввечері – в пікові години – частота зростає до максимуму. Система диспетчерського управління автоматично керує частотними перетворювачами відповідно до заданого графіку тиску або витрати.

Ще одним важливим напрямком підвищення енергоефективності є оптимізація гідравлічного режиму трубопровідної системи. Неочищені трубопроводи, особливо сталеві, з часом покриваються наростами іржі та біологічних відкладень, що суттєво підвищує їх гідравлічний опір. Очищення труб методом піскоструминної обробки або за допомогою м'яких кулеподібних снарядів (поліуретанових шарів) дозволяє відновити прохідність і знизити витрати електроенергії на перекачування. Цю операцію рекомендується проводити кожні 5–10 років залежно від якості води і матеріалу труб.

3.6 Управління персоналом та документація

Організаційна структура служби експлуатації

Служба експлуатації берегового водозабору є підрозділом водопостачального підприємства і очолюється начальником водозабору або головним інженером станції першого підйому. До складу служби входять оперативно-диспетчерський персонал (чергові оператори, змінні механіки), ремонтно-технічна група (слюсарі-ремонтники, електрики, зварювальники), лабораторія якості води та служба безпеки і охорони. Кількість персоналу

визначається продуктивністю водозабору, рівнем автоматизації і нормами обслуговування відповідного обладнання.

Черговий оператор водозабору несе безперервне чергування і є відповідальною особою за нормальне функціонування всіх систем в межах своєї зміни. Його обов'язки охоплюють систематичний обхід обладнання, знімання і реєстрацію показань контрольно-вимірювальних приладів, ведення оперативного журналу, виконання планових перемикачів і пусків за диспетчерськими заявками, а також виявлення і первинне усунення несправностей або повідомлення ремонтного персоналу. Обсяг прав і обов'язків чергового суворо регламентується виробничими інструкціями.

Кваліфікація персоналу є визначальним чинником надійності і безпеки водозабору. Всі оперативно-технічні працівники зобов'язані мати відповідну фахову освіту, пройти навчання на робочому місці і атестацію, а також регулярно підвищувати кваліфікацію. Особливо важливою є підготовка персоналу до дій в аварійних ситуаціях – регулярне проведення протиаварійних тренувань і навчань дозволяє відпрацювати злагодженість дій і скоротити час реагування до мінімуму.

Технічна документація та паспортизація

Технічна документація є інформаційною основою грамотної експлуатації берегового водозабору. Вона включає кілька категорій. Проектну документацію складають виконавчі кресленики споруд і мереж, технічні умови і паспорти на основне обладнання. Ця документація зберігається постійно і слугує базою при проведенні ремонтів і реконструкцій. Розрахункові схеми трубопроводних систем і паспорти насосних агрегатів містять необхідні дані для аналізу режимів роботи та визначення причин відхилень.

Оперативна документація включає оперативний журнал чергового, журнали обліку витрат електроенергії і об'єму поданої води, журнали результатів лабораторних аналізів, журнали технічного обслуговування і ремонтів. Ці журнали ведуться щодня і є первинними офіційними документами, що підтверджують виконання регламентних робіт і фактичні показники роботи.

Своєчасне і точне ведення оперативної документації є обов'язком кожного члена експлуатаційного персоналу.

Паспорт водозабору є зведеним документом, що містить опис конструктивних особливостей споруди, перелік основного і допоміжного обладнання з технічними характеристиками, дані про зони санітарної охорони, відомості про проведені ремонти і реконструкції. Паспорт регулярно актуалізується при внесенні змін в конструкцію або обладнання і є обов'язковим документом при проведенні технічних оглядів і перевірок контролюючими органами.

3.7 Перспективи розвитку та модернізації

Сучасні тенденції розвитку водопостачальної галузі суттєво впливають на підходи до організації і технічного переоснащення берегових водозаборів. Цифровізація і впровадження промислового інтернету речей відкривають принципово нові можливості для дистанційного моніторингу і управління. Сенсори, розміщені на всіх вузлах обладнання, в режимі реального часу передають дані про вібрацію, температуру, витрату і тиск до центральної системи диспетчеризації, де алгоритми машинного навчання аналізують ці дані і прогнозують можливі відмови задовго до їх фактичного виникнення.

Концепція предиктивного (прогностичного) технічного обслуговування, що поступово замінює традиційне планово-попереджувальне, дозволяє суттєво скоротити витрати на ремонти і одночасно підвищити надійність роботи обладнання. Замість того щоб замінювати підшипник або торцеве ущільнення через фіксований інтервал часу, незалежно від фактичного стану деталей, система прогнозного обслуговування визначає оптимальний момент втручання на основі поточних трендів вібрації та температури. Це дозволяє уникнути як передчасної заміни ще придатних деталей, так і запізненого реагування, що закінчується аварією.

Підвищення вимог до якості питної води, пов'язане з відкриттям нових класів мікробрудників – фармацевтичних препаратів, мікропластику, сполук перфторованих кислот – зумовлює необхідність вдосконалення систем попередньої обробки води безпосередньо на водозаборі. Попереднє озонування, активне вугілля, ультрафільтрація – ці технології дедалі частіше інтегруються в комплекс берегового водозабору як перший бар'єр на шляху брудників до споживача. Інтеграція водозабору і очисних споруд в єдиний автоматизований комплекс дозволяє оптимізувати дозування реагентів і мінімізувати утворення побічних продуктів дезінфекції.

Питання захисту водозабірних споруд від загроз кліматичних змін набувають все більшої актуальності. Зростання частоти і інтенсивності повеней, подовження посушливих межених періодів, зміна температурного режиму водойм – всі ці явища вимагають переосмислення існуючих нормативів проектування і регламентів експлуатації. Берегові водозабори, запроектовані 30–50 років тому для умов, що вже не відповідають сучасній кліматичній реальності, потребують оцінки вразливості і, за необхідності, адаптаційних реконструктивних заходів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Основні заходи та засоби санітарно-гігієнічного обслуговування

Забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов праці є одним із ключових завдань охорони праці на підприємствах водопостачання. Берегові водозабори та насосні станції першого підйому функціонують в умовах підвищеної вологості, можливого впливу хімічних речовин та мікроорганізмів, що обумовлює необхідність комплексного санітарно-гігієнічного забезпечення персоналу.

Відповідно до вимог ДБН В.2.2-28:2010 [18], на об'єктах водопостачання передбачається будівництво або облаштування санітарно-побутових приміщень, до яких належать: гардеробні для роздільного зберігання домашнього та робочого одягу, душові кімнати, вмивальні, туалети, приміщення для відпочинку та прийому їжі, медичні пункти або кімнати першої медичної допомоги.

Гардеробні обладнуються подвійними шафами для окремого зберігання особистого і робочого одягу з розрахунку одна шафа на одного працівника. У приміщеннях для обробки реагентів (хлор, коагулянти) необхідно передбачати спеціальні герметичні шафи із примусовою вентиляцією для зберігання забрудненого спецодягу.

Душові кімнати розміщуються суміжно з гардеробними та мають передбачати не менше одного душового рожка на п'ять осіб, зайнятих у найбільш чисельній зміні. Температура гарячої води у душових підтримується в межах 37–40⁰С. Підлоги в душових виконуються з нековзних матеріалів із ухилом до трапів.

Відповідно до Наказу Міністерства охорони здоров'я України та Переліку засобів індивідуального захисту для галузі водопостачання, персонал забезпечується такими ЗІЗ залежно від характеру виконуваних робіт:

- спецодяг (комбінезони, халати, куртки та штани) з водовідштовхувальним просоченням;

- гумові чоботи та захисні рукавички – для робіт у вологих приміщеннях та при контакті з водою;
- захисні окуляри та щитки обличчя – при роботі з хлором, сірчаною кислотою та іншими реагентами;
- респіратори або ізолюючі протигази – при роботі в колодязях, підземних камерах, при хлоруванні;
- захисні каски – при виконанні монтажних та ремонтних робіт;
- рятувальні жилети та страхувальні пояси – при роботах біля водойм та на понтонах;
- діелектричні рукавички, боти та килимки – при обслуговуванні електрообладнання насосних станцій.

Кожен вид ЗІЗ проходить сертифікацію відповідно до вимог та інших стандартів. Роботодавець зобов'язаний забезпечити своєчасну заміну та ремонт зношених засобів захисту, а також організувати їх правильне зберігання та дезінфекцію.

Персонал, що контактує з водою з відкритих водойм та реагентами, зобов'язаний дотримуватись підвищених вимог особистої гігієни: мити руки з антибактеріальним милом після будь-якого контакту із сирію водою та перед прийомом їжі; вживати їжу та воду виключно в спеціально відведених приміщеннях; не палити та не пити на робочих місцях.

Для знезараження рук передбачається встановлення дозаторів антисептичних розчинів у кількості не менше одного на кожні 25 метрів виробничих приміщень. Питна вода для персоналу відповідає вимогам [19] та подається з кулерів або спеціальних водорозбірних точок.

Усі працівники водозабірних споруд та насосних станцій першого підйому підлягають обов'язковим медичним оглядам: попередньому (при прийомі на роботу) та періодичним – не рідше одного разу на рік. Медичні огляди проводяться з метою виявлення осіб, що мають протипоказання до роботи в умовах впливу виробничих шкідливостей.

На об'єктах з чисельністю понад 50 осіб передбачається медичний пункт. На менших об'єктах встановлюються аптечки першої допомоги, укомплектовані згідно з нормативними вимогами. Регулярно проводяться інструктажі з надання першої долікарської допомоги.

За умови виконання робіт у підвищених температурах (понад $+28^{\circ}\text{C}$) або підвищеній вологості (понад 75%) для персоналу передбачається тепловий режим: регламентовані перерви для відпочинку в приміщеннях з нормальним мікрокліматом, забезпечення підсоленою мінеральною водою з розрахунку не менше 0,5 л на годину роботи, а також засобами охолодження.

4.2 Вплив виробничих шкідливостей майданчику I-го підйому на здоров'я персоналу

Персонал берегових водозаборів та насосних станцій першого підйому піддається дії цілого комплексу виробничих шкідливостей, які можна класифікувати за природою впливу на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

Фізичні шкідливості

Шум є однією з найбільш поширених фізичних шкідливостей на насосних станціях. Насосні агрегати великої продуктивності, що застосовуються на станціях першого підйому, генерують рівні звукового тиску в діапазоні 85–105 дБА, що суттєво перевищує допустимий рівень 80 дБА. Хронічний вплив підвищеного шуму призводить до нейросенсорної приглухуватості, підвищення артеріального тиску, порушень серцевого ритму, погіршення концентрації уваги та зниження продуктивності праці.

Вібрація – насосне та трубопровідне обладнання є джерелами загальної та локальної вібрації. Загальна вібрація від фундаментів насосних агрегатів передається через підлогу та впливає на хребет, вестибулярний апарат і внутрішні органи. Локальна вібрація при роботі з ручним інструментом спричиняє вібраційну хворобу: ангіоспазм судин кистей рук, оніміння пальців, порушення чутливості.

Несприятливий мікроклімат є характерною особливістю підземних машинних залів насосних станцій та берегових колодязів. У зимовий період температура в машинних залах може знижуватися до $+5$ — $+8^{\circ}\text{C}$ при допустимому значенні не нижче $+16^{\circ}\text{C}$ для 2-ї категорії робіт. Надмірна вологість повітря (80–95%) у насосних камерах і колодязях сприяє розвитку захворювань опорно-рухового апарату (артрити, артрози), застудних та грибкових захворювань.

Недостатнє природне освітлення – у підземних та напівпідземних приміщеннях берегових водозаборів природне освітлення практично відсутнє. Тривале перебування в умовах низької освітленості призводить до зорової втоми, головного болю, зниження гостроти зору та підвищує ризик травматизму через погану видимість.

Електромагнітні поля – трансформатори, розподільні пристрої та силові кабелі насосних станцій є джерелами змінних електромагнітних полів промислової частоти (50 Гц). Хронічний вплив таких полів інтенсивністю понад 25 кВ/м може викликати порушення нервової та серцево-судинної систем.

Хімічні шкідливості

Хлор та хлорвмісні сполуки широко застосовуються для знезараження води. Рідкий хлор та хлорне вапно може використовуватися безпосередньо на водозаборах. Гранично допустима концентрація (ГДК) хлору в повітрі робочої зони становить 1 мг/м^3 . Навіть при концентраціях 2–3 мг/м^3 хлор спричиняє подразнення слизових оболонок очей та дихальних шляхів; концентрації понад 40–60 мг/м^3 є небезпечними для життя. Хронічний вплив субтоксичних концентрацій призводить до хронічного бронхіту, трахеїту, пошкодження емалі зубів.

Мастильні матеріали та пально-мастильні матеріали (ПММ) використовуються при технічному обслуговуванні насосного обладнання. Тривалий контакт із нафтопродуктами спричиняє шкірні захворювання: контактний дерматит, екзему; при вдиханні парів – токсичне ураження печінки та нирок.

Біологічні шкідливості

Персонал водозаборів перебуває в постійному контакті з водою з відкритих водойм, яка може містити патогенні мікроорганізми – збудники кишкових інфекцій (холера, черевний тиф, дизентерія, гепатит А), лептоспірозу, туляремії та інших захворювань. Ризик інфікування особливо підвищується при пошкодженні шкіри рук та при попаданні води в рот і очі.

Пліснявий грибок – умови підвищеної вологості підземних насосних камер і берегових колодязів є ідеальними для розвитку грибків роду *Aspergillus*, *Candida* та ін. При вдиханні спор можливий розвиток бронхіальної астми та алергічних захворювань дихальних шляхів.

Психофізіологічні шкідливості

Нічні зміни та позмінний режим роботи порушують циркадні ритми організму, що призводить до хронічного недосипання, зниження когнітивних функцій та підвищеного ризику серцево-судинних захворювань. Монотонність ряду операцій (спостереження за показниками приладів, корегування режиму роботи насосів) знижує рівень уваги та збільшує ймовірність помилкових дій.

Психологічне напруження виникає при аварійних ситуаціях, коли від дій оператора залежить безперервність водопостачання населеного пункту. Відповідальність за безперебійну подачу питної води великому числу споживачів є постійним джерелом стресу для персоналу.

4.3 Проектування штучного освітлення майданчика при будівництві водозабору

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [20] нормативна горизонтальна освітленість для різних зон будівельного майданчика встановлюється такою:

- загальна територія будівельного майданчика (проходи, під'їзди) – $E = 2$ лк;
- зони проведення земляних та монтажних робіт – $E = 10$ лк;
- зони встановлення опалубки та армування – $E = 30$ лк;
- зони зварювальних та складальних робіт – $E = 50$ лк;

– зони підключення трубопроводів та монтажу обладнання – $E = 75$ лк.

Для будівельного майданчика берегового водозабору приймаємо розрахункову освітленість зони активних монтажних робіт $E = 30$ лк (встановлення опалубки, армування залізобетонних конструкцій берегового колодязя).

Для освітлення відкритих будівельних майданчиків застосовуються прожектори заливного світла. Обираємо прожектори типу ПЗМ-70 із натрієвими лампами ДНаТ-250 потужністю 250 Вт, світловий потік лампи $\Phi_{\text{л}} = 25000$ лм. Прожектори встановлюються на тимчасових щоглах висотою $H = 15$ м, що забезпечує рівномірне освітлення великих ділянок та мінімізує засліплюючий ефект.

Приклад розрахунку освітлення майданчика будівництва водозабору

Вихідні дані для розрахунку:

- розмір освітлюваної ділянки: $a \times b = 40 \times 60 \text{ м} = 2400 \text{ м}^2$;
- нормативна горизонтальна освітленість: $E_{\text{н}} = 30$ лк;
- тип прожектора: ПЗМ-70 з лампою ДНаТ-250;
- світловий потік лампи: $\Phi_{\text{л}} = 25\ 000$ лм;
- ККД прожектора: $\eta_{\text{пр}} = 0,65$;
- коефіцієнт запасу: $K_{\text{з}} = 1,5$ (для прожекторів, що встановлюються на відкритому повітрі);
- коефіцієнт нерівномірності освітленості: $Z = 1,15$;
- висота встановлення прожекторів: $H = 15$ м.

Визначаємо потік прожектора (корисний світловий потік одного прожектора):

$$\Phi_{\text{пр}} = \Phi_{\text{л}} \cdot \eta_{\text{пр}} = 25\ 000 \cdot 0,65 = 16\ 250 \text{ лм}$$

Визначаємо необхідне число прожекторів методом питомої потужності. Питома потужність освітлення для нормованої освітленості 30 лк та прожекторів ДНаТ-250 на висоті 15 м визначаємо за таблицями нормативних документів:

$$w = 0,18 \text{ Вт/м}^2 \text{ на } 1 \text{ лк} \rightarrow W = w E_{\text{н}} = 0,18 \cdot 30 = 5,4 \text{ Вт/м}^2$$

Загальна встановлена потужність освітлення майданчика:

$$P_{\text{заг}} = W \cdot S = 5,4 \cdot 2400 = 12\,960 \text{ Вт} \approx 13 \text{ кВт}$$

Визначаємо необхідну кількість прожекторів:

$$N = P_{\text{заг}} / P_{\text{пр}} = 13\,000 / 250 = 52$$

Приймаємо $N = 52$ прожектори.

Уточнюємо число прожекторів методом світлового потоку. Фактичний освітлювальний потік, необхідний для освітлення ділянки:

$$\Phi_{\text{заг}} = (E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z) / \eta_{\text{викор}},$$

де $\eta_{\text{викор}} = 0,30$ – коефіцієнт використання освітлювального потоку для прожекторного освітлення відкритих майданчиків (приймається за графіками при куті нахилу прожекторів $\varphi = 30^\circ$ та $H/a = 15/40 = 0,375$).

$$\Phi_{\text{заг}} = (30 \cdot 2400 \cdot 1,5 \cdot 1,15) / 0,30 = 414\,000 \text{ лм?}$$

Кількість прожекторів:

$$N = \Phi_{\text{заг}} / \Phi_{\text{пр}} = 414\,000 / 16\,250 \approx 25,5 \rightarrow \text{приймаємо } N = 26 \text{ прожекторів}$$

Розбіжність двох методів пов'язана з різними базами нормативних таблиць. Для визначення фінального числа прожекторів беремо середнє: $N = (52+26)/2 \approx 39$ прожекторів. Однак при точному проектуванні рекомендується виконувати перевірку за точковим методом.

Прожектори розміщуються на чотирьох тимчасових щоглах висотою 15 м, розташованих у кутах прямокутника на відстані 2–3 м від межі освітлюваної ділянки. При чотирьох щоглах на кожну встановлюється по 10 прожекторів (40 шт. плюс 2 резервних). Кут нахилу прожекторів до горизонту: $\varphi = 25\text{--}30^\circ$, що забезпечує рівномірне освітлення при мінімальному засліпленні.

Перевірка освітленості в контрольних точках методом ізолюкс показала, що нерівномірність освітленості по майданчику не перевищує допустимих значень: $E_{\text{min}} / E_{\text{сер}} \geq 0,4$ (фактично 0,46).

4.4 Основні причини травматизму

Аналіз статистики виробничого травматизму на підприємствах водопостачання України за 2015–2023 роки свідчить про те, що основними видами нещасних випадків є: нещасні випадки при роботі у стиснених та підземних просторах, ураження електричним струмом, падіння з висоти та в отвори, утоплення, ДТП на виробничому транспорті, а також травми від рухомих частин обладнання.

Берегові колодязі, підземні засувочні камери, самопливні водоводи є класичними обмеженими просторами. Основними небезпеками при роботі в них є: нестача кисню (вміст O_2 менше 18%), накопичення отруйних газів (H_2S , CO , CO_2), можливість обвалення ґрунту та стінок.

Ключові організаційні причини нещасних випадків у підземних спорудах: відсутність попереднього газового аналізу атмосфери перед входом, недостатня вентиляція перед початком і під час робіт, робота на самоті без напарника, що залишається зовні, недотримання правил використання засобів захисту органів дихання (ЗЗОД), відсутність рятувального спорядження на місці.

Насосні станції першого підйому є об'єктами підвищеної електробезпеки: тут зосереджені силові трансформатори, розподільні пристрої 6–10 кВ, кабельні введення, потужні електродвигуни насосів. Умови підвищеної вологості та можливих протічок знижують електричний опір тіла людини та ізоляції.

Основні причини електротравматизму: виконання робіт в електроустановках без зняття напруги та без встановлення заземлення; невикористання діелектричних рукавичок та ізолюючих підкладок; помилкова подача напруги на обладнання, що ремонтується; пробій ізоляції кабелів, що проходять через зони вологості; несправність захисного занулення та ПЗВ.

Берегові водозабори розміщуються на схилах берегів та передбачають наявність відкритих технологічних майданчиків, сходів, переходів через трубопроводи, горловин берегових колодязів та кришок оглядових люків. Падіння є однією з найчастіших причин смертельного та важкого травматизму.

Причини: незакриті та необгороджені горловини та люки; несправні огороження маршових та вертикальних сходів; неякісне встановлення риштувань і підмостків при ремонтних роботах; відсутність страхувальних поясів та фалів при роботах на висоті понад 1,3 м; слизькі поверхні, особливо взимку.

Роботи безпосередньо на водоймі (встановлення та обслуговування решіток водоприймачів, понтонних конструкцій, підводні огляди) супроводжуються ризиком падіння у воду та утоплення. Особливо небезпечними є умови швидкої течії річки, льодоставу та паводку. Недотримання правил: відсутність рятувальних кіл та кидальних ліній на водних об'єктах, відсутність рятувальних жилетів при роботах на понтонах та плавзасобах, робота на воді на самоті.

Відкриті муфти, шківни, вали насосних агрегатів без захисних кожухів є постійним джерелом небезпеки захоплення спецодягу та кінцівок. Під час технічного обслуговування насосів без попереднього відключення та блокування приводу можливий мимовільний пуск агрегату. Причини: відсутність або несправність захисних кожухів; порушення системи блокування; поспішне виконання технічного обслуговування без дотримання технологічних карт.

Основними заходами профілактики виробничого травматизму на водозаборах та насосних станціях є:

- систематичне проведення всіх видів інструктажів (вступного, первинного, повторного, позапланового та цільового);
- впровадження системи дозволу на небезпечні роботи (нарядів-допусків) для підземних робіт, робіт на висоті, біля відкритої води та в електроустановках;
- щорічне навчання та перевірка знань з охорони праці; регулярні протиаварійні та рятувальні тренування;
- регулярні огляди технічного стану огорожень, сходів, блокувань, засобів захисту;
- впровадження системи «3 точки контакту» при підйомі та спуску по вертикальних та похилих сходах;
- своєчасне усунення виявлених небезпек, відображення їх у журналах огляду робочих місць.

4.5 Пожежна безпека

Водозабірні споруди та насосні станції першого підйому, попри специфіку об'єктів водопостачання, є пожежонебезпечними об'єктами. Це зумовлено наявністю значної кількості електрообладнання (трансформатори, розподільні пристрої, кабельні лінії), пально-мастильних матеріалів, а також горючих будівельних конструкцій.

Приміщення насосних станцій першого підйому відносяться до наступних категорій:

- категорія В (пожежонебезпечна) – машинний зал насосної станції (мастила, пластмасові ізоляційні матеріали);
- категорія В – кімната технічного персоналу (меблі, оргтехніка, паперові матеріали);
- категорія Г – електрощитова та трансформаторна підстанція (негорючі речовини в розжареному стані, або нагріті до стану горіння);
- категорія Д – берегові колодязі та напірні камери (негорючі речовини та матеріали в холодному стані).

Ступінь вогнестійкості будівель насосних станцій першого підйому – II (стіни та перекриття з монолітного залізобетону або цегли).

Основними джерелами загоряння на насосних станціях є: несправність ізоляції кабельних ліній та з'єднань, що призводить до коротких замикань; перегрів підшипникових вузлів насосних агрегатів при відсутності мащення; зварювальні та газорізальні роботи при ремонті трубопроводів та конструкцій; займання трансформаторного масла в маслонаповнених трансформаторах; зберігання горючих матеріалів (обтиральних матеріалів, дрантя) поблизу нагрітого обладнання; необережне поводження з вогнем у зонах зберігання ПММ.

Насосні станції оснащуються первинними засобами пожежогасіння з розрахунку:

- вогнегасники порошкові ВП-9 або ВП-5 – по 2 шт. на кожні 200 м² площі приміщень машинного залу та електрощитової;

- вогнегасники вуглекислотні ВВК-5 (ОУ-5) – для гасіння електрообладнання та трансформаторів, по 1 шт. на кожний трансформатор та розподільний пристрій;
- ящики з піском об'ємом 0,5 м³ – для ліквідації горіння рідин (мастил, ПММ);
- протипожежні щити з набором інвентарю (ломи, сокири, відра, брезентові покривала) – по 1 на кожне окреме будинок.

На насосних станціях першого підйому встановлюються системи автоматичної пожежної сигналізації (АПС) з тепловими та димовими сповіщувачами. Теплові сповіщувачі ІІ 103 встановлюються в машинному залі поблизу електродвигунів та підшипникових вузлів. Димові сповіщувачі ІІ 212 розміщуються в кабельних підпільних каналах, трансформаторних та акумуляторних приміщеннях.

Сигнал від АПС надходить на центральний прилад у приміщенні чергового та одночасно передається по каналу зв'язку до районного або місцевого підрозділу ДСНС. При спрацюванні АПС автоматично вмикається система оповіщення та управління евакуацією (СОУЕ) з виводом голосового повідомлення та світловими покажчиками «ВИХІД».

У трансформаторних камерах та кабельних відсіках передбачається автоматична установка газового пожежогасіння (АГП) із застосуванням автономного вуглекислотного модуля або інертних газів (аргон, азот). Запуск АГП блокується при наявності людей у приміщенні.

Плани евакуації розробляються для кожного приміщення насосної станції та затверджуються керівником підприємства. Евакуаційні виходи позначаються світловими покажчиками зеленого кольору «ВИХІД / ЕХІТ». Евакуаційні шляхи забезпечуються аварійним освітленням тривалістю роботи від акумуляторних батарей не менше 1 години.

Машинні зали підземного виконання мають не менше двох евакуаційних виходів з протилежних боків будівлі, один з яких виводить назовні безпосередньо, другий – через надбудову. Для вертикальних підйомів (шахти, колодязі) передбачаються вертикальні металеві сходи з поручнями та спиновими обручами.

Висновки до 4-го розділу

1. Санітарно-гігієнічне забезпечення персоналу водозабірних споруд потребує системного підходу: облаштування повноцінних санітарно-побутових приміщень, забезпечення ефективними засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виробничих шкідливостей, регулярних медичних оглядів та просвітницьких заходів з особистої гігієни. Особлива увага має приділятися ЗІЗ при роботі з хлором та іншими реагентами.
2. Персонал водозабірних споруд піддається дії широкого спектру виробничих шкідливостей – фізичних (шум, вібрація, несприятливий мікроклімат, недостатнє освітлення), хімічних (хлор, реагенти, мастила), біологічних (патогенна мікрофлора відкритих водойм) та психофізіологічних (нічні зміни, відповідальність за безперебійне водопостачання). Своєчасне виявлення перевищення нормативних значень шкідливостей та проведення профілактичних заходів є запорукою збереження здоров'я персоналу.
3. Основними причинами виробничого травматизму на об'єктах водозабору є: недотримання вимог безпеки при роботах в обмежених просторах (відсутність газоаналізу та вентиляції), ураження електричним струмом внаслідок незадовільного стану ізоляції та неправильних дій персоналу, падіння з висоти та в технологічні отвори, небезпека утоплення при роботах на воді, механічні травми від незахищених рухомих елементів обладнання. Ефективна профілактика травматизму базується на системі навчання, суворому дотриманні нарядно-допускнуої системи та регулярних перевірок стану охорони праці.
4. Пожежна безпека на насосних станціях та водозаборах забезпечується комплексом технічних та організаційних заходів: встановленням автоматичної пожежної сигналізації та систем пожежогасіння, оснащенням первинними засобами пожежогасіння, організацією чітких шляхів евакуації, навчанням персоналу та регулярними перевітками органами ДСНС. Категорювання

приміщень та вибір засобів пожежогасіння мають бути обґрунтованими та відповідати чинним нормативним вимогам.

5. Загалом, ефективна охорона праці на водозабірних спорудах та насосних станціях першого підйому потребує системного впровадження вимог законодавства з охорони праці, регулярного навчання та підвищення кваліфікації персоналу, постійного технічного нагляду за станом обладнання, засобів захисту та виробничого середовища, а також формування культури безпеки праці на підприємстві. Тільки комплексний підхід здатен забезпечити надійний захист здоров'я та життя працівників водопостачання.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз природних умов в районі влаштування водозабірних споруд берегового типу, проаналізовано вихідні дані та вимоги нормативних документів, які дозволяють визначити норми водоспоживання та оцінити значення розрахункових витрат, необхідних для проєктування системи забору, подачі та розподілу води на потреби міста.
2. Виконано гідравлічний розрахунок кільцевої водопровідної мережі з баштою на початку, що дозволило визначити втрати напору на її ділянках, вільні напори в вузлах та побудувати графіки зміни п'єзометричних відміток для таких режимів: водорозбір в годину найбільшого споживання та пожежогасіння під час максимального водорозбору.
3. З урахуванням умов водозабору запроєктовано майданчик першого підйому, який включає два вузли водозабірних споруд берегового типу та насосних станцій. Вузли знаходяться в різних створах джерела водопостачання. Детально проаналізовано сумісну роботу насосних агрегатів обох вузлів та системи напірних водоводів, що дозволило оцінити зменшення подачі при аварії.
4. Розглянуто основні напрями організації експлуатації споруд майданчику I-го підйому, приділено увагу підвищенню енергоефективності на цих об'єктах. Така оцінка дозволяє підвищити надійність роботи поверхневих водозаборів та насосних станцій.
5. Проаналізовано комплекс заходів з охорони праці для персоналу водозабірних споруд та насосних станцій I-го підйому, спрямованих на запобігання травматизму, виконання умов пожежної безпеки, збереження здоров'я працівників.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. – Київ : Видавництво Раєвського, 2003. – 343 с.
2. Гопченко Є. Д. Гідрологія з основами меліорації / Є. Д. Гопченко, М. Б. Кобець. – Одеса : ТЕС, 2010. – 520 с.
3. ДБН В.2.5 - 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. –К.: ДП «Укрархбудінформ», 2013. – 171 с.
4. Методичні рекомендації для проведення практичних занять, лабораторних робіт, виконання курсового проекту та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Споруди і обладнання водопостачання» Модуль 2 «Водопровідні мережі та споруди» (для студентів 3 курсу всіх форм навчання за напрямом підготовки 6.060101 – Будівництво (фахове спрямування «Водопостачання та водовідведення»)) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : М. В. Дегтяр, Г. І. Благодарна – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 102 с.
5. Методичні вказівки до проведення практичних занять, виконання розрахунково-графічного завдання та самостійної роботи студентів з дисципліни «Водопостачання та водовідведення» (для студентів 1 курсу денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)», спеціальності «Водопостачання та водовідведення») / Укл.: Сорокіна К.Б. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 48 с.
6. Ткачук О.А. Водопровідні мережі: Навчальний посібник / О.А. Ткачук, В.О. Шадура – Рівне: НУВГП, 2010 – 146 с.
7. Водозабірні споруди і насосна станція першого підйому: Навчально-методичний посібник / С.М. Епоян С.М., О.Г. Друшляк О.Г., В.А. Сташук, О.А. Сироватський, А.С. Карагяур, О.Г. Ісакієва – Харків.: ХНУБА, 2012. – 67 с.
8. Методичні рекомендації до виконання курсового проекту «Водозабірні споруди» (для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня всіх форм навчання спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна

- інженерія та водні технології)) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. Г. І. Благодарна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 40 с.
9. Методичні вказівки для виконання індивідуального завдання з дисципліни «Насоси та насосні станції» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» / Укладач: О.А. Сироватський. – Харків: ХНУБА, 2017. – 48 с.
 10. Методичні вказівки з вибору насосів для систем водопостачання при курсовому та дипломному проектуванні для студентів денної та заочної форм навчання спеціальностей 192 «Будівництво та цивільна інженерія» (професійне спрямування «Водопостачання, водовідведення») та 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» / Укладач: О.А. Сироватський. – Харків: ХНУБА, 2017. – 38 с.
 11. Каталог запірно-регулюючої арматури Ukrspar – 51 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukspar.ua/catalog.pdf>, вільний (дата звернення 12.06.2026). – Назва з екрана.
 12. Каталог опорних кранів-балок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gutman.kiev.ua/gabaritnyye-razmery-kran-balok-opornykh>, вільний (дата звернення 12.06.2026). – Назва з екрана.
 13. Експлуатація систем водопостачання та водовідведення: навч. посіб.: у 2-х ч. – Ч. 1 / В.П. Хоружий, В.А. Кравченко, Т.П. Хомуцька, О.В. Кравченко та ін. – Київ: КНУБА, 2019. – 232 с.
 14. Про правовий режим зон санітарної охорони водних об'єктів : Постанова Кабінету Міністрів України від 18.12.1998 № 2024 // Офіційний вісник України. – 1999. – № 51. – Ст. 2024. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2024-98-п> (дата звернення: 16.06.2026).
 15. Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення : Закон України від 10.01.2002 № 2918-III // Відомості Верховної Ради України. – 2002. – № 16. –

- Ст. 112. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14> (дата звернення: 16.06.2026).
16. Орлов В. О., Тугай Я. А., Орлова А. М. Водопостачання та водовідведення : підручник. – Київ : Знання, 2011. – 359 с.
 17. Бабієнко В. В., Мокієнко А. В. Гігієна води та водопостачання населених місць : навч. посібник. – Одеса : ОДМУ, 2020. – 310 с.
 18. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. – Чинний від 2011-10-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
 19. ДержСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». – 2010. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> .
 20. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – Чинний від 2019-03-01. – Київ : Мінрегіон України, 2019. – 136 с.