

**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 ВОДОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ГОСПОДАРСЬКО-ПИТНИХ ПОТРЕБ МІСТА, РОЗТАШОВАНОГО В
ХАРКІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ»**

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

освітня програма «Цивільна інженерія»

Мизін Є.А.

Керівник **проф. Карагяур А.С.**

Рецензент **доц. Шевченко Т.О.**

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. Мизін Євгеній Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові)
 2. Тема роботи Система водопостачання для забезпечення господарсько-питних потреб міста, розташованого в Харківській області
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: запроєктувати кільцеву водопровідну мережу для міста з 2-ома промисловими підприємствами, яке знаходиться в Харківській області, побудувати п'єзометричні лінії, виконати проєкт споруд майданчику I-го підйому та насосної станції 2-го підйому, описати заходи з організації експлуатації насосної станції 2-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 насосної станції 2-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. 3-4. Майданчик I-го підйому. 5. Насосна станція II-го підйому. 6. Автоматизація насосної станції II-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 насосної станції 2-го 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 насосної станції 2-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



Євгеній МИЗІН

Керівник роботи



Андрій КАРАГЯУР

ДОДАТОК ДО ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра
здобувачу освіти 4-го курсу,
групи ХарЦІ 2022-1з Мизіну Є.А.

1. Генеральний план населеного пункту М 1:5000.
2. Населення міста – 120 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
Кількість змін		3	3
Кількість працюючих, чол.		1200	900
Розподіл працюючих по змінах у % від загального числа працюючих			
	у I зміну	40	40
	у II зміну	40	30
	у III зміну	20	30
Кількість працюючих у «гарячих» цехах у % від загального числа працюючих			
	у I зміну	40	45
	у II зміну	40	45
	у III зміну	-	-
Кількість працюючих, які користуються душем, у % від загального числа працюючих у зміну у «гарячих» цехах			
	у I зміну	30	45
	у II зміну	30	50
	у III зміну	30	30
Кількість працюючих, які користуються душем, у % від загального числа працюючих у зміну у «холодних» цехах			
	у I зміну	90	95
	у II зміну	90	95
	у III зміну	-	-
Витрати води на технологічні потреби, л/с		7	12

5. Джерело водопостачання – р. Сіверський Донець.
6. Відмітка води у річці при мінімальному розрахунковому рівні – 68 м, при максимальному розрахунковому рівні – 71 м
7. Відмітка землі в місці розташування майданчика I-го підйому – 73 м.
8. Максимальна швидкість течії – 0,25 м/с
9. Довжина напірних водоводів – 1,3 км (від НС 1), 2,8км (від НС2).
10. Позначка рівня води у першій споруді станції водопідготовки - 101,00.
11. Позначка мінімального рівня води в РЧВ – 90 м.

Здобувач освіти


Євгеній МИЗІН

Керівник роботи


Андрій КАРАГЯУР

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	8
1.1 Кліматичні, метеорологічні та гідрологічні фактори в районі проектування	8
1.2 Визначення норм різних категорій споживання води у місті	14
1.3 Основні розрахункові витрати	16
1.4 Режим та баланс споживання води у місті	17
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	22
2.1 Розрахунок водопровідної мережі міста	22
2.2 Підбір та розрахунок водозабірної споруди	35
2.3 Розрахунок насосної станції 1-го підйому	46
2.3 Розрахунок насосної станції 2-го підйому	49
3 ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ 2-ГО ПІДЙОМУ	56
3.1 Місце насосної станції 2-го підйому в складі системі водопостачання	57
3.2 Призначення, конструкція та технологічна роль резервуара чистої води	57
3.3 Технологічна схема основного обладнання та режим експлуатації насосної станції другого підйому	59
3.4 Організація експлуатаційної служби та обов'язки персоналу	61
3.5 Контроль якості води у резервуарі чистої води	62
3.6 Технічне обслуговування та планово-запобіжні ремонти обладнання	63
3.7 Автоматизація, диспетчеризація та засоби контролю	64
3.8 Енергозбереження під час експлуатації насосної станції	65
3.9 Екологічні аспекти експлуатації	66
3.10 Шляхи підвищення надійності та модернізації споруд	68

4 ОХОРОНА ПРАЦІ	69
4.1 Основні заходи та засоби санітарно-гігієнічного обслуговування робітників	69
4.2 Вплив виробничих шкідливостей на здоров'я робітників	71
4.3 Розрахунок допустимого часу перебування в зоні шуму	73
4.4 Основні причини травматизму	74
4.5 Пожежна безпека	76
Висновки до 4-го розділу	79
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	82

ВСТУП

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 84 аркуші, 7 рисунків, 6 таблиць, 6 аркушів графічної частини, 19 інформаційних джерел.

ВОДОПРОВІДНА МЕРЕЖА МІСТА, РУСЛОВИЙ ВОДОЗАБІР, НАСОСНА СТАНЦІЯ 1-ГО ПІДЙОМУ, НАСОСНА СТАНЦІЯ 2-ГО ПІДЙОМУ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

Надійна система водопостачання є ключовою умовою стійкого функціонування та розвитку сучасного міста. Саме тому проектування споруд забору, подачі, транспортування та розподілу води, а також визначення їх раціональних параметрів залишається одним із пріоритетних завдань для фахівців у галузі цивільної інженерії.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення системи водопостачання міста з поверхневого водного об'єкта – річки Сіверський Донець.

У процесі виконання роботи здійснено аналіз кліматичних та гідрологічних характеристик території, де передбачено розміщення водозабірних об'єктів, а також встановлено обсяги потреб населеного пункту у питній воді.

Виконано трасування та гідравлічний розрахунок кільцевої водопровідної мережі з обчисленням втрат напору на кожній розрахунковій ділянці для двох характерних режимів роботи: максимального водоразбору та подачі в цей час протипожежної витрати. Виконано розрахунок конструктивних та технологічних параметрів руслового водозабору, насосної станцій 1-го та 2-го підйомів, проаналізовані режими їх роботи з системою трубопроводів.

Розглянуто комплекс заходів з організації експлуатації насосної станції 2-го підйому та резервуара чистої води.

Проаналізовано основні шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що виникають під час експлуатації мережі, і сформовано відповідні заходи з охорони праці, спрямовані на попередження травматизму та збереження здоров'я обслуговуючого персоналу. Приділено увагу заходам з протипожежної безпеки.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Кліматичні, метеорологічні та гідрологічні фактори в районі проектування

Харківська область розташована у північно-східній частині України та належить до помірно-континентального кліматичного поясу. Район проектування поверхневого водозабору знаходиться у межах лісостепової зони, що визначає характерні риси місцевого клімату: помірно холодна зима з нестійким сніговим покривом, тепле й нерівномірно зволене літо, виразно виражені перехідні сезони. Кліматичні умови формуються під впливом циклонічної діяльності, переважного перенесення повітряних мас із заходу та північного заходу, а також континентального впливу зі сходу [1].

Середньорічна температура повітря в районі становить $+7,5...+8,0$ °С. Найхолоднішим місяцем є січень із середньою температурою $-6,5...-7,5$ °С, найтеплішим – липень із середньою температурою $+20,5...+21,5$ °С. Абсолютний мінімум температури сягає $-35...-38$ °С, абсолютний максимум – $+38...+40$ °С. Такий широкий діапазон температур суттєво впливає на гідрологічний режим річки, зокрема на інтенсивність льодоутворення взимку та на рівень випаровування влітку.

Тривалість безморозного періоду складає в середньому 155–165 днів, а вегетаційного – 195–205 днів. Дата переходу середньодобової температури через 0 °С весною припадає приблизно на першу–другу декаду березня, а восени – на другу–третю декаду листопада. Ці показники є принципово важливими при проектуванні водозабірних споруд з огляду на необхідність урахування льодового режиму та захисту водоприймальних пристроїв від обмерзання.

Річна сума атмосферних опадів у районі проектування становить 480–560 мм, що є характерним для лісостепової зони України. Розподіл опадів упродовж року нерівномірний: близько 65–70 % річної суми випадає у теплий період (квітень–жовтень), решта – у холодний. Максимальна місячна кількість

опадів спостерігається у червні–липні (55–70 мм), мінімальна – у лютому–березні (25–35 мм).

Особливу роль для формування стоку відіграють зливові опади, що є характерними для літнього сезону. Максимальна добова кількість опадів може досягати 60–80 мм і більше, що зумовлює різке короткочасне підвищення рівнів води у річці та збільшення швидкостей течії. При проектуванні водозабору ці чинники необхідно враховувати під час вибору конструктивних рішень і встановлення відміток оголовків водоприймальних пристроїв.

Середня відносна вологість повітря впродовж року становить 75–78 %. Найнижчі значення відносної вологості (55–60 %) фіксуються у травні та серпні, що пов'язано з інтенсивним прогрівом повітря та відносно невеликою кількістю опадів у ці місяці. Дефіцит вологості в цей період може спричинити посухи, які негативно впливають на водність річки та ускладнюють умови водозабезпечення. Середньорічне значення випаровування з водної поверхні становить 700–750 мм, що перевищує суму атмосферних опадів і підкреслює значення поверхневого стоку як основного джерела живлення водотоку.

Сніговий покрив утворюється зазвичай у другій половині листопада – першій половині грудня й зберігається протягом 80–100 днів. Середня висота снігового покриву складає 15–25 см, проте в окремі зими при значних завірюхах може збільшуватись до 40–50 см. Запаси води у сніговому покриві напередодні початку сніготанення становлять 50–80 мм і є одним із головних чинників, що визначають величину весняного водопілля на річці.

Вітровий режим у районі характеризується переважанням вітрів південно-західного та північно-східного напрямків. Середньорічна швидкість вітру становить 4,0–5,0 м/с. У зимовий та ранньовесняний періоди переважають північно-східні вітри (частота 25–30 %), які приносять холодне континентальне повітря та спричиняють різке пониження температур і хуртовини. Влітку домінують вітри північно-західного та південно-західного напрямків, пов'язані з атлантичними циклонами.

Максимальні швидкості вітру в районі можуть досягати 20–25 м/с, зрідка – більше. Штормові вітри здатні спричиняти значний хвилеприбій та нагінні явища на відкритих ділянках акваторії, що слід враховувати при виборі місця розташування водоприймальних пристроїв. Крім того, сильні вітри взимку сприяють перенесенню снігу та нерівномірному формуванню снігового покриву, а в окремих випадках – до оголення ґрунту на підвищених ділянках водозбору, що впливає на умови формування поверхневого стоку.

Сіверський Донець є однією з найбільших річок сходу України та лівобережним притоком р. Дон. Загальна довжина річки становить 1053 км, площа водозбірного басейну – 98 900 км². Річка бере початок на Середньоросійській височині та перетинає Харківську, Донецьку і Луганську області України. У межах Харківської області Сіверський Донець протікає по сильно звивистому руслу в широкій заплавної долині, де активно проявляються руслові деформації та зміщення основного русла [2].

Гідрологічний режим річки визначається переважно кліматичними умовами водозбірного басейну та характеризується чіткою сезонністю. Виділяють такі основні гідрологічні фази: весняне водопілля (березень–квітень), літньо-осіння межень із можливими дощовими паводками (травень–жовтень), зимова межень (листопад–лютий). Основним джерелом живлення є снігові води, частка яких у річному стоці сягає 60–65 %, решта – дощове (20–25 %) та підземне (15–20 %) живлення.

Середньорічні витрати води в районі проєктування водозабору становлять приблизно 150–170 м³/с. Мінімальні витрати спостерігаються в зимовий або літній межений період і можуть знижуватися до 30–50 м³/с. Максимальні витрати під час весняного водопілля сягають 1500–2500 м³/с (у багатоводні роки – понад 3000 м³/с). Такий значний діапазон коливань витрат суттєво ускладнює проєктування водозабірних споруд та вимагає ретельного вибору конструктивних рішень.

Річний хід рівнів води тісно пов'язаний зі змінами витрат. Весняне водопілля є найбільш визначальною гідрологічною подією. Підйом рівня в період

повені відбувається інтенсивно – за 10–20 днів рівень може зрости на 4–8 м відносно меженного. Тривалість стояння рівнів вище критичних позначок (виходу води на заплаву) становить у середньому 20–40 днів. Під час повені площа затоплення заплави може охоплювати кілька кілометрів у поперечнику, що суттєво впливає на вибір місця розташування берегових водозабірних споруд і насосних станцій.

Льодовий режим Сіверського Донця в районі проектування є важливим чинником при обґрунтуванні типу та конструкції водозабору. Стійкий льодовий покрив встановлюється, як правило, у грудні–першій половині січня; розтає – у березні. Середня тривалість льодоставу складає 75–90 днів, у суворі зими – до 120 днів. Середня товщина льоду в кінці зими сягає 30–45 см, у суворі зими – 60–70 см.

На початку льодоставу та в період весняного скресання спостерігаються льодохід і шугоутворення. Льодохід становить небезпеку для водоприймальних споруд через механічний вплив льодових мас на конструкції та закупорку водоприймальних отворів. Для захисту від льоду передбачається влаштування льодозахисних конструкцій, вибір відповідної глибини розміщення оголовоків та проектування систем обігріву або продувки водоприймальних решіток [1].

У роки з відлигами в зимовий період можливе неодноразове встановлення та руйнування льодового покриву, що ускладнює умови експлуатації водозабірних споруд. Утворення заторів льоду є характерним явищем для ділянок річки з вигинами та звуженнями русла. Затори можуть спричинити різке, до 1,5–2,0 м, підвищення рівня води вище місця їх утворення, що необхідно враховувати при встановленні відміток захисних конструкцій.

Якість води в Сіверському Донці в районі проектування водозабору визначається природними гідрохімічними умовами та антропогенним навантаженням на басейн. За мінералізацією річкова вода відноситься до помірно мінералізованих: середньорічна мінералізація становить 600–900 мг/л, у меженний період може зростати до 1100–1300 мг/л унаслідок збільшення частки підземного живлення, яке має вищу мінералізацію.

Жорсткість води є помірно жорсткою та коливається в діапазоні 7–12 мг-екв/л. Реакція середовища (рН) знаходиться у слабколужному діапазоні – 7,4–8,2. Концентрація завислих речовин змінюється залежно від сезону та гідрологічної ситуації: у меженний період – 10–30 мг/л, під час водопілля та паводків – 100–500 мг/л і більше. Підвищена каламутність паводкових вод ускладнює роботу водоочисних споруд та вимагає передбачення відповідних конструктивних заходів на водозаборі (відстійники, додаткові фільтри тощо).

Температура води в річці коливається від 0 °С взимку до 24–26 °С влітку. Сезонні зміни температури впливають на ефективність роботи водозабірних та водоочисних споруд. Зокрема, при температурі нижче +4 °С відбувається інтенсивне шугоутворення, яке може призводити до закупорки водоприймальних отворів і різкого зниження продуктивності водозабору. Влітку при температурі понад +20 °С розвивається «цвітіння» води синьо-зеленими водоростями, що підвищує вміст органіки та погіршує органолептичні показники сирі води [3].

Річище Сіверського Донця у районі проєктування відрізняється помітно вираженою меандровістю. Коефіцієнт звивистості русла на окремих ділянках перевищує 2,0, що свідчить про активний розвиток руслових процесів. Спостерігаються горизонтальні деформації русла у вигляді зміщення та розвитку меандрів, розмиву корінних берегів на зовнішніх вигинах та акумуляції наносів на косах і побудовах. Середньорічна швидкість бічного зміщення берегів може досягати 1,0–3,0 м/рік на ділянках активних деформацій.

Ухил водної поверхні в районі досліджень є невеликим – 0,05–0,08 ‰, що зумовлює відносно невеликі швидкості течії в меженний період (0,3–0,6 м/с). Під час водопілля швидкості зростають до 1,0–1,5 м/с, а подекуди й до 2,0 м/с. Похил дна та характер розподілу швидкостей по перерізу необхідно враховувати при виборі типу водоприймального пристрою та обґрунтуванні необхідності захисту від руслових деформацій.

Береги річки мають різний характер: правий є здебільшого корінним, підвищеним (6–15 м над рівнем меженних вод) та складеним щільними крейдяно-мергельними породами; лівий – пологим, низьким, заплавленим, складеним

алювіальними пісками та суглинками, що схильні до розмиву. При виборі місця розташування водозабірних споруд перевагу слід надавати правому корінному берегу як більш стабільному та захищеному від затоплення під час паводків.

Дно річки вкрите піщано-гравійними відкладеннями, на плесових ділянках – дрібнозернистими пісками та мулуватими відкладеннями. Глибини у межах змінюються від 0,5–1,5 м на перекатах до 4–7 м на плесах.

Отримані дані є підставою для обґрунтування вибору місця розташування водозабору, типу водоприймального пристрою та основних проектних рішень щодо захисту споруд від несприятливих природних факторів.

1.2 Визначення норм різних категорій споживання води у місті

Подача необхідної кількості води до населеного пункту, на території якого розташовані два крупних промислових підприємства, має забезпечувати такі категорії потреб:

- фізіологічні й санітарно-гігієнічні потреби мешканців;
- полив території з зеленими насадженнями, а також полив і миття вулиць;
- пожежогасіння (зовнішнє та внутрішнє);
- технологічні процеси на виробництві, а також душеві потреби та господарські-питні для працівників підприємств.

Середньодобову норму у воді господарсько-питного призначення визначаємо згідно з [4, п. 6.1.1], з урахуванням кількості жителів та ступінь благоустрою їх житла.

В завданні бакалаврської роботи указано, що кількість населення міста становить 120 тис. мешканців, а фонд житлової та іншої забудови представлений п'ятиповерховими будинками, які мають централізоване водопостачання (разом з водозабезпеченням гарячою водою) та централізоване водовідведення. Для таких умов нормативний інтервал складає 230–285 л/добу на одного мешканця; приймаємо наступне значення $q_{\text{ж}} = 250$ л/доб на одного жителя.

Норму витрат води на полив міських територій визначаємо за [4,

Додаток А], орієнтуючись на величину населеного пункту та кліматично-будівельну зону. Місто розташоване в Харківській області, таким чином цей район відноситься до лісостепової зони. За [4, п. 6.1.1], населений пункт чисельністю 120 тис. жителів відноситься до категорії середніх міст. Враховуючи зазначене, приймаємо, що $q_{п} = 48$ л/доб на одного жителя.

Кількість одночасних зовнішніх пожеж на території міста та витрату води на їх гасіння визначаємо за [4, табл. 3 п. 6.2.2]. Орієнтуючись на чисельність жителів (120 тис.) та поверховість житлової забудови (п'ять поверхів) приймаємо, що в самому несприятливому випадку буде відбуватися одночасне гасіння трьох пожеж із витратою 40 л/с на кожному.

При роботі промислових підприємств вода витрачається на:

- санітарно-гігієнічні й фізіологічні потреби персоналу;
- потреби, пов'язані з необхідністю прийняття душу частиною працівників зміни після її завершення;
- потреби, пов'язані технологічними операціями виробничого процесу.

Норма витрат за першим напрямком залежить насамперед від значення тепловиділення у виробничих цехах, на основі чого цехи поділяють на «гарячі» та «холодні» [5].

Для «гарячих» цехів ця норма складає 45 л води за заміну на одну людину, для «холодних» – 25 л води за заміну на одну людину

Розрахунок витрат на душові потреби виконуємо з урахуванням таких показників:

- годинна витрата води однією душовою сіткою – 500 л;
- число працівників з числа приймаючих душ, які обслуговуються однією сіткою, залежно від типу виробництва, приймаємо 7 осіб;
- час, протягом якого відбувається прийом душу однією зміною – 45 хв.

Дані щодо технологічних витрат води для обох підприємств наведено в завданні до бакалаврської роботи.

1.3 Основні розрахункові витрати

Значення середньодобової (з усередненням за рік) витрати води $Q_{\text{доб.сер}}$ для побутових і питних цілей населення обчислюємо згідно з формулою (1), наведеною в [4, п. 6.1.2].

За результатами обчислень отримуємо значення $Q_{\text{доб.сер}} = 30000 \text{ м}^3/\text{доб.}$

Максимальнодобову витрату води на господарсько-питні потреби $Q_{\text{доб.мах}}$ знаходимо, застосовуючи формулу (2) з того ж нормативного документа [4, п. 6.1.2]. При цьому спочатку необхідно встановити значення коефіцієнта добової нерівномірності $K_{\text{доб.мах}}$. Нормативний документ [4, п. 6.1.2] рекомендує приймати цей коефіцієнт у діапазоні від 1,1 до 1,3, таким чином в наших розрахунках використовуємо значення $K_{\text{доб.мах}} = 1,2$.

Виконані обчислення показують, що значення $Q_{\text{доб.мах}}$ становить $36000 \text{ м}^3/\text{доб.}$

Об'єм води, потрібний щодоби для поливання зелених та миття вулиць $Q_{\text{полив}}$, обчислюємо за тією ж формулою (1) з [4, п. 6.1.2], проте замість норми на господарсько-питні потреби використовуємо норму для поливальних потреб.

Згідно з виконаними розрахунками $Q_{\text{полив}}$ становить $5760 \text{ м}^3/\text{доб.}$

Загального поливальний об'єм води $5760 \text{ м}^3/\text{доб.}$ поділяємо дві частини: 70%, а саме $4032 \text{ м}^3/\text{доб.}$, – це механізований полив, який здійснюється спеціалізованими поливальними машинами, тоді як решта 30%, а саме $1728 \text{ м}^3/\text{доб.}$, припадає на ручний полив, який зазвичай виконують працівники комунальних служб.

Відповідно до завдання на бакалаврську роботу, у межах населеного пункту, для якого розробляється проєкт мережі водопостачання, розташовані два об'єкти промислового призначення, причому виробничий процес на кожному з них організовано у три зміни.

У завданні також наведено процентний розподіл персоналу між цими змінами, а окрім того, указано відсоток працівників, зайнятих у «гарячих» цехах, та частку тих, кому за умовами виробництва належить приймати душ по завершенні робочого етапу.

Витрату на господарсько-питні потреби робітників $Q_{\text{гпп.зм.}}$ визначаємо окремо для кожної зміни кожного з двох крупних підприємств, користуючись формулою, наведеною в [5]:

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

де $N_{\text{гар}}$, $N_{\text{хол}}$ – кількість працівників для кожної зміни, робота яких відбувається в «гарячих» або «холодних» цехах, люд.;

$q_{\text{гар}}$, $q_{\text{хол}}$ – відповідні норми споживання води на указані потреби (див. п. 1.1).

Витрату води на промпідприємствах на прийом душу будемо визначати за такою формулою:

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

де $N_{\text{душ}}$ – кількість працівників для кожної зміни, яким необхідно через виробничі особливості приймати душ, люд.;

$N_{\text{с}}$ – норма, яка відображає прийняте навантаження (в людях) на одну душеву сітку (див. п. 1.1).

Розрахунки водоспоживання на крупних підприємствах приведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Параметри водоспоживання на крупних підприємствах

Назва параметру	Значення параметру	
Промислове підприємство, номер:	ПП1	ПП2
Кількість працюючого персоналу:	1200	900
1-а зміна:	480	360
в «гарячих» цехах	192	162
в «холодних» цехах	288	198
Витрати на госп.-пит. потреби, м ³ :	15,84	12,24
в «гарячих» цехах	8,64	7,29
в «холодних» цехах	7,2	4,95
<i>які приймають душ:</i>		
в «гарячих» цехах	172,8	153,9
в «холодних» цехах	86,4	89,1
Витрати на душ, м ³	18,5	17,4
2-а зміна:	480	270

Назва параметру	Значення параметру	
в «гарячих» цехах	192	121,5
в «холодних» цехах	288	148,5
Витрати на госп.-пит. потреби, м ³ :	15,84	9,2
в «гарячих» цехах	8,64	5,5
в «холодних» цехах	7,2	3,7
<i>які приймають душ:</i>		
в «гарячих» цехах	172,8	115,425
в «холодних» цехах	86,4	74,25
Витрати на душ, м ³	18,5	13,5
З-а зміна:	240	270
в «гарячих» цехах	0	0
в «холодних» цехах	240	270
Витрати на госп.-пит. потреби, м ³ :	6	6,75
в «гарячих» цехах	0	0,0
в «холодних» цехах	6	6,8
<i>які приймають душ:</i>		
в «гарячих» цехах	0	0,0
в «холодних» цехах	72	81,0
Витрати на душ, м ³	5,1	5,8

1.4 Режим та баланс споживання води у місті

Споживання води на господарсько-питні потреби нерівномірні впродовж доби. Цю нерівномірність відображає відповідний коефіцієнт годинної нерівномірності $K_{\text{год.мах}}$, який знаходимо за залежністю (4) [4, п. 6.1.2]. Його обчислення вимагає визначення двох параметрів:

- $\alpha_{\text{мах}}$ – показника, що враховує специфіку місцевих умов, особливості роботи підприємств та ступінь благоустрою житла;
- $\beta_{\text{мах}}$, що залежить від кількості мешканців населеного пункту.

Відповідно до [4, п. 6.1.2], $\alpha_{\text{мах}}$ зазвичай обирають у діапазоні 1,2-1,4. У даній роботі приймаємо $\alpha_{\text{мах}} = 1,2$.

Значення $\beta_{\text{мах}}$ знаходимо за табл. 2 [4, п. 6.1.2]: для міста з 120 тис. мешканцями приймемо, що $\beta_{\text{мах}}$ дорівнює 1,095.

Таким чином, коефіцієнт $K_{\text{год.мах}} = 1,25$.

Для поливальних операцій прийнято такий режим: механізоване поливання відбувається безперервно з 6 до 21 години, а ручне поливання – у два інтервали, зранку (6.00-9.00) та ввечері (18.00-21.00).

На промислових підприємствах споживання води на санітарно-гігієнічні потреби впродовж зміни також змінюється нерівномірно, причому характер цих коливань залежить від типу виробничих приміщень – «гарячі» чи «холодні» цехи. Душові процедури персонал виконує протягом першої години після закінчення зміни. Технологічні витрати води розподілені рівномірно по всій тривалості робочого часу.

Узагальнені результати добового балансу водоспоживання міста з усіма категоріями основних споживачів представлено в табл. 1.2, на основі яких побудовано відповідний графік (рис. 1.1).

Таблиця 1.2 – Балансовий розрахунок водоспоживання містом

Години	% Q	м ³ /год.	полив руч.	полив механ.	ПП №1						ПП №2						сума	
					«холодні» цеха		«гарячі» цеха		душе	техн.	«холодні» цеха		«гарячі» цеха		душе	техн.	м ³ /год.	% від Q _{доб.}
					% 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	1206			18,75	1,35	15,65	1,35	18,51		18,75	0,70	15,65	0,86	13,55		1242	2,89
01:02	3,25	1170			6,25	0,38	12,05	0,00			6,25	0,42	12,05	0,00			1171	2,72
02:03	3,30	1188			12,50	0,75	12,05	0,00			12,50	0,84	12,05	0,00			1190	2,77
03:04	3,20	1152			12,50	0,75	12,05	0,00			12,50	0,84	12,05	0,00			1154	2,68
04:05	3,25	1170			18,75	1,13	12,05	0,00			18,75	1,27	12,05	0,00			1172	2,73
05:06	3,40	1224			6,25	0,38	12,05	0,00			6,25	0,42	12,05	0,00			1225	2,85
06:07	3,85	1386	288,00	268,80	12,50	0,75	12,05	0,00			12,50	0,84	12,05	0,00			1944	4,52
07:08	4,45	1602	288,00	268,80	12,50	0,75	12,05	0,00			12,50	0,84	12,05	0,00			2160	5,02
08:09	5,20	1872	288,00	268,80	18,75	1,13	15,65	0,00	5,14	25,2	18,75	1,27	15,65	0,00	5,79	43,2	2511	5,84
09:10	5,00	1800		268,80	6,25	0,45	12,05	1,04		25,2	6,25	0,31	12,05	0,88		43,2	2140	4,98
10:11	4,85	1746		268,80	12,50	0,90	12,05	1,04		25,2	12,50	0,62	12,05	0,88		43,2	2087	4,85
11:12	4,60	1656		268,80	12,50	0,90	12,05	1,04		25,2	12,50	0,62	12,05	0,88		43,2	1997	4,64
12:13	4,60	1656		268,80	18,75	1,35	12,05	1,04		25,2	18,75	0,93	12,05	0,88		43,2	1997	4,65
13:14	4,55	1638		268,80	6,25	0,45	12,05	1,04		25,2	6,25	0,31	12,05	0,88		43,2	1978	4,60
14:15	4,75	1710		268,80	12,50	0,90	12,05	1,04		25,2	12,50	0,62	12,05	0,88		43,2	2051	4,77
15:16	4,70	1692		268,80	12,50	0,90	12,05	1,04		25,2	12,50	0,62	12,05	0,88		43,2	2033	4,73
16:17	4,70	1692		268,80	18,75	1,35	15,65	1,35	18,51	25,2	18,75	0,93	15,65	1,14	17,36	43,2	2070	4,81
17:18	4,35	1566		268,80	6,25	0,45	12,05	1,04		25,2	6,25	0,23	12,05	0,66		43,2	1906	4,43
18:19	4,40	1584	288,00	268,80	12,50	0,90	12,05	1,04		25,2	12,50	0,46	12,05	0,66		43,2	2212	5,14
19:20	4,30	1548	288,00	268,80	12,50	0,90	12,05	1,04		25,2	12,50	0,46	12,05	0,66		43,2	2176	5,06
20:21	4,30	1548	288,00	268,80	18,75	1,35	12,05	1,04		25,2	18,75	0,70	12,05	0,66		43,2	2177	5,06
21:22	4,20	1512			6,25	0,45	12,05	1,04		25,2	6,25	0,23	12,05	0,66		43,2	1583	3,68
22:23	3,75	1350			12,50	0,90	12,05	1,04		25,2	12,50	0,46	12,05	0,66		43,2	1421	3,31
23:24	3,70	1332			12,50	0,90	12,05	1,04		25,2	12,50	0,46	12,05	0,66		43,2	1403	3,26
																Σ	43000	100

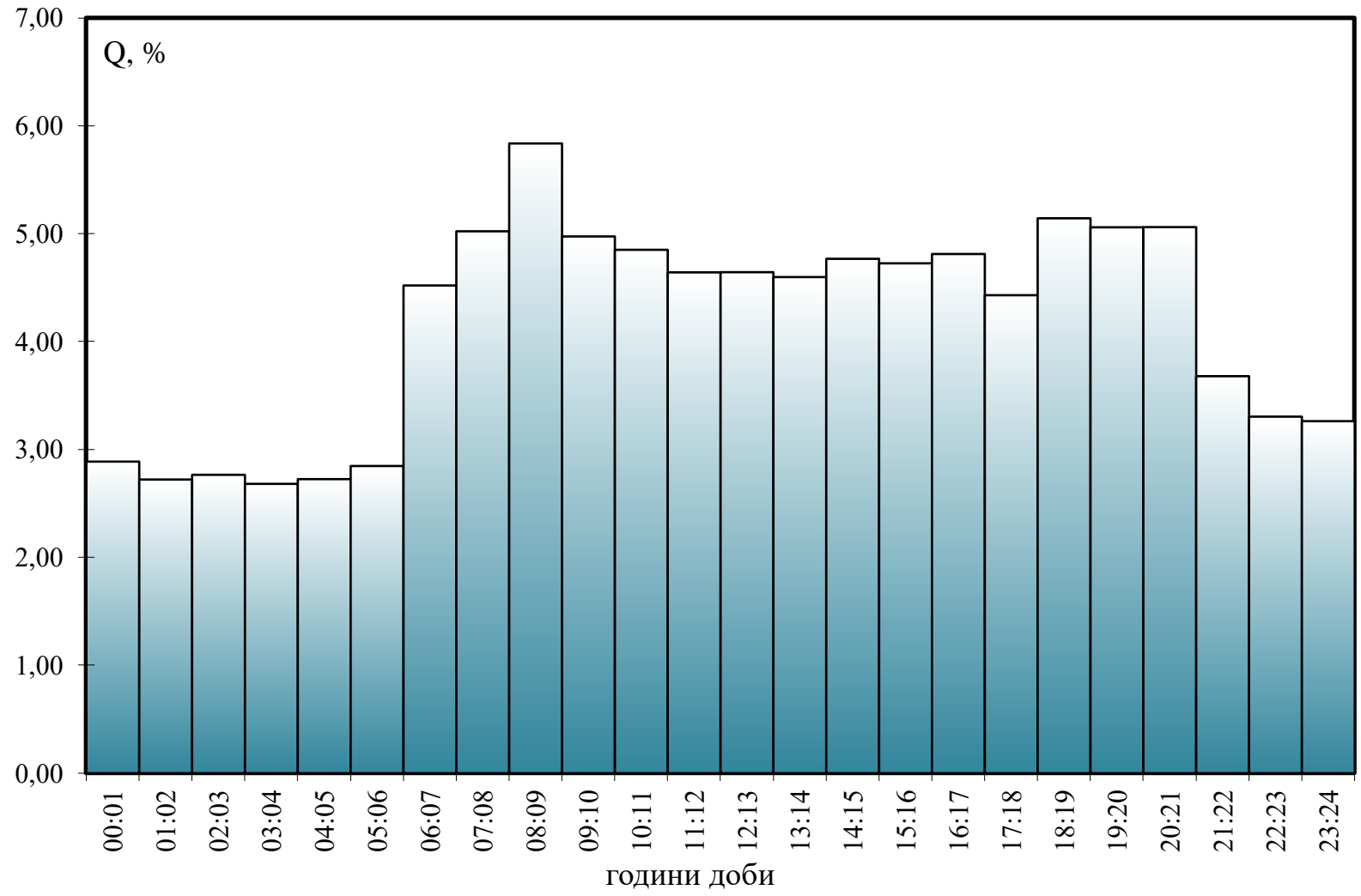


Рисунок 1.1 – Графік водоразбору протягом доби максимального водоспоживання

Проаналізувавши вплив природних факторів та значення необхідних витрат приймаємо рішення про проектування системи забору, подачі та розподілу води з поверхневого джерела – р. Сіверський донець, що дозволить задовольнити необхідні потреби міста у воді.

При розробці проекту особливо слід врахувати наступні чинники:

- значні сезонні коливання витрат і рівнів води – від меженних до максимальних паводкових, що вимагає конструктивної гнучкості водоприймальних пристроїв;
- льодовий режим з тривалим льодоставом, шугою та льодоходом, що зумовлює необхідність передбачення льодозахисних заходів;
- зливові опади влітку та снігове водопілля навесні як основні чинники формування екстремального стоку;
- активні руслові процеси на лівому березі та відносна стабільність правого корінного берегу, що зумовлює пріоритет берегового типу водозабору з розміщенням на правому березі або руслового – на лівому;
- ризик «цвітіння» води у літній період.

Визначимо категорію за надійністю системи водопостачання, яка проектується. Чисельність міста, для якого передбачається система водопостачання, згідно завданню становить 120 тис. мешканців. З урахуванням цього система водопостачання повинна бути I категорії надійності [4, п. 8.4].

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок водопровідної мережі міста

2.1.1 Трасування водопровідної мережі міста

Для міста, план якого наведено на першому листі графічної частини бакалаврської роботи, прийнято кільцеву схему водопровідної мережі. Подача води до споживачів відбувається одночасно з двох сторін. Така схема значно підвищує експлуатаційну надійність системи порівняно з розгалуженою тупиковою схемою прокладання трубопроводів [6].

Завдяки кільцевій конфігурації, у випадку виникнення аварійної ситуації на якійсь із ділянок мережі або під час проведення планових ремонтних заходів, з'являється можливість вимкнути лише обмежену пошкоджену зону трубопроводу, при цьому водопостачання інших районів міста залишається безперебійним. Такий підхід є вкрай значущим для об'єктів, де перерва у постачанні води є недопустимою, а саме медичних установ, дошкільних та навчальних закладів, виробничих підприємств із технологічними процесами, що потребують стабільної подачі води, а також для протипожежних систем, функціонування яких напряму залежить від гарантованої наявності водних запасів.

Трасування водопровідної мережі здійснюємо з урахуванням таких вимог: до ключових вузлів, у тому числі точок підключення промислових підприємств, рух води організовується найбільш раціональним та коротким шляхом; протяжність магістральних ліній обмежена значенням в приблизно 1000 метрів, а з'єднувальні перемички між магістралями не повинні перевищувати 800 метрів.

Крім перелічених вище критеріїв, під час розробки трасування враховуються й додаткові аспекти. Основні трубопровідні лінії здебільшого прокладаються на головних вулицях, де присутня висока щільність розташування будівель. Такий підхід сприяє рівномірному розподілу по всій території міста та зменшує протяжність відгалужень до споживачів. Розташування головних

магістралей підбирається таким чином, щоб вона відповідала загальному руху водних потоків від джерела до найвіддаленіших і найвищих за рельєфом точок водопровідної системи. Таке рішення мінімізує втрати напору та забезпечує рівномірний напір у всіх точках мережі.

Під час вибору маршрутів прокладання трубопроводів аналізується також рельєф території: наскільки можливо, виключаються ділянки зі складними геологічними умовами, перезволожені зони, території з підвищеним рівнем підземних вод чи нестійкими ґрунтами, оскільки подібні фактори призводять до зростання витрат на будівництво та створюють труднощі під час подальшого технічного обслуговування. Місця перетину трубопроводів з природними або штучними об'єктами – водними артеріями, залізничним полотном, автодорогами – обираються там, де є можливість облаштування дюкерних переходів, прокладання у захисних футлярах або застосування надземних (підвісних) конструкцій без істотного збільшення кошторису.

Окрему увагу приділяємо дотриманню встановлених нормативами відстаней між водопровідними мережами та іншими підземними чи наземними інженерними комунікаціями – тепловими мережами, каналізаційними трубопроводами, кабельними трасами, газопроводами. Це потрібно як з метою захисту самої водопровідної системи від забруднень та механічних ушкоджень, так і для забезпечення можливості виконання ремонтно-обслуговуючих робіт без втручання в роботу суміжних комунікаційних систем.

Кількість запірної арматури та її розміщення на кільцевій мережі визначається з розрахунком на те, щоб під час аварійних ситуацій можна було вимкнути ділянку з мінімальною довжиною та мінімальним числом споживачів, що залишаться без водопостачання. Як правило, запірно-регульовальні пристрої монтуються у точках з'єднання магістральних ліній та перемичок, що надає змогу швидко перенаправляти водні потоки та зберігати функціональність системи навіть у разі виходу з ладу окремих її компонентів.

Схематичне представлення кільцевої розподільної мережі наведено на кресленні №1. Від насосної станції другого підйому передбачено прокладання

двох окремих водоводів, кожен з яких з'єднується з окремим вузлом міської мережі. Точками підключення водоводів визначено вузли 12 та 16.

2.1.2 Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі міста

Гідравлічний розрахунок водопровідної мережі кільцевого типу проводимо з метою встановлення діаметрів труб на окремих ділянках, реальних витрат рідини, що транспортуються ними, а також для визначення величини витрат напорів [6].

Розрахунок виконується у такій послідовності:

- Спочатку вводиться припущення про рівномірний відбір води уздовж кожної ділянки трубопроводу залежно від розташування навколишньої житлової зони. Завдяки цьому визначається спочатку питома витрата – кількість рідини на одиницю довжини всієї водопровідної системи, після чого розраховуються шляхові витрати окремо для кожної ділянки.
- Далі вважається, що весь відбір зосереджується у вузлах мережі. Витрату кожного вузла знаходять як суму половин шляхових витрат прилеглих ділянок з додаванням зосередженого відбору, якщо такий присутній.
- Знаючи величини вузлових витрат, здійснюють попередній (орієнтовний) розподіл потоків рідини на ділянках – від точок підключення водоводів до точок злиття потоків.

Аналіз роботи водопровідної мережі проводиться для двох випадків:

- режим максимального водорозбору;
- ситуація, за якої одночасно з максимальним водорозбором виникає необхідність пожежогасіння у найбільш віддалених точках мережі.

Графічні схеми для кожного із цих випадків представлено на рис. 2.1 та рис. 2.2.

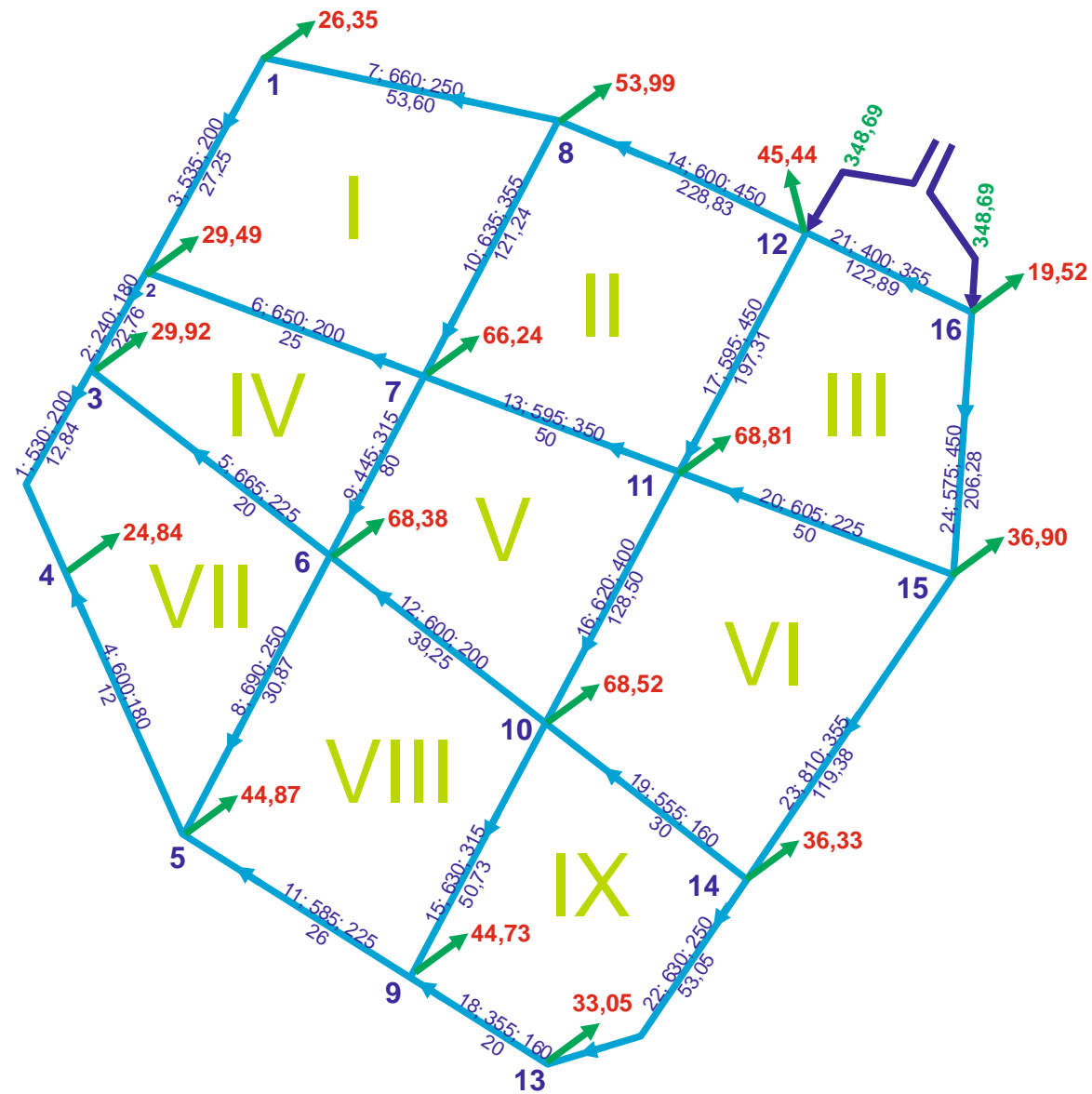


Рисунок 2.1 – Схема попереднього розподілу витрат на ділянках в години максимального водорозбору

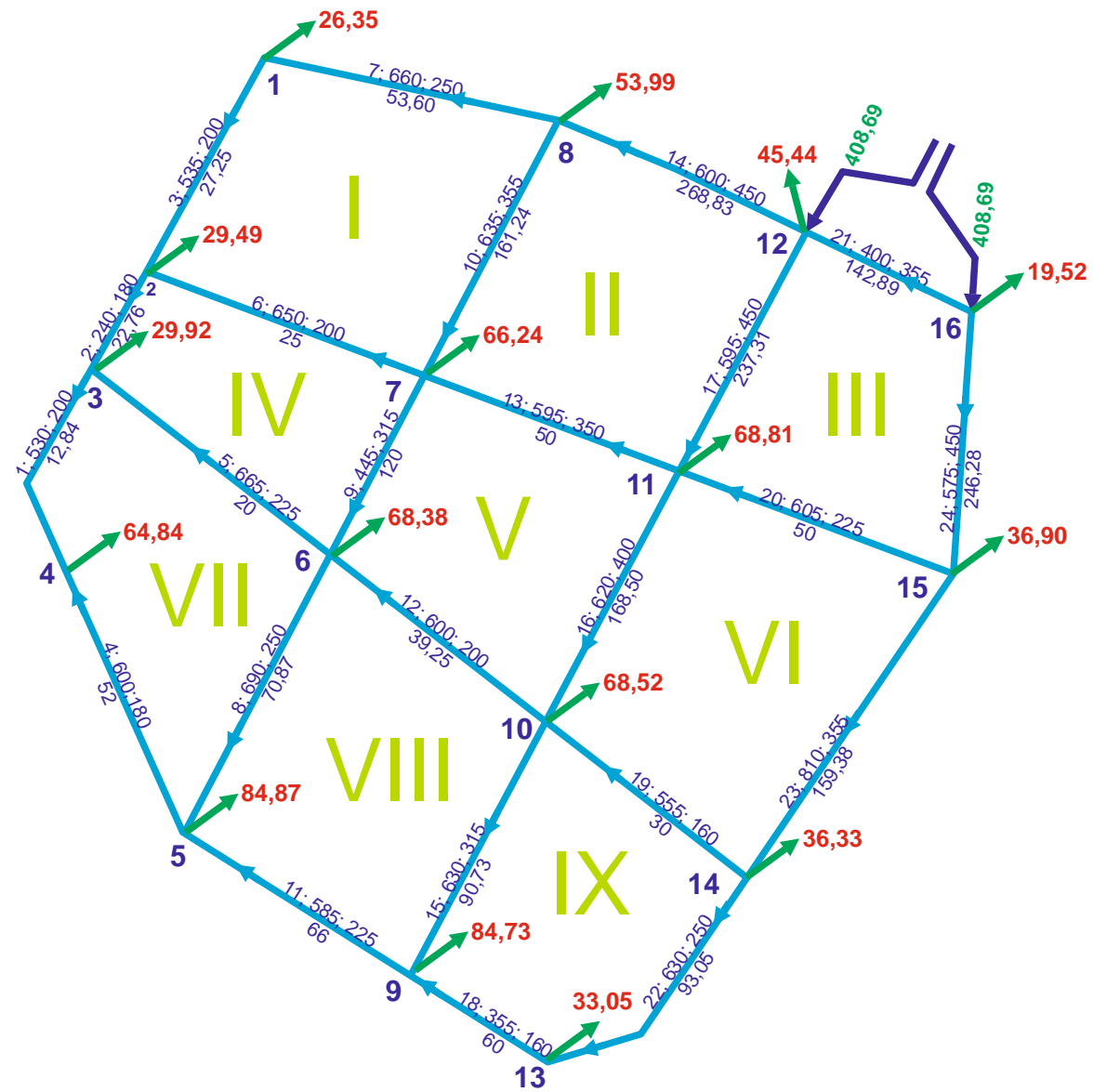


Рисунок 2.2 – Схема попереднього розподілу витрат на ділянках при гасінні пожеж

На них показуємо:

- номери кілець (елементарних замкнених контурів), вузлів та ділянок мережі;
- величини відбору в кожному вузлі;
- характеристики ділянок – довжину, умовний прохід труби та попередній розподіл потоків;
- місця підключення водоводів від насосної станції 2-го підйому та магістральних ліній для подачі води промисловим споживачам.

Відповідно до балансових розрахунків водоспоживання протягом доби, максимальний водорозбір припадає на проміжок часу між 8 та 9 годинами (див. табл. 1.2). Витрата води, яка надходить у водопровідну мережу міста в цей час становить 897,4 л/с. Це значення приймається у якості розрахункового у подальших обчисленнях $Q_{p.год} = 697,4$ л/с.

Поетапно виконаємо відповідні обчислення.

Питому витрату обчислимо за формулою:

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

де $Q_{зосер.}$ – сума витрат промисловими споживачами в годину максимального водорозбору, л/с ; $\Sigma Q_{зосер.} = 22,7$ л/с;

ΣL – довжина усіх ділянок водопровідної мережі, яку визначаємо з урахуванням рівномірності водовідбору, м; $\Sigma L = 11840$ м (креслення 1, Генплан міста).

$$q_{пит} = \frac{697,4 - 22,7}{11840} = 0,05698 \text{ (л/с)/м.}$$

Обчислюємо послідовно шляхові витрати для кожної ділянки мережі за формулою:

$$Q_{шлях} = q_{пит} L_{діл},$$

де $L_{діл}$ – довжина ділянки з урахуванням рівномірності водовідбору, приймаємо згідно креслення 1, Генплан міста, м.

З урахуванням того, що на ділянках 1-4 та 22-24 відбір відбувається тільки з однієї сторони ділянки (з іншої знаходяться зелені насадження), при обчисленнях приймаємо половину значення їх реальної довжини.

Результати обчислень шляхових витрат приведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Обчислення шляхових витрат

Номер ділянки	Довжини ділянок з урахуванням рівномірності водовідбору, м	Питома шляхова витрата, (л/с)/м	Шляхова витрата, л/с
1	265	0,05698	15,10
2	120		6,84
3	265		15,10
4	300		17,09
5	665		37,89
6	650		37,04
7	660		37,61
8	690		39,32
9	445		25,36
10	635		36,18
11	585		33,33
12	600		34,19
13	595		33,90
14	600		34,19
15	630		35,90
16	620		35,33
17	595		33,90
18	355		20,23
19	555		31,63
20	605		34,47
21	400		22,79
22	315		17,95
23	405		23,08
24	285		16,24
	11840		674,7

Для кожного вузла мережі обчислимо вузлові витрати за формулою

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

де $0,5\Sigma Q_{\text{шлях}}$ – півсума шляхових витрат на ділянках, що утворюють даний вузол, л/с;

$Q_{\text{зосер.}}$ – зосереджені витрати у вузлі, які треба враховувати в вузлах, де розташовані промислові споживачі, тобто в вузлах 4 і 13, л/с.

Результати обчислення вузлових витрат приведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Обчислення вузлових витрат

Номер вузла	Номери ділянок, що утворюють вузол				Зосереджена витрата у вузлі, л/с	Вузлова витрата, л/с
1	3	7	0	0	0	26,35
2	2	3	6	0	0	29,49
3	1	2	5	0	0	29,92
4	1	4	0	0	8,741	24,84
5	4	8	11	0	0	44,87
6	5	8	9	12	0	68,38
7	6	9	10	13	0	66,24
8	7	10	14	0	0	53,99
9	11	15	18	0	0	44,73
10	12	15	16	19	0	68,52
11	13	16	17	20	0	68,81
12	14	17	21	0	0	45,44
13	18	22	0	0	13,96	33,05
14	19	22	23	0	0	36,33
15	20	23	24	0	0	36,90
16	21	24	0	0	0	19,52
					Сума	697,4

Після обчислення вузлових витрат необхідно перевірити виконання наступної умови:

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

На схему кільцевої мережі в годину максимального водорозбору (рис. 2.1) наносимо обчислені значення вузлових витрат, при цьому окремо позначаються місця підключення водоводів – у даному випадку вузли 12 і 16.

Орієнтовний розподіл потоків по ділянках виконуємо, керуючись першим законом Кірхгофа: сумарний приплив до вузла (через ділянки та водоводи) має дорівнювати сумарному відпливу з нього, включаючи як транзитні, так і вузлові складові.

Окрему увагу приділяють перевірці мережі на випадок виникнення пожежі саме під час максимального водорозбору – це дає змогу визначити, чи здатні ділянки мережі пропустити потрібну кількість води. Найбільш несприятлива ситуація складається тоді, коли пожежа виникає у вузлах, найдалших від точок приєднання водоводів, або у вузлах з найбільшими геодезичними позначками,

оскільки саме там вільний напір у мережі буде найменшим. У розглянутому прикладі такими вузлами обрано 4, 5 та 9.

Для кожного з цих вузлів до значення вузлової витрати додається витрата на зовнішнє пожежогасіння, а саме 40 л/с.

На рис. 2.2 показано, що додаткові протипожежні витрати нами розподілено по ділянках із найбільшими діаметрами труб та тих, що утворюють найкоротший шлях від точок підключення водоводів до вузлів, у яких виникнення пожежі буде найбільш критичним.

2.1.3 Принципи визначення діаметрів трубопроводів

Для влаштування водоводів від НС2, а також окремих ділянок водопровідної мережі, проектом передбачено використання напірних труб з поліетилену.

Порівняно зі металевими виробами зі сталі або чавуну, полімерні труби мають низку відчутних переваг, через що останнім часом їх дедалі частіше застосовують при будівництві та реконструкції систем водопостачання.

По-перше, такий матеріал не піддається корозійним процесам: волога та хімічно активне середовище не спричиняють його руйнування чи окислення, що дозволяє експлуатувати мережу понад півстоліття без втрати працездатності.

По-друге, внутрішня поверхня виробів характеризується високим ступенем гладкості, завдяки чому гідравлічний опір потоку рідини зведений до мінімуму. Це дає змогу зменшити втрати тиску по довжині трубопроводу та забезпечити пропуск більшої кількості води при тому самому перерізі.

По-третє, невелика питома вага полімеру істотно полегшує транспортування, вивантаження та укладання секцій у траншею. З'єднання окремих відрізків виконується зварюванням, у результаті чого утворюються повністю герметичні стики без додаткових фланцевих кріплень чи прокладок.

Серед інших корисних властивостей – здатність матеріалу витримувати незначні деформації ґрунту, різкі стрибки тиску (явище гідравлічного удару) та

коливання температурного режиму без порушення цілісності з'єднань.

Гладкі стінки трубопроводу також практично виключають утворення відкладень солей твердості чи розвиток мікробіологічних колоній на внутрішній поверхні, що сприяє збереженню стабільної якості питної води впродовж усього періоду використання мережі.

З погляду економічної доцільності, застосування поліетиленових систем дозволяє скоротити витрати як на придбання самих виробів, так і на їх монтаж та подальше технічне обслуговування, що робить такий варіант привабливим і на етапі будівництва, і протягом усього життєвого циклу мережі.

Водночас слід зазначити й деякі обмеження, притаманні полімерним трубопроводам. Зокрема, вони чутливіші до впливу ультрафіолетового випромінювання, тому ділянки, що залишаються на поверхні без захисного покриття, з часом можуть втрачати частину своїх механічних характеристик. Також полімерний матеріал має нижчу механічну міцність та жорсткість порівняно з металом, через що такі труби потребують ретельнішого контролю при укладанні – недостатнє ущільнення ґрунту або наявність твердих включень у засипці може призвести до деформації стінки. Крім того, за високих температур транспортованого середовища допустимий робочий тиск у поліетиленових трубах знижується, що варто враховувати при проектуванні ділянок з підвищеними тепловими навантаженнями. Ще одним фактором є складність ремонту локальних пошкоджень: на відміну від металевих трубопроводів, де можливе застосування муфтових з'єднань, для поліетилену часто потрібне повторне зварювання ділянки.

Діаметри окремих ланок кільцевої мережі водопостачання, а також водоводів визначаємо з урахуванням попередньо розподілених витрат для години максимального водорозбору, а також відповідно до економічно обґрунтованого діапазону швидкостей руху рідини. Цей діапазон встановлюється згідно з [4, п. 12.44]. У рамках проєкту базовим прийнято інтервал 0,8–1,7 м/с, хоча на окремих ділянках за необхідності допускаємо деяке його розширення до 0,5–2,0 м/с.

Результати визначення діаметрів трубопроводів представлено на відповідних розрахункових схемах (рис. 2.1 та рис 2.2).

2.1.4 Ув'язування кільцевої водопровідної мережі

Сутність гідравлічного ув'язування кільцевої водопровідної мережі зводиться до послідовної заміни вихідного розподілу витрат, поки не буде забезпечуватися одночасне виконання двох умов. Перша умова передбачає рівність нулю суми витрат у кожному вузлі системи. Друга вимога стосується замкнених контурів: для них втрати напору на ділянках, де напрямок руху рідини збігається з годинниковою стрілкою, мають дорівнювати втратам на ділянках зі зворотним напрямком течії.

Гранично допустима величина небалансу при виконанні таких обчислень втрат напору прийнята нами 0,01 м.

Для виконання подібних розрахунків фахівцями кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод (ХНУМГ імені О.М. Бекетова) було створено спеціальне програмне забезпечення.

Обчислення проводилися для ситуацій, показаних на рис. 2.1 та 2.2, а одержані дані наведено в табл. 2.3 та 2.4 відповідно.

Таблиця 2.3 – Результати ув'язування кільцевої водопровідної мережі в годину максимального водорозбору

№ ділянки	Витрата (л/с)	Вт. напору $ h $ (м) ≥ 0	Напрямок потоку	Швидкість (м/с)	1000 <i>i</i> (%)	D зовн. (мм)	σ стінки (мм)	D вн. розрах. (мм)	Довжина (м)
1	12,21	1,02	→ прямий	0,5006	1,918	200	11,9	176,2	530
2	17,83	1,64	→ прямий	0,9024	6,846	180	10,7	158,6	240
3	23,89	3,68	→ прямий	0,9799	6,874	200	11,9	176,2	535
4	12,63	2,14	→ прямий	0,6395	3,559	180	10,7	158,6	600
5	24,30	2,54	→ прямий	0,7876	3,827	225	13,4	198,2	665
6	23,42	4,30	→ прямий	0,9606	6,619	200	11,9	176,2	650
7	50,24	5,75	→ прямий	1,3169	8,713	250	14,8	220,4	660
8	23,56	1,43	→ прямий	0,6176	2,067	250	14,8	220,4	690
9	88,72	3,40	→ прямий	1,4659	7,643	315	18,7	277,6	445
10	127,01	5,13	→ прямий	1,6527	8,074	355	21,1	312,8	635
11	33,94	4,22	→ прямий	1,1001	7,221	225	13,4	198,2	585
12	27,52	5,40	→ прямий	1,1287	8,992	200	11,9	176,2	600
13	51,38	5,41	→ прямий	1,3466	9,090	250	14,8	220,4	595
14	231,24	4,35	→ прямий	1,8718	7,250	450	26,7	396,6	600
15	64,11	2,60	→ прямий	1,0592	4,123	315	18,7	277,6	630

№ 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)
16	144,61	3,42	→ прямий	1,4810	5,510	400	23,7	352,6	620
17	224,26	4,07	→ прямий	1,8153	6,840	450	26,7	396,6	595
18	14,56	3,07	→ прямий	0,9326	8,645	160	9,5	141	355
19	15,54	5,43	→ прямий	0,9952	9,780	160	9,5	141	555
20	40,54	6,12	→ прямий	1,3139	10,119	225	13,4	198,2	605
21	152,25	4,56	→ прямий	1,9812	11,395	355	21,1	312,8	400
22	47,61	4,96	→ прямий	1,2480	7,867	250	14,8	220,4	630
23	99,48	4,11	→ прямий	1,2946	5,076	355	21,1	312,8	810
24	176,92	2,51	→ прямий	1,4321	4,359	450	26,7	396,6	575

Таблиця 2.4 – Результати ув'язування кільцевої водопровідної 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	40,29	9,83	→ прямий	1,6522	18,546	200	11,9	176,2	530
2	33,56	5,47	→ прямий	1,6988	22,777	180	10,7	158,6	240
3	33,18	6,86	→ прямий	1,3607	12,827	200	11,9	176,2	535
4	24,55	7,55	→ прямий	1,2429	12,578	180	10,7	158,6	600
5	36,65	5,55	→ прямий	1,1877	8,353	225	13,4	198,2	665
6	29,87	6,83	→ прямий	1,2251	10,507	200	11,9	176,2	650
7	59,53	7,94	→ прямий	1,5603	12,026	250	14,8	220,4	660
8	57,77	7,84	→ прямий	1,5142	11,359	250	14,8	220,4	690
9	127,18	6,74	→ прямий	2,1013	15,150	315	18,7	277,6	445
10	160,21	7,97	→ прямий	2,0849	12,554	355	21,1	312,8	635
11	51,66	9,38	→ прямий	1,6742	16,037	225	13,4	198,2	585
12	35,62	8,81	→ прямий	1,4607	14,676	200	11,9	176,2	600
13	63,08	7,99	→ прямий	1,6533	13,424	250	14,8	220,4	595
14	273,73	5,99	→ прямий	2,2158	9,990	450	26,7	396,6	600
15	110,14	7,26	→ прямий	1,8197	11,527	315	18,7	277,6	630
16	193,23	5,92	→ прямий	1,9789	9,556	400	23,7	352,6	620
17	274,60	5,98	→ прямий	2,2228	10,050	450	26,7	396,6	595
18	26,25	9,40	→ прямий	1,6810	26,478	160	9,5	141	355
19	21,05	9,66	→ прямий	1,3478	17,403	160	9,5	141	555
20	50,51	9,30	→ прямий	1,6372	15,369	225	13,4	198,2	605
21	185,08	6,61	→ прямий	2,4085	16,514	355	21,1	312,8	400
22	59,30	7,52	→ прямий	1,5543	11,938	250	14,8	220,4	630
23	116,67	5,57	→ прямий	1,5183	6,872	355	21,1	312,8	810
24	204,09	3,29	→ прямий	1,6520	5,719	450	26,7	396,6	575

2.1.5 Споруди, які необхідно влаштовувати на водопровідній мережі

На водопровідній мережі міста передбачаємо влаштування комплексу інженерних споруд та технологічних вузлів, які спільно гарантують стабільну й безаварійну роботу мережі.

Ключовим елементом тут виступають оглядові колодязі – споруди, що забезпечують доступ для обслуговування, ремонтних робіт та діагностики стану труб. У них розміщується арматура різного функціонального призначення.

Для перекриття та регулювання водяних потоків застосовано поворотні дискові затвори. Їх обрано замість звичних засувок завдяки меншим габаритам і вазі, що полегшує монтаж, зменшує навантаження на колодязні конструкції та знижує вартість облаштування вузлів.

Функцію захисту виконують вантузи, призначені для відведення повітря, що накопичується у трубі й здатне порушити гідравлічний режим. Їх розташовують у вузлових точках та на найвищих за рельєфом ділянках траси, де повітряні пробки утворюються найчастіше.

Пожежні гідранти як водорозбірна арматура дозволяють оперативно підключати техніку для пожежогасіння у випадку загорянь.

Окрему роль відіграють бетонні упори, що монтуються на поворотах та розгалуженнях трубопроводу. Вони гасять динамічні навантаження, які виникають при зміні напрямку течії, запобігаючи зсуву труб, розгерметизації з'єднань та аваріям з протіканням.

Компенсатори ж поглинають деформації, що з'являються через коливання температур і ведуть до подовження або скорочення труби. Це знижує надлишкові напруження в матеріалі та стиках, продовжуючи термін служби мережі.

Поліетилен, на відміну від сталі чи чавуну, має значно вищий коефіцієнт лінійного теплового розширення, тому навіть невеликі сезонні або добові перепади температур помітно змінюють геометрію труби: нагрівання спричиняє подовження, охолодження – скорочення, причому масштаб залежить від довжини ділянки та температурного діапазону експлуатації.

Найуразливішими є ділянки, прокладені відкрито або на малій глибині, без

стабілізуючого впливу ґрунту. Взимку стиснення матеріалу породжує розтягувальні зусилля у кріпленнях і з'єднаннях. Влітку, навпаки, розширення труби може призводити до втрати прямолінійності трасування – так званого хвилеутворення, – а арматура й фасонні елементи отримують додаткове навантаження. За рахунок дії теплових деформацій розташування арматури в колодязях може бути суттєво змінено у порівнянні з проєктним.

Якщо ці деформації не компенсувати, виникає ризик розгерметизації стиків, особливо в місцях контакту з жорсткими елементами – фітингами, арматурою, колодязями. Крім того, циклічне розширення-стиснення поступово викликає втомне зношування матеріалу в зонах концентрації напружень, що з часом призводить до появи мікротріщин і витоків.

Одним із практичних рішень для мінімізації цих ризиків є правильно обраний рівень глибини прокладання, що забезпечує стабільніший температурний режим протягом року та зменшує вплив зовнішніх коливань на роботу системи.

Загалом поєднання оглядових колодязів з арматурою, бетонних упорів і компенсаторів формує технічно й економічно обґрунтовану конфігурацію мережі, яка може забезпечувати надійне водопостачання за будь-яких режимів роботи.

2.2 Підбір та розрахунок водозабірної споруди

2.2.1 Вибір типу водозабірної споруди, описання режиму його роботи

При виборі місця для зведення водозабірних споруд із поверхневого джерела водопостачання необхідно враховувати цілий комплекс взаємопов'язаних факторів. Насамперед, обраний майданчик повинен знаходитись на геологічно стійкій і незмінній ділянці берегової лінії, що виключає ризики зсувів, підмивання ґрунту або деформації основи в умовах тривалої експлуатації. Топографічна ситуація у зоні проєктування має бути сприятливою: це дозволяє суттєво спростити організацію будівельних робіт, скоротити обсяги земляних операцій та знизити загальні капітальні витрати на зведення об'єкту.

З гідрологічної та санітарно-епідеміологічної точки зору принципово важливо, щоб водозабір розміщувався вище за течією річки відносно точок скидання господарсько-побутових стічних вод від населеного пункту [4, 7, 8]. Такий підхід унеможливорює потрапляння різного типу антропогенних забруднень у зону водозабору навіть у випадку аварійних ситуацій на очисних спорудах або при раптових змінах гідрологічного режиму водойми. Поряд із цим водозабірною споруда має бути розташована якомога ближче до міста, що обслуговується, це дозволяє мінімізувати довжину водоводів першого підйому, а отже, зменшити гідравлічні втрати та витрати на прокладання трубопроводів.

Характер рельєфу як берегової зони, так і русла річки в місці проектування є визначальним при виборі конструктивного типу водозабірної споруди. У розглядуваному випадку берег має плавний, пологий профіль без різких перепадів висот, а дно річки поступово заглиблюється в бік фарватеру. Зважаючи на ці умови, найбільш обґрунтованим і технічно доцільним рішенням є влаштування руслового типу водозабору. Додатково можна відмітити наступне, на відміну від берегових конструкцій, русловий водозабір здатний забезпечувати стабільне надходження води навіть при значних коливаннях рівня у річці та при утворенні донного льоду в зимовий період.

Для забезпечення безперебійної та надійної роботи об'єкта в різних умовах, у тому числі при проведенні планових ремонтних заходів або у разі аварійних ситуацій – споруда розділяється на дві незалежні технологічні секції. Кожна з них здатна функціонувати автономно, приймаючи на себе певну частку загальної продуктивності. Завдяки такому конструктивному рішенням система водозабору набуває необхідного рівня резервування і не залежить від виходу з ладу окремих елементів. Обладнання та параметри кожної секції розраховується на нормальний режим роботи, тобто, коли працюють всі секції. Таким чином розрахунковою продуктивністю кожної секції є 50% від загальної продуктивності.

Кожна секція включає два послідовно розташованих відділення, через які вода проходить у встановленому порядку. Перше – приймальне відділення – призначене для первинного надходження річкової води крізь захисні решітки, що

затримують плаваючий сміття, гілки, рибу та інше великогабаритне сміття. Після цього вода самопливом потрапляє до другого – всмоктувального відділення, де відбувається її подальше переміщення до насосного обладнання.

Для місця розташування водозабору характерно наступні процеси. Внутрішньоводне льодоутворення присутнє, однак після встановлення льодоставу воно припиняється і, як правило, без забиття русла шугою та утворення шугозаторів. З урахування цієї обставини робимо висновок, що умови водозабору – середні [4, п. 9.2.4].

Влаштування насосної станції передбачаємо окремо на деякій відстані від водоприймального колодязя, відповідно від берега, що забезпечує більш надійне функціонування споруди в період повені.

Режим функціонування водозабору та насосної станції першого підйому упродовж доби приймається рівномірним. Це означає, що подача води здійснюється з постійною витратою незалежно від часу доби, що суттєво спрощує керування обладнанням і дозволяє уникнути піків навантаження в енергосистемі. Рівномірний добовий режим також сприятливо позначається на стабільності роботи очисних споруд.

Окремої уваги потребує питання протипожежного резерву води. У разі його витрачання під час гасіння пожежі відновлення недоторканного запасу здійснюється шляхом тимчасового скорочення споживання на задоволення окремих, менш пріоритетних потреб споживачів. Такий підхід дозволяє підтримувати необхідний рівень пожежної безпеки без залучення додаткових насосних потужностей чи окремих резервуарів зберігання.

2.2.2 Визначення розрахункової продуктивності

Розрахункова потужність водозабірних об'єктів визначається з огляду на внутрішнє споживання ресурсів самої водопідготовчої станції для забезпечення її виробничих потреб:

$$Q_p = Q_{\text{корис}} \cdot \alpha,$$

де α – поправочний коефіцієнт, що відображає додаткову потребу у воді для підтримання власних технологічних операцій станції. Зважаючи на те, що промивні води після регенерації фільтраційного обладнання передбачається повертати назад у технологічний ланцюг, величина даного коефіцієнта встановлюється рівною $\alpha = 1,03$;

$Q_{\text{корис}}$ – розрахунковий показник витрати, що характеризує добовий обсяг водопостачання міста в період максимального навантаження на систему водоспоживання (табл. 1.2), $Q_{\text{корис}} = 43000 \text{ м}^3/\text{доб}$.

$$Q_p = 43000 \cdot 1,03 = 44290 \text{ м}^3/\text{доб} = 1845 \text{ м}^3/\text{год} = 513 \text{ л/с}.$$

З метою проведення подальшого аналізу розрахуємо також проміжні значення витрат: величина, що становить 70% від базового розрахункового показника, складатиме $1292 \text{ м}^3/\text{год}$ (359 л/с), тоді як значення на рівні 50% від тієї самої розрахункової величини дорівнюватиме $923 \text{ м}^3/\text{год}$ (256 л/с).

2.2.3 Розрахунок водоприймальних отворів

Визначаємо потрібну площу двох різновидів водоприймальних отворів:

- через які рідина надходить крізь решітки безпосередньо в затоплений оголовок;
- в яких змонтовані сміттєзатримуючі сітчасті елементи.

Обидва типи отворів розраховуються за єдиною розрахунковою формулою::

$$\Omega = 1,25 \cdot \frac{Q_p}{v_B} \cdot K_{\text{ст}},$$

де v_B – швидкість течії рідини, м/с: для отворів із решітками її значення становить $v_B = 0,15 \text{ м/с}$ [6, п. 9.2.14], тоді як для отворів із сітками приймаємо, $v_B = 0,5 \text{ м/с}$;

Q_p – розрахунковий витратний показник однієї секції, що дорівнює 50% від загальної продуктивності споруди, тобто $Q_p = 0,256 \text{ м}^3/\text{с}$;

$K_{\text{ст}}$ – безрозмірний коефіцієнт, що відображає скорочення живого перерізу через присутність металевих стрижнів (у решітках) або дротяних елементів (у сітках).

Для решіток зазначений коефіцієнт визначається з такого виразу

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

де $a_{\text{ст}}$ – просвіт між суміжними стрижнями решітки, який приймаємо рівним $a_{\text{ст}} = 5$ см;

$c_{\text{ст}}$ – поперечний розмір окремого стрижня конструкції, який приймаємо рівним $c_{\text{ст}} = 1$ см.

$$K_{\text{ст}} = \frac{5 + 1}{1} = 1,2.$$

Для сіток $K_{\text{ст}}$ визначаємо за іншою формулою:

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

де $a_{\text{ст}}$ – розмір отвору комірки сітчастого полотна, приймаємо $a_{\text{ст}} = 2$ мм;

$c_{\text{ст}}$ – діаметр дроту, з якого сформовано сітчасте полотно, приймаємо $c_{\text{ст}} = 1$ мм.

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

Проводимо розрахунок площі решіток, що розміщуються на оголовку:

$$\Omega = 1,25 \cdot \frac{0,256}{0,15} \cdot 1,2 = 2,56 \text{ м}^2.$$

На підставі отриманих результатів для кожної секції оголовка підбираємо решітки типорозміром 1500×2000 мм із масою 205 кг [7].

Розраховуємо потрібну площу сіток:

$$\Omega = 1,25 \cdot \frac{0,256}{0,5} \cdot 2,25 = 1,44 \text{ м}^2.$$

З урахуванням того, що умови водозабору встановлені як середні, то приймаємо сітки, що обертаються. З них обираємо обладнання марки ТН-1500, зі сітки з зовнішнім підводом води. Вони мають такі характеристики:

- діапазон продуктивності – 1,5-3 м³/с;
- ширина робочого полотна – 1500 мм;
- розмір комірок – 2х2мм ;

- радіус обертового механізму – 730 мм ;
- довжина проміжку від вісі зірочки нижньої частини механізму до дна водоприймача – 1000 мм;
- довжина проміжку від вісі зірочки верхньої частини механізму до підлоги службового павільйону – 1100 мм;
- висота механізму над підлогою службового павільйону – 2695 мм.

Занурення сітки під воду повинне дорівнювати

$$H_c = \frac{\Omega}{B_c} = \frac{1,44}{1,5} = 0,96 \text{ м.}$$

2.2.4 Розрахунок самопливних ліній

Розрахунок самопливних трубопроводних ліній виконується для двох режимів роботи: штатного (нормального) та аварійного. Матеріал труб – сталь [4, п. 9.2.23]. Вибір необхідних діаметрів здійснюється відповідно до нормативних значень допустимих швидкостей руху рідини, регламентованих у [4, п. 9.2.23].

1) Штатний режим роботи. Значення параметрів наступні:

$$Q=256 \text{ л/с; } d=500 \text{ мм; } v=1,22 \text{ м/с; } 1000i=3,79.$$

Загальна величина гідравлічних втрат напору (лінійних та місцевих) обчислюється за формулою:

$$\Delta h_c = 1000i \cdot l_c + \sum \xi \frac{v^2}{2 \cdot g};$$

де l_c – довжина однієї секції самопливного трубопроводу, $l_c = 50$ м.

$\sum \xi$ – узагальнений (сумарний) коефіцієнт місцевих опорів, що враховує такі елементи: звуження перерізу в камері оголовку, вхід з оголовку в трубу труби, трійник, засувку, вихід з труби у приймальне відділення:

$$\sum \xi = \xi_{\text{звуж}} + \xi_{\text{вхід}} + \xi_{\text{тр}} + \xi_{\text{зас}} + \xi_{\text{вих}} = 0,5 + 0,25 + 0,1 + 0,3 + 1 = 2,15.$$

$$\Delta h_c = 3,79 \cdot 0,05 + 2,15 \cdot \frac{1,22^2}{2 \cdot 9,81} = 0,35 \text{ м;}$$

2) Аварійний режим роботи (лінії, що залишились у роботі, повинні забезпечити пропуск повної витрати – 100%):

$$Q = 513 \text{ л/с}; d=500 \text{ мм}; v=2,39 \text{ м/с}; 1000i=14,5.$$

За умов виникнення нештатної ситуації гідравлічні втрати напору зростають порівняно зі штатним режимом. Значення втрат напору в аварійному режимі є визначальною розрахунковою величиною згідно з [4, п. 9.2.23].

$$\Delta h_c = 14,5 \cdot 0,05 + 2,15 \frac{2,39^2}{2 \cdot 9,81} = 0,83 \text{ м.}$$

2.2.5 Встановлення розрахункових відміток рівнів води у відділеннях водоприймача

В приймальній камері відмітка розрахункового рівня визначається за формулою:

$$z_{p.pr} = z_{ГНВ} - h_r - h_{c.л.},$$

де $z_{ГНВ}$ – відмітка гарантованого мінімуму води у річці, $z_{ГНВ} = 68$ м;

h_r – втрати напору на решітках, задамося значенням 0,15 м;

$h_{c.л.}$ – втрати напору в самопливному трубопроводі за аварійних умов роботи, $h_{c.л.} = 0,83$ м.

$$z_{p.pr} = 68 - 0,15 - 0,83 = 67,02 \text{ м}$$

Для всмоктувальної камери відмітка розрахункового рівня рідини становить:

$$z_{p.вс} = z_{p.pr} - h_{c.іт},$$

де $h_{c.іт}$ – втрати напору в отворах сіток, що обертаються, задамося $h_{c.іт} = 0,2$ м.

$$z_{p.вс} = 67,02 - 0,2 = 66,82 \text{ м.}$$

2.2.6 Визначення розмірів водоприймача. Підбір допоміжного обладнання

Під час проектування водозабірної споруди, а саме водоприймача, який розташовується на березі, габарити підземного блоку визначаються потребою в розміщенні технологічного обладнання, насамперед самопливних ліній та сіток ТН-1500. Приймаємо, що в плані споруда має прямокутну конфігурацію з розмірами 9×9 м.

Виконання підземного блоку передбачене з монолітного залізобетону. Глибина заглиблення встановлюється відповідно до проєктних відміток розташування решіток, сіток та воронок всмоктувальних трубопроводів.

Наземна частина водозабору включає павільйон, в якому знаходиться верхня секція сіткового механізму, майданчик для технічного обслуговування та вантажопідйомне обладнання. Несучі й огорожувальні конструкції надземного блоку будівлі зводяться зі збірних залізобетонних елементів. Форма в плані наземного блоку будівлі також є прямокутною з такими прийнятими розмірами 12×9 м.

На висоту надземної частини впливає ціла низка факторів: компоновання та габарити технологічного обладнання, технічні характеристики вантажопідйомних механізмів, параметри транспортних засобів, а також розміри найбільш габаритного технологічного обладнання. З огляду на вимогу про кратність висоти наземної частини 1,2 м, для водозабору прийнято її значення 6,0 м.

Для забезпечення вантажопідйомних операцій у будівлі водозабору застосовується кран-балка з вантажопідйомністю 5 т, підібрана відповідно до каталогу [9].

Водоприймальні отвори, а також отвори між секціями водозабірних споруд обладнуються щитовими затворами, що дозволяє перекривати їх у разі проведення ремонтних робіт.

2.2.7 Заходи з рибозахисту

Захист рибних ресурсів забезпечується шляхом формування електричного поля навколо захисних стрижнів. Принцип дії такого рибозахисту ґрунтується на здатності риб сприймати електричні імпульси у водному середовищі. Під впливом змінного електричного поля низької частоти риба отримує тактильне подразнення, яке викликає у неї захисну реакцію – відхід від зони водоприймального отвору. При цьому жодної фізичної чи біологічної шкоди

живим організмам не завдається, що робить електричний метод одним із найбільш екологічно безпечних способів захисту іхтіофауни.

Система електрозахисту складається з генератора імпульсів, блоку керування та електродів-стрижнів, які розміщуються перед водоприймальними отворами у водному потоці. Електроди встановлюються таким чином, щоб зона дії поля охоплювала весь переріз водоприймача. Параметри електричного сигналу – напруга, частота та форма імпульсу – підбираються відповідно до видового складу іхтіофауни у конкретній водоймі, оскільки різні види риб мають неоднакову чутливість до електричного впливу.

Важливою перевагою такого рішення є його автономність та можливість цілодобової роботи без постійної присутності обслуговуючого персоналу. Система легко інтегрується в загальну автоматизовану систему керування водозабором і може бути налаштована на дистанційне управління. Крім того, електричний рибозахист є економічно вигідним порівняно з механічними аналогами – він не потребує регулярного очищення від обростань та засмічення сміттям, що значно скорочує експлуатаційні витрати протягом усього терміну служби споруди.

2.2.8 Очищення елементів водозабору від забруднень

Гідроелеватори є основним засобом вилучення накопиченого осаду з камер і відділень водозабірних споруд. Принцип їх роботи базується на ежекційному ефекті: робочий потік під тиском, проходячи через сопло, створює розрідження, яке захоплює осад разом з навколишньою водою та транспортує суміш за межі споруди. Перевага цього методу полягає у відсутності рухомих деталей безпосередньо в зоні забруднення, що суттєво підвищує надійність і довговічність обладнання.

Для ефективного застосування гідроелеваторів у кожному відділенні передбачаються ухил дна та приямки, до яких самопливом сповзає накопичений осад. Гідроелеватор встановлюється в приямку стаціонарно. Напір робочої води

підводиться від напірних ліній насосної станції першого підйому, що виключає потребу в окремому насосному обладнанні для промивки.

Продуктивність гідроелеватора підбирається з урахуванням об'єму відділення, очікуваної інтенсивності осадоутворення та допустимого часу на проведення технологічної операції. Питома витрата робочої води зазвичай становить від 3 до 8 м³ на 1 м³ суміші, що перекачується. Пульпа, яка утворюється в процесі роботи, відводиться самопливним трубопроводом на мулові майданчики.

Особливу увагу слід приділяти рівномірності розподілу осаду по дну відділення. За наявності застійних зон рекомендується попереднє розмивання осаду струменем води від промивного патрубку, після чого гідроелеватор забезпечує повне вилучення розпушеної маси. Кратність промивки кожного відділення визначається за показниками накопичення наносів та не повинна перевищувати допустимого терміну, після якого осад ущільнюється і втрачає плинність.

Сітки, які обертаються, є відповідальним елементом водозабору, що потребує регулярного та ретельного очищення. Забруднення сіткового полотна водоростями, дрібним планктоном, завислими органічними частинками та продуктами життєдіяльності молюсків призводить до зростання гідравлічного опору, зниження витрати через водоприймальний отвір і підвищення перепаду рівнів між відділеннями.

Для автоматичного промивання передбачається підведення промивного трубопроводу від напірних ліній насосних станцій. Система промивки складається з колектора, розташованого вздовж усієї ширини сітки, та ряду сопел або щілинних насадок, спрямованих на полотно зі сторони чистої води. У процесі обертання сітки кожна ділянка полотна послідовно проходить під промивною штангою, де струмені води під тиском 0,3–0,6 МПа вибивають забруднення у протилежний бік – у зону брудної води, звідки змиви відводяться жолобом у каналізаційну мережу або відкидний лоток.

Тиск промивної води та витрата підбираються таким чином, щоб забезпечити надійне очищення комірок сітки без механічного пошкодження полотна. Для сіток із дрібним розміром комірок (до 2 мм), де ймовірно закупорювання біологічними обростаннями, рекомендується поєднувати гідравлічну промивку з періодичною подачею розчину дезінфектанту через промивний колектор. Хімічне оброблення послаблює адгезію мікроорганізмів, а механічна дія струменів забезпечує повне видалення розпушеного нальоту.

Режим роботи системи промивки – безперервний, здійснюється під час обертання сіток або циклічний з таймерним керуванням. За умов інтенсивного розвитку фітопланктону у вегетаційний сезон перевагу надають безперервному режиму; у зимовий період достатньо циклічного включення з інтервалом 15–30 хвилин. Ефективність промивки контролюється за перепадом рівнів між камерами: відновлення розрахункового перепаду свідчить про задовільний стан полотна.

Для очищення самопливних трубопроводів і вхідних решіток на оголовку, доступ до яких є принципово обмеженим, застосовується імпульсний метод промивки. Його суть полягає у створенні короткочасних гідравлічних ударів шляхом раптового відкривання швидкодіючої арматури, підключеної до резервуара-акумулятора з водою під підвищеним тиском. Хвиля тиску, що поширюється вздовж трубопроводу, руйнує відкладення та вимиває їх у відкриту водойму.

Цикл повторюється від 5 до 20 разів; тривалість усієї операції – від 30 хвилин до кількох годин. Обладнання є мобільним і може використовуватись на кількох об'єктах поперемінно.

Застосування методу вимагає попереднього розрахунку допустимого тиску імпульсу з урахуванням стану труб, а промивку рекомендується проводити вночі або при зниженому водовідборі, щоб мінімізувати вплив вимитих забруднень на сусідні секції.

2.3 Розрахунок насосної станції 1-го підйому

2.3.1 Визначення необхідної подачі та напору

Розрахункова подача насосної станції 1-го підйому технологічно співпадає з продуктивністю водозабірної споруди і складає $Q_{НС1} = 1845 \text{ м}^3/\text{год} = 513 \text{ л/с}$.

Необхідний напір насосної станції складається з трьох доданків [8, 10, 11]:

- геометричної висоти підйому води $H_{\text{геом}}$, яка в свою чергу представляє собою різницю відміток води в напірному та всмоктувальному резервуарі; для насосної станції 1-го підйому це, відповідно, відмітки в змішувачі на очисних спорудах та у всмоктувальному відділенні водозабору: 105,00 м і 66,82 м,

$$H_r = 101,00 - 66,18 = 34,18 \text{ м.}$$

- напору на вилив h_v , приймаємо без розрахунків 1,0 м;
- суми втрат напору, відповідно, у всмоктувальних трубопроводах $h_{\text{вс}}$, комунікаціях станції $h_{\text{ст}}$, напірних водоводах h_n .

Втрати напору у всмоктувальних трубопроводах та в комунікаціях станції приймаємо без розрахунку, відповідно, 0,5 м та 3,0 м.

Вважаємо, що в напірних водоводах втрати напору обумовлені, перш за все, втратами напору по довжині l_n (1,3 км) втрати напору на місцеві опори врахуємо за допомогою коефіцієнта 1,1

$$h_n = 1,1 \cdot 1000i \cdot l_n$$

Водоводи влаштовуємо в дві лінії, для кожної приймається розрахункова витрата 50% від повної, труби – поліетиленові:

$$d = 560 \text{ мм}; \quad v = 1,67 \text{ м/с}; \quad 1000i = 4,66.$$

$$h_n = 1,1 \cdot 4,66 \cdot 1,3 = 6,66 \text{ м.}$$

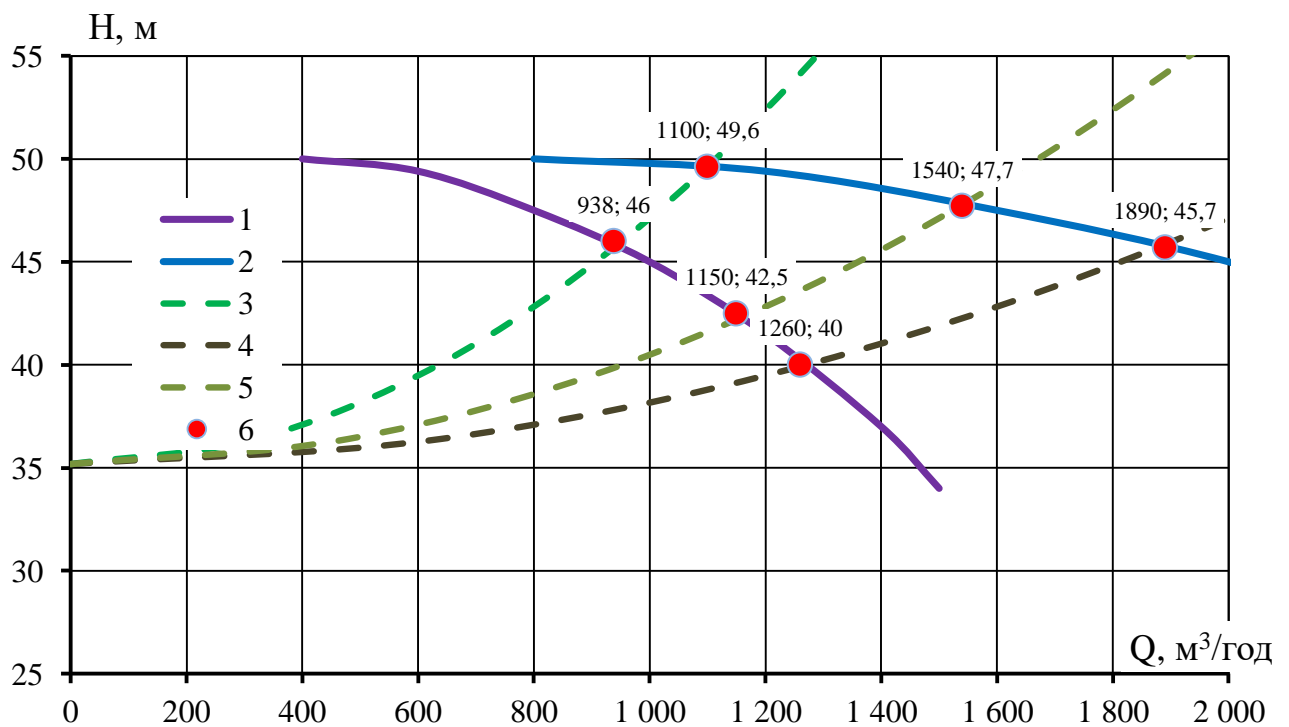
$$H_{\text{н.с.}} = 34,18 + 0,5 + 3,0 + 1,0 + 6,66 = 45,3 \text{ м.}$$

На насосній станції 1-ої категорії надійності кількість робочих та резервних насосів повинна бути не менше двох [4, п. 11.2]. Таким чином, орієнтуючись для кожного робочого насоса на 50% подачу $Q_{НС1}$ (923 м³/год) та напір 45,3 м,

приймаємо за [12] до установки насоси марки Д 1250-63 з такими характеристиками:

- частота обертання робочого колеса $n = 1450$ об/хв;
- діаметр робочого колеса насоса $D_{pk} = 390$ мм;
- робочий напір насоса $H = 46$ м;
- потужність на валу насоса $N = 140$ кВт;
- ККД насоса $\eta = 82$ %;
- кавітаційний запас $\Delta h_{доп} = 5,2$ м;
- діаметр всмоктувального патрубку $D_{вс.п} = 350$ мм;
- діаметр напірного патрубку $D_{нап.п} = 250$ мм.

Проаналізуємо сумісну роботу двох насосів та двох водоводів (рис. 2.3).



1 – графік роботи одного насоса; 2 – графік роботи двох насосів; 3 – графік роботи одного водовода; 4 – графік роботи двох водоводів; 5 – графік аварійної роботи двох водоводів з перемичками; 6 – робочі точки системи

Рисунок 2.3 – Графіки сумісної роботи насосів та водоводів

Q-H характеристика водоводу будується за допомогою рівняння:

$$H = H_{ст} + S_{пр} \cdot Q^2,$$

де $H_{ст}$ – статичний напір ($H_{г} + h_{в}$), м,

$$H_{ст} = 34,18 + 1,0 = 35,18 \text{ м};$$

$S_{пр}$ – коефіцієнт опору системи трубопроводів:

$$S_{пр} = \frac{h_{вс} + h_{ст} + h_{н}}{(0,5 \cdot Q_{НС1})^2} = \frac{0,5 + 3,0 + 6,66}{(0,5 \cdot 1845)^2} = 1,194 \cdot 10^{-5} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{год})^2.$$

Перевіримо умови роботи системи подачі води в аварійній ситуації. Згідно рис. 2.3, коли працює водовод, подача системи складає $1100 \text{ м}^3/\text{год}$, що менше мінімально допустимої (70% від повної), яка дорівнює $1292 \text{ м}^3/\text{год}$.

Влаштування двох перемичок між водоводами дає змогу забезпечити при аварії подачу $1540 \text{ м}^3/\text{год}$, яка більша за мінімально допустиму $1292 \text{ м}^3/\text{год}$.

2.3.2 Визначення розмірів насосної станції 1-го підйому. Підбір допоміжного обладнання

Проектом передбачено влаштування насосної станції напівзаглибленого типу, тобто без проміжного перекриття між її підземною та надземною частинами. Підземна частина споруди, де розміщується машинна зала, у плані має прямокутну форму, її розміри – $9 \times 12 \text{ м}$. Її необхідна площа визначається в залежності габаритів обладнання: насосних агрегатів, трубопровідних комунікацій та встановленій на ній арматурі.

Заглиблення визначається відповідно до вимог розміщення насосів, а також всмоктувальних і напірних комунікацій. Згідно [4, п.11.3] насоси встановлюються під заливом, тобто відмітка вісі насоса менша за відмітку рівня води у всмоктувальній камері водозабору на величину, що дорівнює відстані від вісі насоса до верхньої точки його корпусу.

Підземна частина насосної станції виконується з монолітного залізобетону. Передбачається влаштування гідроізоляції для запобігання потраплянню в машинну залу ґрунтових вод.

Наземна частина насосної станції запроектована з розмірами $9 \times 18 \text{ м}$. У додатковому приміщенні розміщено диспетчерський пункт, електрощитова,

трансформаторний відсік, санітарний вузол та підсобні кімнати. Несучі та огорожувальні конструкції цієї будівлі зводяться зі збірного залізобетону.

Камера перемикачів у плані має квадратну конфігурацію 6×6 м.

Висота наземної частини визначається за таким же принципом, як і для водозабору: прийнято для насосної станції – 7,2 м, для камери перемикачів – 4,8 м.

У камерах перемикачів монтуються напірний колектор, який оснащений запірною-регулюючою та запобіжною арматурою, а також на кожній напірній лінії по одному автоматичному гасінню гідравлічних ударів. Вибір трубопровідної арматури здійснюється за каталогом [13] відповідно до умовного прохідного діаметру та робочого тиску в місці монтажу.

Підбір комунікацій (всмоктувальних і напірних трубопроводів) разом із встановленим на них устаткуванням виконується відповідно до розрахункових витрат і нормативного діапазону швидкостей руху рідини згідно з [4, п. 11.8].

У машинній залі передбачено влаштування підлоги з ухилом, дренажного лотка та збірного приямка. Для відведення дренажної води в приямку встановлюються занурені дренажні насоси – робочий та резервний. Вантажопідйомне устаткування представлено кран-балками: з вантажопідйомністю 5 т – для будівлі насосної станції та 1 т – для камери перемикачів [9].

2.4 Розрахунок насосної станції 2-го підйому

Насосна станція 2-го підйому подає воду у водопровідну мережу без регулюючих ємностей (без водонапірної башти або контррезервуару). Тому її розрахункова подача повинна дорівнювати максимальній годинній витраті, яка дорівнює $2511 \text{ м}^3/\text{год} = 697 \text{ л/с}$. При аварії чи при гасінні пожежі допускається зниження подачі до 70%, тобто $1758 \text{ м}^3/\text{год}$.

З урахуванням того, що робочих насосів повинно бути мінімум два (1 категорія надійності), то найбільша подача одного насоса має бути $1256 \text{ м}^3/\text{год}$.

Регулювання роботи насосної станції 2-го підйому для максимального узгодження її подачі з графіком водоспоживання здійснюємо шляхом зміни частоти обертання робочого колеса насосних агрегатів за допомогою перетворювачів частоти струму.

Необхідний напір насосної станції 2-го підйому при відсутності регулюючої ємності на водопровідній мережі складається з таких доданків (рис. 2.4):

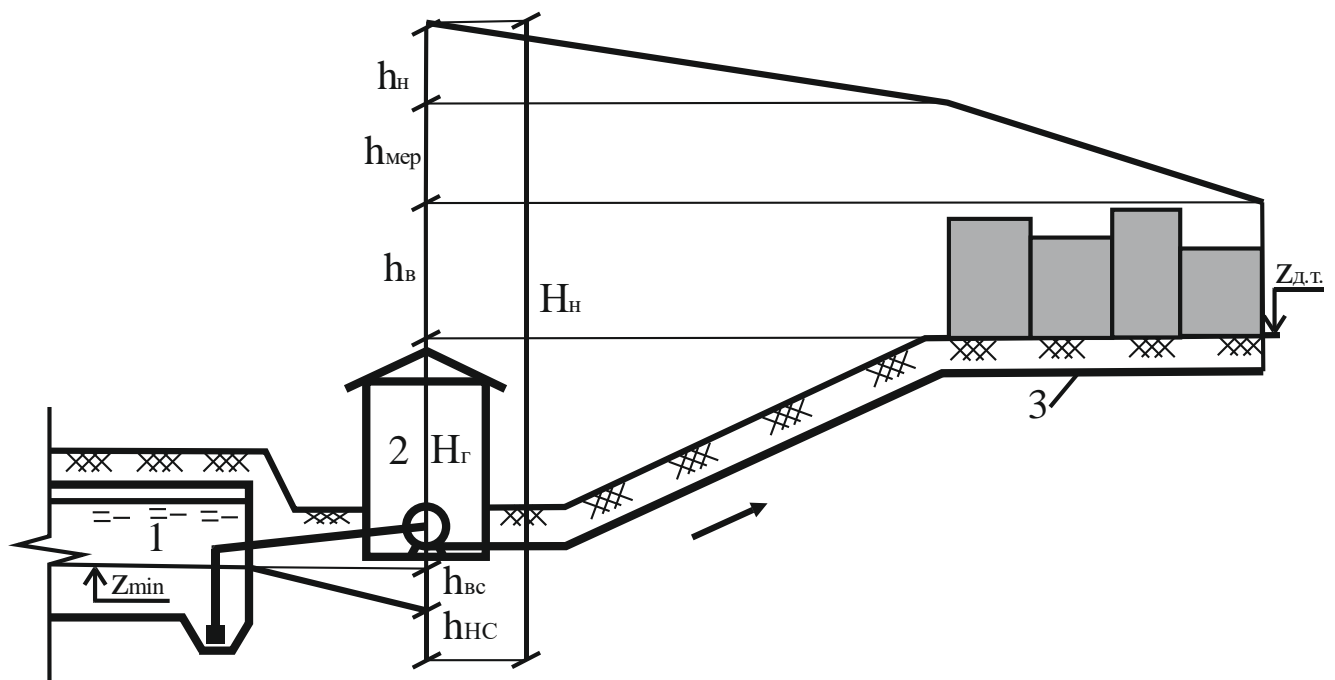
$$H_{\text{ст}} = H_{\Gamma} + h_{\text{вс}} + h_{\text{ст}} + h_{\text{н}} + h_{\text{мер}} + h_{\text{в}},$$

де H_{Γ} – напір, який дорівнює різниці відміток землі в диктуючій точці $z_{\text{д.т.}}$ та розрахункового рівня води в РЧВ z_{min} , м;

$h_{\text{мер}}$ – втрати напору у водопровідній мережі на ділянках від диктуючої точки до місця під'єднання водоводів до мережі, м;

$h_{\text{в}}$ – необхідний вільний напір в диктуючій точці, м;

$h_{\text{вс}}$, $h_{\text{ст}}$, $h_{\text{н}}$ – такі ж позначення, як в п. 2.3.1, значення $h_{\text{вс}}$, $h_{\text{ст}}$ приймаємо ті ж самі, як в п. 2.3.1.



1 – РЧВ; 2 – НС 2-го підйому; 3 – водопровідна мережа

Рисунок 2.4 – Схема подачі води з РЧВ в водопровідну мережу без регулюючої ємності

За аналогічним принципом розрахуємо втрати напору в напірних водоводах.

Влаштування водоводів від насосної станції 2-го підйому теж приймемо з поліетиленових труб. Кількість ліній – 2, довжина – 2,8 км (див. Завдання). Витрата кожної лінії – 50% від $Q_{НС2}$, тобто 349 л/с.

$$d = 630 \text{ мм}; \quad v = 1,45 \text{ м/с}; \quad 1000i = 2,71.$$

$$h_H = 1,1 \cdot 2,71 \cdot 2,8 = 8,35 \text{ м.}$$

Згідно (ГЧ, лист2) критичною точкою, тобто точкою водопровідної мережі з найменшим значенням вільного напору, є вузол 4 ($z_{д,г} = 85,00$ м).

$$z_{\min} = 90,00 \text{ м (див. Завдання).}$$

$$H_{г} = 85,00 - 90,00 = -5,00 \text{ м.}$$

$$\text{Згідно (ГЧ, лист2)} \quad h_{\text{мер}} = 16,44 \text{ м.}$$

Мінімальний вільний напір h_B приймається на перший поверх – 10 м, на наступні – 4 м [4, п.6.3.1]. Таким чином, для забудови з п'ятьма поверхами $h_B = 26,0$ м.

$$H_{ст} = -5,0 + 0,5 + 3,0 + 8,35 + 16,44 + 26,00 = 49,3 \text{ м}$$

Приймаємо два робочих і два резервних насоси марки Д 1250-63 з такими характеристиками [12]:

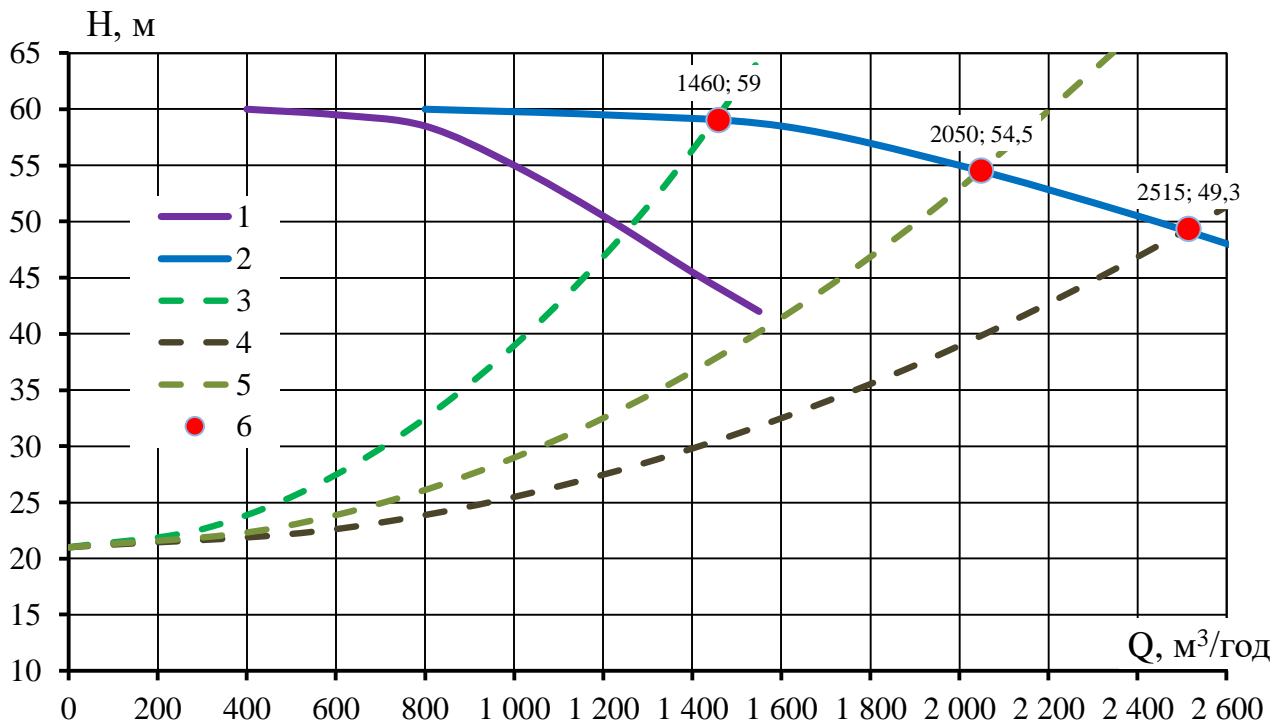
- частота обертання робочого колеса $n = 1450$ об/хв;
- діаметр робочого колеса насоса $D_{рк} = 418$ мм;
- робочий напір насоса $H = 49,5$ м;
- потужність на валу насоса $N = 205$ кВт;
- ККД насоса $\eta = 85$ %;
- кавітаційний запас $\Delta h_{\text{доп}} = 6,0$ м;
- діаметр всмоктувального патрубку $D_{вс.п} = 350$ мм;
- діаметр напірного патрубку $D_{нап.п} = 250$ мм.

Проаналізуємо сумісну роботу двох насосів та системи трубопроводів (рис. 2.5).

$$H_{ст} = H_{г} + h_B = -5,00 + 26,00 = 21,00 \text{ м.}$$

$$S_{пр} = \frac{h_{вс} + h_{ст} + h_H + h_{\text{мер}}}{(0,5 \cdot Q_{НС2})^2}.$$

$$S_{\text{пр}} = \frac{0,5 + 3,0 + 8,35 + 16,44}{(0,5 \cdot 2511)^2} = 1,795 \cdot 10^{-5} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{год})^2 .$$



1 – графік роботи одного насоса; 2 – графік роботи двох насосів; 3 – графік роботи одного водовода; 4 – графік роботи двох водоводів; 5 – графік аварійної роботи двох водоводів з перемичками; 6 – робочі точки системи

Рисунок 2.5 – Графіки сумісної роботи насосів з водоводами та водопровідною мережею

При аварії на водоводі при відсутності перемичок подача системи складає $1460 \text{ м}^3/\text{год}$, що менше допустимої $1758 \text{ м}^3/\text{год}$. При наявності двох перемичок між водоводами аварійна подача зростає до $2050 \text{ м}^3/\text{год}$.

Однак, слід відмітити, що вклад напірних водоводів в загальну суму втрат напору в системі є частковим, тому більш коректно буде оцінити наслідки виходу з ладу однієї з їх ліній, визначивши статичний напір $H_{\text{ст}}$, як різницю п'єзометричних відміток на початку водопровідної мережі

$$z_{\text{вм}} = z_{\text{д.т.}} + h_{\text{в}} + h_{\text{мер}} = 85,00 + 26,00 + 16,44 = 127,44 \text{ м.}$$

та на виході з насосної станції

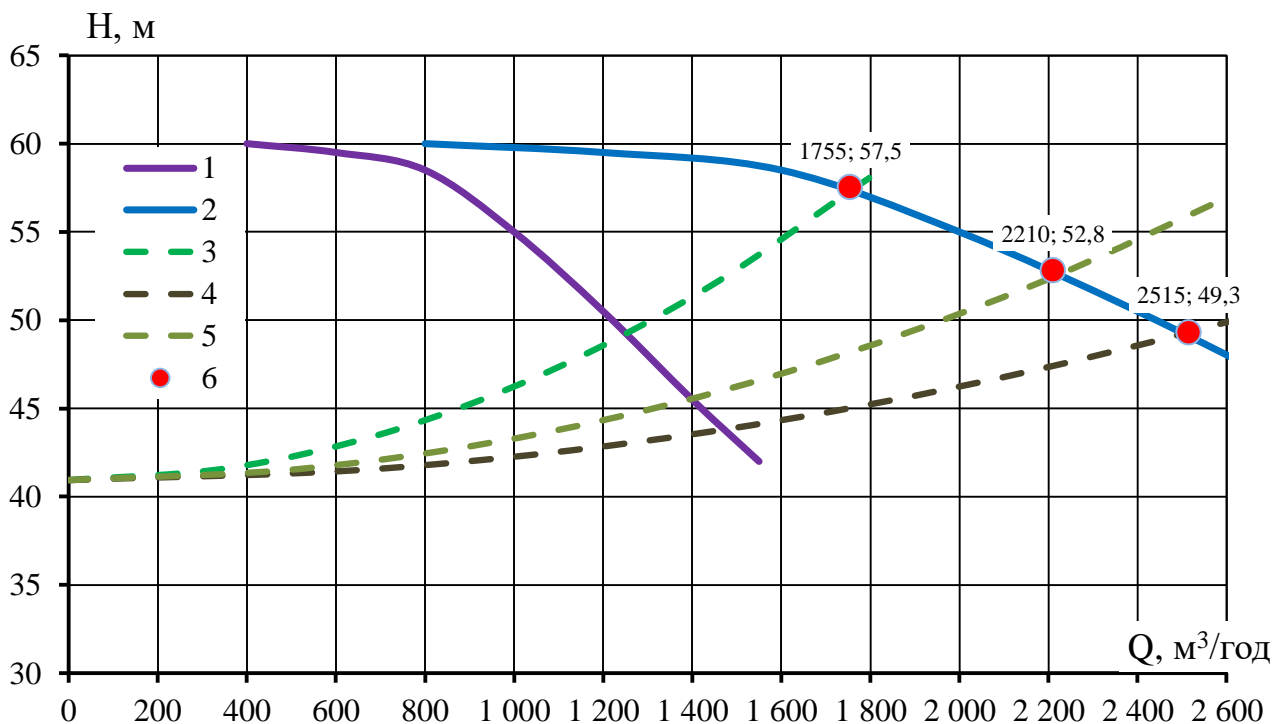
$$z_{\text{НС2}} = z_{\text{min}} - h_{\text{вс}} - h_{\text{ст}} = 90,00 - 0,5 - 3,00 = 86,5 \text{ м.}$$

$$H_{ст} = 127,44 - 86,5 = 40,94 \text{ м.}$$

Коефіцієнт опору безпосередньо водоводів буде дорівнювати

$$S_{пр} = \frac{h_n}{(0,5 \cdot Q_{НС1})^2} = \frac{8,35}{(0,5 \cdot 2511)^2} = 5,297 \cdot 10^{-6} \text{ м}/(\text{м}^3/\text{год})^2.$$

Результати розрахунків представлені на рис. 2.6.



1-6 – позначення такі ж, як на рис. 2.6

Рисунок 2.6 – Графіки сумісної роботи насосів та водоводів

Аналогічно попереднім висновкам, при аварії на водоводі при відсутності перемичок подача системи складає $1755 \text{ м}^3/\text{год}$, що теж менше допустимої $1758 \text{ м}^3/\text{год}$. При наявності двох перемичок між водоводами аварійна подача зростає до $2210 \text{ м}^3/\text{год}$. Тобто влаштування двох рівномірно розташованих перемичок між водоводами є обов'язковим.

Також перевіримо можливості даної системи подати додаткову витрату на пожежогасіння. Приймається, що відбувається одночасно три пожежі, необхідна витрат на гасіння кожної складає 40 л/с ($144 \text{ м}^3/\text{год}$). Таким чином, витрата по одному водоводу буде дорівнює $349 + 60 = 409 \text{ л/с}$, а подача насосної станції повинна збільшитися до $Q_{НС2} = 2511 + 3 \cdot 144 = 2943 \text{ м}^3/\text{год}$.

Відповідно збільшуються втрати напору в водоводах

$$d = 630 \text{ мм}; \quad v = 1,69 \text{ м/с}; \quad 1000i = 3,59.$$

$$h_n = 1,1 \cdot 3,59 \cdot 2,8 = 11,1 \text{ м},$$

а також в водопровідній мережі $h_{\text{мер}} = 36,1 \text{ м}$ (ГЧ, лист 2).

Тоді необхідний напір насосної станції при пожежі повинен дорівнювати

$$H_{\text{ст}} = -5,0 + 0,5 + 3,0 + 11,1 + 36,1 + 10,00 = 55,7 \text{ м}.$$

Робочий напір насосної станції 2-го підйому при подачі $2943 \text{ м}^3/\text{год}$ дорівнює 42 м .

$$42,0 \text{ м} < 55,7 \text{ м}.$$

Робимо висновок, що господарсько-питні насоси не спроможні забезпечити повну подачу у випадку пожежогасіння.

Частково компенсувати збільшення витрати та втрат напорів можна, скоротивши основну подачу на 30% за рахунок виключення на час гасіння пожежі задоволення непершочергових потреб (поливання, миття та ін.) [4, п. 6.2.14].
Оцінимо втрати напору в цьому випадку.

$$Q_{\text{НС2}} = 2511 \cdot 0,7 + 3 \cdot 144 = 2190 \text{ м}^3/\text{год}.$$

$$d = 630 \text{ мм}; \quad v = 1,26 \text{ м/с}; \quad 1000i = 2,12.$$

$$h_n = 1,1 \cdot 2,12 \cdot 2,8 = 6,53 \text{ м},$$

$$h_{\text{мер}} = 19,9 \text{ м}.$$

Необхідний напір насосної станції при пожежі в цьому випадку буде дорівнювати

$$H_{\text{ст}} = -5,0 + 0,5 + 3,0 + 6,53 + 19,9 + 10,00 = 34,9 \text{ м}.$$

Робочий напір насосної станції 2-го підйому при подачі $2190 \text{ м}^3/\text{год}$ дорівнює $50,5 \text{ м}$.

$$50,5 \text{ м} > 34,9 \text{ м}.$$

Таким чином, можемо зробити висновок, що скорочення витрати на господарсько-питні потреби за рахунок непершочергових потреб до значень неменших 70% від необхідної дає можливість забезпечити пропуск протипожежної витрати господарсько-питними насосами марки Д 1250-63 (діаметр робочого колеса – 418 мм, частота обертання 1450 об/хв).

Крім господарсько-питних насосів (вони ж протипожежні) на насосній станції 2-го підйому встановлюється група промивних насосів марки Д 2000-21 (один робочий та один резервний). Промивні насоси подають воду для регенерації зернистого завантаження фільтрувальних споруд.

3 ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ 2-ГО ПІДЙОМУ

Надійне й безперебійне водопостачання населених пунктів та промислових об'єктів належить до найважливіших складових інженерної інфраструктури, від якої безпосередньо залежать санітарно-епідемічне благополуччя населення, нормальна робота комунального господарства, промисловості та забезпечення протипожежної безпеки. Сучасна система господарсько-питного водопостачання являє собою складний технологічний комплекс, до якого входять джерело водопостачання, споруди для забору води, станція водопідготовки, резервуари чистої води, насосні станції першого та другого підйому, а також розгалужена мережа водопровідних труб і споруд на ній. Кожна ланка цього комплексу виконує власну функцію, проте лише узгоджена й технологічно грамотно організована робота всіх елементів дозволяє досягти головної мети – подачі споживачам води у потрібній кількості, під необхідним тиском і належної якості у будь-який момент часу.

Особливе місце в цій системі займає пара взаємопов'язаних споруд – резервуар чистої води (РЧВ) та насосна станція другого підйому (НС-2). Саме ці об'єкти забезпечують перехід від рівномірного, технологічно стабільного процесу очищення води до нерівномірного, мінливого протягом доби й сезону процесу її споживання. РЧВ виконує роль буфера, що накопичує очищену воду та компенсує різницю між постійною продуктивністю станції водопідготовки й змінною витратою води споживачами, а насосна станція другого підйому забирає воду з резервуара і подає її в розподільну мережу під тиском, достатнім для досягнення найвіддаленіших та найвищих точок системи.

Правильна організація експлуатації цих споруд є завданням не лише технічним, а й управлінським. Вона передбачає чітке розмежування обов'язків обслуговуючого персоналу, дотримання регламентів технічного обслуговування й ремонту обладнання, постійний контроль якості води, що зберігається в резервуарі, раціональне регулювання режимів роботи насосних агрегатів

відповідно до графіка водоспоживання, а також впровадження засобів автоматизації та диспетчеризації, що дозволяють підвищити надійність і знизити витрати ресурсів.

3.1 Місце насосної станції 2-го підйому в складі системі водопостачання

Витрата води споживачами протягом доби суттєво нерівномірна: у ранкові й вечірні години спостерігаються пікові навантаження, тоді як у нічний час водоспоживання різко знижується. Якби насосна станція другого підйому (НС2) працювала з постійною подачею, рівною середньодобовій витраті, у пікові години в мережі виникав би дефіцит тиску й води, а в нічні – надлишковий тиск, що призводить до підвищених витоків і аварій на трубопроводах. Тому НС2 повинна працювати в режимі, що відповідає графіку водоспоживання, періодично змінюючи кількість і потужність працюючих насосних агрегатів.

Саме завдяки наявності резервуара чистої води, розташованого перед насосною станцією другого підйому, можливо розділити в часі процес рівномірного очищення води та процес її нерівномірної подачі споживачам. Резервуар приймає воду зі станції водопідготовки безперервно, а насосна станція другого підйому забирає її з резервуара в обсягах, що змінюються відповідно до фактичної потреби мережі. Таким чином, НС2 та РЧВ становлять єдиний технологічний вузол, ефективність роботи якого визначає загальну надійність та економічність усієї системи водопостачання населеного пункту.

3.2 Призначення, конструкція та технологічна роль резервуара чистої води

Резервуар чистої води виконує одночасно кілька важливих функцій. По-перше, він є регулюючою ємністю, що компенсує нерівномірність між подачею води зі станції очищення та її забором насосною станцією другого підйому. По-друге, резервуар забезпечує необхідний контактний час для дії знезаражуючого реагенту (найчастіше хлору чи його похідних), завдяки чому до моменту подачі в

мережу вода набуває гарантованої бактеріологічної безпеки. По-третє, в обсязі резервуара зберігається протипожежний запас води, який використовується винятково для гасіння пожеж і не витрачається при нормальній експлуатації. По-четверте, резервуар містить технологічний запас, необхідний для власних потреб станції водопідготовки, зокрема для промивання фільтрів. Нарешті, наявність аварійного запасу води дозволяє продовжувати водопостачання споживачів протягом певного часу навіть у разі тимчасової зупинки станції очищення або насосної станції першого підйому через аварію чи проведення ремонтних робіт.

Конструктивно резервуари чистої води найчастіше виконуються із залізобетону, прямокутної або круглої форми в плані, у вигляді підземних або напівпідземних споруд, засипаних шаром ґрунту для теплоізоляції та захисту від зовнішніх впливів. Заглиблене розташування резервуара дозволяє підтримувати стабільну температуру води протягом року й зменшує ризик випадкового забруднення. Для забезпечення можливості проведення планового огляду, очищення та ремонту без повного припинення подачі води резервуар, як правило, поділяється на дві або більше секцій, кожна з яких має самостійні трубопроводи підведення та відведення води, а також засувки, що дозволяють вимикати окрему секцію з роботи, залишаючи інші в експлуатації.

Кожна секція резервуара обладнується трубопроводом підведення очищеної води, всмоктувальним трубопроводом до насосної станції, переливною трубою для відведення надлишку води у разі переповнення, спускною трубою для повного опорожнення секції під час ремонту чи очищення, а також системою вентиляції, що запобігає утворенню конденсату та забезпечує обмін повітря без проникнення забруднень. Обов'язковим є встановлення приладів контролю рівня води – поплавкових або ультразвукових датчиків, показання яких передаються на щит управління насосної станції та диспетчерський пункт. Доступ всередину резервуара здійснюється через люки-лази з щільними кришками, а внутрішні поверхні стін і днища повинні мати надійну гідроізоляцію, що оберігає як від витоку чистої води, так і від проникнення ґрунтових вод і забруднень ззовні.

Особливу увагу при проектуванні та подальшій експлуатації приділяють організації потоків води всередині резервуара, аби уникнути утворення застійних зон, де вода тривалий час не оновлюється. Застійні зони сприяють зниженню залишкового вмісту дезінфектанту, розвитку мікробіологічних процесів і вторинному забрудненню води, тому труби підведення й відведення розташовують так, щоб забезпечити рівномірний рух води по всьому об'єму секції.

3.3 Технологічна схема основного обладнання та режим експлуатації насосної станції другого підйому

Будівля насосної станції другого підйому, як правило, складається з машинного залу, де розміщені насосні агрегати та технологічні трубопроводи, приміщення електрощитової з комутаційною та захисною апаратурою, а також операторської (диспетчерської) кімнати, звідки здійснюється спостереження за роботою станції. У машинному залі насосні агрегати встановлюються групами, всмоктувальні лінії яких підключені до резервуара чистої води, а напірні – об'єднані загальним напірним колектором, що з'єднує станцію з магістральною мережею.

Основним обладнанням станції є відцентрові насоси, продуктивність яких підбирається так, щоб різні комбінації одночасно працюючих агрегатів дозволяли максимально точно відтворювати ступінчастий графік водоспоживання.

На всмоктувальних і напірних трубопроводах кожного насосного агрегату встановлюються запірні арматура (засувки), зворотні клапани, що запобігають зворотному руху води при зупинці насоса, манометри для контролю тиску до й після насоса, а також прилади обліку витрати води. На загальному напірному колекторі станції встановлюються головні засувки, регулюючі клапани та витратоміри, що фіксують сумарну подачу станції в мережу.

Електротехнічна частина станції включає електродвигуни насосних агрегатів, силові трансформатори, розподільні щити, апаратуру автоматичного керування й захисту, а також, у багатьох випадках, резервне джерело

електропостачання – дизель-генераторну установку, що автоматично вмикається при зникненні основного напруги, забезпечуючи безперебійну роботу станції навіть у разі аварії на лінії електропередачі. До складу допоміжного обладнання входять дренажні насоси для відкачування випадкових витоків з машинного залу, система вентиляції та опалення приміщень, а в окремих випадках – пожежні насоси, що використовують протипожежний запас води з резервуара для подачі його у внутрішню чи зовнішню протипожежну мережу.

Графік добового водоспоживання має характерну форму з двома піками – зранку, коли населення готується до робочого дня, та ввечері, коли люди повертаються додому, – і відносним спадом у нічні години. Завданням оперативного персоналу насосної станції другого підйому є якнайточніше узгодження фактичної подачі насосів із цим графіком, аби забезпечити в мережі стабільний вільний напір, достатній для нормальної роботи водорозбірних приладів і протипожежних систем, не допускаючи водночас надмірного підвищення тиску, яке прискорює зношення трубопроводів та збільшує витoki.

Найпоширенішим способом регулювання є ступінчасте включення та вимкнення насосних агрегатів відповідно до заздалегідь розробленого графіка роботи станції, складеного на основі статистики водоспоживання за попередні періоди з урахуванням сезонних коливань. У години максимального навантаження в роботу вводяться додаткові насоси, тоді як у період мінімального споживання залишається працювати менша кількість насосів. Такий підхід, хоча й відносно простий в реалізації, не завжди забезпечує плавне регулювання, оскільки кожне включення чи вимкнення насоса супроводжується стрибком тиску в мережі.

Більш досконалим рішенням є застосування частотно-регульованих приводів електродвигунів насосних агрегатів, які дозволяють плавно змінювати частоту обертання робочого колеса, а відповідно – і подачу насоса, підлаштовуючи її під поточну потребу мережі без різких перепадів тиску. Використання частотного регулювання замість традиційного дроселювання

засувками також дає суттєву економію електроенергії, оскільки споживана потужність насоса змінюється пропорційно кубу частоти обертання [14].

Важливу роль у регулюванні відіграє і сам резервуар чистої води: коливання рівня води в ньому слугують індикатором балансу між надходженням з очисних споруд та відбором насосною станцією, а сигнали датчиків рівня використовуються для автоматичного коригування режиму роботи насосів першого підйому чи станції водопідготовки..

Окрім добової нерівномірності, персонал станції повинен враховувати і сезонні зміни водоспоживання, пов'язані, зокрема, з поливом територій у літній період, що вимагає коригування режимних графіків роботи насосів протягом року, а також враховувати особливі режими в період проведення масових заходів, аварійних ситуацій на мережі чи планових відключень окремих ділянок водопроводу.

3.4 Організація експлуатаційної служби та обов'язки персоналу

Безперебійна робота насосної станції другого підйому забезпечується чітко організованою службою експлуатації, яка функціонує в режимі цілодобового, безперервного нагляду за обладнанням. Персонал станції працює позмінно, що дозволяє підтримувати постійний контроль за параметрами роботи насосів, тиском у мережі та рівнем води в резервуарі незалежно від часу доби. На початку кожної зміни черговий оператор (машиніст насосних установок) приймає станцію від попередньої зміни, перевіряючи показання приборів, стан обладнання та записи в оперативному журналі, після чого розписується про прийняття зміни й несе відповідальність за подальшу роботу станції.

Протягом зміни оператор веде безперервне спостереження за показаннями манометрів, амперметрів, витратомірів та рівнемірів, виконує обходи машинного залу з оглядом працюючого обладнання на предмет сторонніх шумів, вібрації, нагрівання підшипників, витоків через сальникові з'єднання, фіксує всі параметри в оперативному журналі через встановлені проміжки часу. У разі виявлення

відхилень від нормальних показників оператор зобов'язаний негайно повідомити про це диспетчерську службу та вжити заходів відповідно до інструкції з експлуатації, аж до зупинки несправного агрегату та введення в роботу резервного насоса.

До обов'язків персоналу належить також виконання операцій з включення та вимкнення насосних агрегатів згідно з режимним графіком, контроль за станом запірної арматури, проведення нескладних регламентних робіт – змащування вузлів тертя, підтягування сальникових набивок, очищення фільтрів-сіток на всмоктувальних лініях, а також підготовка обладнання до планового технічного обслуговування й участь у проведенні ремонтних робіт.

Для забезпечення належної кваліфікації персонал станції проходить періодичне навчання й перевірку знань правил технічної експлуатації систем водопостачання, інструкцій з охорони праці, а також правил роботи з електроустановками, оскільки експлуатація насосних агрегатів пов'язана з обслуговуванням потужного електрообладнання. Адміністрація підприємства водопровідно-каналізаційного господарства організовує систематичне інструктування персоналу, проведення протиаварійних та протипожежних тренувань, а також контролює дотримання виробничої дисципліни, що в сукупності формує надійну й кваліфіковану експлуатаційну службу.

3.5 Контроль якості води у резервуарі чистої води

Резервуар чистої води, незважаючи на те що приймає вже повністю підготовлену й знезаражену воду, залишається об'єктом підвищеної уваги з точки зору санітарного контролю, оскільки тривале зберігання великих об'ємів води створює потенційні ризики вторинного забруднення та погіршення якісних показників. Основним контрольованим параметром є залишкова концентрація дезінфектанту, яка повинна підтримуватися на рівні, достатньому для пригнічення можливого мікробного забруднення протягом усього часу перебування води в

резервуарі та подальшого транспортування по мережі, але не перевищувати нормативних значень, що впливають на органолептичні властивості води [15].

Персонал станції разом із представниками лабораторної служби здійснює регулярний відбір проб води з резервуара для визначення мікробіологічних та фізико-хімічних показників, звертаючи особливу увагу на можливе погіршення якості після проведення ремонтних робіт, тривалого простою секції чи виявлення порушень герметичності конструкцій. Для запобігання потраплянню забруднень усередину резервуара кришки люків та вентиляційні отвори обладнують сітками і щільними затворами, що перешкоджають проникненню комах, гризунів, пилу та атмосферних осадків, а територію навколо резервуара утримують в чистоті, виключаючи можливість стікання поверхневих вод чи розташування джерел забруднення в межах санітарно-захисної зони.

Періодично, за графіком, кожна секція резервуара виводиться з роботи для повного опорожнення, механічного очищення стін і днища від накопичених відкладень та подальшої дезінфекції внутрішніх поверхонь з наступним промиванням і лабораторним підтвердженням придатності води для подальшого використання перед поверненням секції в експлуатацію. Така планова робота можлива лише за умови наявності в резервуарі не менше двох секцій, що дозволяє виконувати очищення однієї з них без переривання водопостачання за рахунок продовження роботи іншої.

3.6 Технічне обслуговування та планово-запобіжні ремонти обладнання

Надійність роботи насосної станції другого підйому значною мірою визначається якістю організації технічного обслуговування обладнання, що здійснюється відповідно до системи планово-запобіжних ремонтів. Ця система передбачає чітку періодичність проведення оглядів, поточних і капітальних ремонтів, що дозволяє виявляти й усувати дефекти на ранній стадії, не допускаючи розвитку аварійних ситуацій [16].

Щоденне обслуговування включає зовнішній огляд працюючих насосних агрегатів, перевірку температури підшипникових вузлів, рівня вібрації, герметичності з'єднань трубопроводів та сальникових камер, а також контроль показань вимірювальних приборів. Періодичне обслуговування, що проводиться у встановлені проміжки часу, охоплює змащування підшипників, перевірку та підтягування кріплень, заміну зношених сальникових набивок чи механічних торцевих ущільнень, контроль стану електричної ізоляції двигунів, а також перевірку справності резервного обладнання – генераторної установки, резервних насосів, автоматики аварійного перемикачів, – яке повинно перебувати в постійній готовності до негайного введення в роботу.

Поточний ремонт передбачає усунення виявлених під час оглядів дефектів без повного розбирання агрегату, тоді як капітальний ремонт виконується із повним розбиранням насоса, заміною зношених деталей робочого колеса, валу, підшипників, відновленням балансування ротора та проведенням контрольних випробувань після збирання. Періодичність капітальних ремонтів встановлюється відповідно до напрацювання обладнання та рекомендацій виробника, з урахуванням фактичного стану насосів, виявленого під час планових оглядів.

Окрему увагу приділяють технічному стану резервуара чистої води: періодично проводять обстеження гідроізоляції стін і днища, перевіряють герметичність трубопроводної арматури, стан вентиляційних коробів і люків, а в разі виявлення тріщин, протікань чи інших дефектів конструкцій організовують ремонтні роботи із обов'язковим виведенням пошкодженої секції з експлуатації на час їх проведення.

3.7 Автоматизація, диспетчеризація та засоби контролю

Сучасна організація експлуатації насосної станції другого підйому неможлива без широкого застосування засобів автоматизації та диспетчерського контролю. Датчики рівня води в резервуарі чистої води, датчики тиску на напірному колекторі станції та в контрольних точках мережі, прилади обліку

витрати води передають інформацію в реальному часі на щит управління станції, а за наявності системи диспетчеризації – і на центральний диспетчерський пункт підприємства водопровідно-каналізаційного господарства.

Автоматична система керування здатна самостійно вмикати та вимикати насосні агрегати залежно від заданих значень рівня води в резервуарі чи тиску в мережі, без необхідності постійної ручної участі оператора, що суттєво підвищує точність регулювання та зменшує ризик помилок, пов'язаних із людським фактором. У разі виходу контрольованих параметрів за межі допустимих значень – критичного зниження рівня в резервуарі, аварійного падіння тиску в мережі, перевантаження чи аварійної зупинки насосного агрегату, зникнення напруги в електромережі – система формує звукову й світлову сигналізацію та передає аварійне повідомлення на диспетчерський пункт, що дозволяє персоналу швидко вжити необхідних заходів.

Застосування систем диспетчерського контролю й управління дозволяє не лише оперативно реагувати на відхилення в роботі станції, а й накопичувати статистичні дані про режими роботи обладнання, що в подальшому використовуються для аналізу ефективності експлуатації, планування ремонтів та оптимізації режимних графіків. У перспективі розвиток таких систем рухається в напрямку впровадження елементів передбачувального обслуговування, коли аналіз показників вібрації, температури та споживаної потужності дозволяє прогнозувати наближення несправності обладнання ще до її фактичного виникнення [17].

3.8 Енергозбереження під час експлуатації насосної станції

Витрати на електричну енергію становлять одну з найбільших статей експлуатаційних витрат водопровідного господарства, тому раціональне використання енергії є одним із пріоритетних завдань організації роботи насосної станції другого підйому. Першочерговою умовою енергоефективної роботи є правильний підбір насосних агрегатів, що повинні працювати в зоні

максимального коефіцієнта корисної дії, відповідній фактичним умовам подачі та напору, оскільки тривала робота насоса в режимі, далекому від розрахункової точки, призводить до невиправданих втрат енергії.

Заміна традиційного способу регулювання подачі шляхом дроселювання засувкою на частотне регулювання електропривода дозволяє суттєво знизити споживання електроенергії, оскільки в такому випадку насос не створює зайвого напору, який потім марно гаситься на засувці, а одразу працює з параметрами, що відповідають фактичній потребі мережі. Економічний ефект досягається й завдяки раціональному підбору комбінації одночасно працюючих насосів: оператор або автоматична система повинні вибирати таке поєднання агрегатів, яке забезпечує необхідну подачу при мінімальних сумарних витратах енергії, уникаючи паралельної роботи насосів з істотно різними напірними характеристиками.

Зниженню питомих витрат електроенергії сприяє і підтримання трубопроводної системи в належному технічному стані: своєчасне очищення внутрішніх поверхонь трубопроводів від відкладень, усунення витоків, заміна зношеної запірної арматури зменшують гідравлічні втрати й, відповідно, необхідний напір насосів. Окремим напрямком енергозбереження є використання резервуара чистої води як буфера, що дозволяє частково перенести роботу найпотужніших насосних агрегатів на нічні години з пільговим тарифом на електроенергію, накопичуючи додатковий об'єм води в резервуарі для подальшого використання в денний пік без збільшення встановленої потужності насосної станції.

3.9 Екологічні аспекти експлуатації

Експлуатація насосної станції другого підйому та резервуара чистої води, попри відносно невеликий безпосередній вплив на навколишнє середовище порівняно з іншими промисловими об'єктами, все ж потребує дотримання певних екологічних вимог. Одним із важливих напрямків є мінімізація втрат води внаслідок витоків через нещільності арматури, тріщини в трубопроводах чи

переливи через переповнення резервуара, оскільки нераціональні втрати очищеної питної води не лише призводять до економічних втрат, а й суперечать принципам раціонального використання водних ресурсів.

Під час періодичного очищення секцій резервуара утворюються промивні води, що можуть містити залишки дезінфікуючих реагентів та накопичені відкладення, тому їх відведення повинно здійснюватися з урахуванням вимог до якості стічних вод, що скидаються у відповідні приймачі, з можливим попереднім відстоюванням чи нейтралізацією за потреби. Робота насосних агрегатів супроводжується певним рівнем шуму та вібрації, тому при розташуванні станції в межах житлової зони передбачаються заходи зі звукоізоляції приміщень та вібродемпфування фундаментів обладнання, що дозволяє дотримуватися санітарних норм щодо рівня шуму на прилеглий території.

Територія, на якій розташовані резервуар чистої води та насосна станція, входить до меж санітарно-захисної зони джерела водопостачання, у зв'язку з чим на ній встановлюється особливий режим утримання, що виключає розміщення будь-яких об'єктів і видів діяльності, здатних спричинити забруднення ґрунту чи підземних вод і, відповідно, створити загрозу якості води, що зберігається в резервуарі.

3.10 Шляхи підвищення надійності та модернізації споруд

Розвиток технологій водопостачання та накопичений досвід експлуатації дозволяють визначити кілька перспективних напрямків модернізації насосних станцій другого підйому та резервуарів чистої води з метою підвищення надійності їхньої роботи та зниження експлуатаційних витрат. Одним із основних напрямків є заміна застарілих насосних агрегатів на сучасні моделі з вищим коефіцієнтом корисної дії та можливістю плавного регулювання частоти обертання, що дозволяє точніше відповідати фактичному графіку водоспоживання та суттєво знизити споживання електроенергії.

Подальший розвиток засобів автоматизації та диспетчеризації, включно з впровадженням сучасних систем збору й аналізу даних, дозволяє переходити від реагування на вже виниклі несправності до завчасного прогнозування технічного стану обладнання на основі аналізу параметрів вібрації, температури, споживаного струму та інших показників, що в перспективі дає змогу планувати ремонтні роботи саме тоді, коли це найбільш доцільно, не допускаючи як передчасної заміни справних деталей, так і аварійного виходу з ладу обладнання, що ще не пройшло технічного обслуговування.

Щодо резервуарів чистої води, модернізація переважно стосується відновлення гідроізоляційного покриття внутрішніх поверхонь, заміни застарілих люків, вентиляційних коробів та запірної арматури на сучасні, більш герметичні аналоги, а також впровадження сучасних безконтактних рівнемірів і систем дистанційного контролю якості води, що дозволяють оперативніше виявляти можливі порушення. У ряді випадків доцільним є проведення гідравлічного моделювання роботи системи водопостачання в цілому, що дозволяє науково обґрунтовано визначити оптимальний об'єм резервуара та режими роботи насосної станції з урахуванням перспективного розвитку населеного пункту й прогнозованої зміни водоспоживання.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Основні заходи та засоби санітарно-гігієнічного обслуговування робітників

Санітарно-гігієнічне обслуговування робітників насосної станції другого підйому здійснюється відповідно до вимог чинного законодавства України про охорону праці, зокрема Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю, а також низки галузевих нормативних документів і державних санітарних норм і правил. Роботодавець зобов'язаний створювати умови праці, що відповідають нормативно-правовим актам і не становлять загрози для здоров'я й життя працівників.

Одним із фундаментальних напрямів санітарно-гігієнічного обслуговування є забезпечення робітників санітарно-побутовими приміщеннями належної якості. У будівлі насосної станції або в окремо розташованому санітарно-побутовому корпусі повинні бути передбачені гардеробні з індивідуальними шафами для зберігання домашнього і робочого одягу, душові кімнати, умивальники та туалетні приміщення. Душові обладнуються з розрахунку на кількість робітників, що одночасно закінчують зміну, при цьому на одну душову сітку передбачається не більше п'ятнадцяти осіб. Умивальники встановлюються з розрахунку один кран на сім осіб.

Важливим елементом санітарно-гігієнічного забезпечення є організація повноцінного харчування і відпочинку персоналу. На насосній станції другого підйому обладнується кімната для відпочинку та приймання їжі, оснащена необхідними меблями, холодильником для зберігання харчових продуктів, мікрохвильовою піччю або плитою. Персонал, що несе цілодобове чергування, повинен мати можливість повноцінно харчуватися впродовж зміни. Якщо на об'єкті відсутній пункт харчування, роботодавець зобов'язаний забезпечити доставку їжі або виплату грошової компенсації.

Питне водопостачання персоналу організується з обов'язковим дотриманням санітарних норм. Попри те, що насосна станція другого підйому перекачує питну воду, для забезпечення персоналу питтям використовуються спеціально призначені джерела – кулери або централізована система подачі питної води, що відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [18]. Норма споживання питної води в умовах виробничої діяльності становить не менше 1,5–2 літри на людину за зміну, а при підвищеній температурі навколишнього середовища ця норма збільшується.

Медичне обслуговування персоналу насосної станції передбачає проведення попереднього медичного огляду при прийнятті на роботу та періодичних медичних оглядів у процесі трудової діяльності. Працівники, які обслуговують насосне обладнання, підлягають обов'язковим медичним оглядам не рідше одного разу на рік. На станції або в безпосередній близькості від неї повинна бути аптечка першої медичної допомоги з відповідним набором медикаментів і перев'язувальних матеріалів. Персонал зобов'язаний пройти навчання з надання першої медичної допомоги.

Забезпечення засобами індивідуального захисту є невід'ємною частиною санітарно-гігієнічного обслуговування. Робітники насосної станції другого підйому забезпечуються спецодягом, спецвзуттям і захисними пристосуваннями відповідно до типових галузевих норм. До стандартного комплекту відносяться: комбінезон або костюм з бавовняної тканини, гумові чоботи або черевики зі сталевим підноском, захисна каска, шумозахисні навушники або беруші при роботі в машинних залах, захисні окуляри, гумові рукавиці для роботи з електроустановками. Видача засобів індивідуального захисту фіксується в особових картках і здійснюється безкоштовно.

Прання, хімічне чищення та ремонт спецодягу здійснюються за рахунок роботодавця. Забруднений спецодяг забороняється зберігати разом із домашнім одягом, тому гардеробні обладнуються секційними шафами з відокремленими відсіками для різних видів одягу. Мийні засоби і засоби для догляду за шкірою рук видаються персоналу у встановлених нормах кількостях.

Освітлення робочих місць є важливим гігієнічним параметром, що безпосередньо впливає на безпеку та продуктивність праці. У машинному залі насосної станції передбачається загальне рівномірне освітлення рівня не менше 200 лк, а на щитах управління та контрольно-вимірювальних приладах — 300 лк відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [19] забезпечує не менше 10% від нормованого рівня робочого освітлення і вмикається автоматично при зникненні живлення основного освітлення.

У машинних залах насосних станцій встановлюються системи вентиляції та кондиціонування, що забезпечують нормований повітрообмін і підтримання температури в допустимих межах. У теплий період року температура повітря не повинна перевищувати 28°C при допустимих значеннях і 25°C при оптимальних. У холодний період року температура підтримується в діапазоні $17\text{--}23^{\circ}\text{C}$ для робіт середньої важкості, що характерні для обслуговуючого персоналу насосних станцій.

4.2 Вплив виробничих шкідливостей на здоров'я робітників

Умови праці на насосній станції другого підйому характеризуються наявністю низки специфічних виробничих шкідливостей, що при тривалому впливі можуть призводити до розвитку професійних захворювань, погіршення самопочуття та зниження працездатності персоналу. Основними шкідливими виробничими чинниками є шум і вібрація від насосно-силового обладнання, несприятливий мікроклімат, недостатнє освітлення, електромагнітні поля, а також хімічні речовини, що застосовуються для знезараження та хімічної обробки води.

Виробничий шум є одним із найбільш поширених і небезпечних чинників на насосних станціях. Насосні агрегати, електродвигуни, трансформатори, вентиляційне обладнання та трубопровідна арматура генерують широкосмуговий шум інтенсивністю 85–105 дБА в машинному залі, що значно перевищує допустимий рівень у 80 дБА. Тривала дія виробничого шуму підвищеної інтенсивності призводить до розвитку професійної туговухості – нейросенсорної

приглухуватості, яка є незворотним патологічним станом. Механізм ушкоджувальної дії шуму полягає в деструкції волоскових клітин спірального органу внутрішнього вуха внаслідок механічного перевантаження та судинних порушень. Крім аудіологічних ефектів, шум спричиняє підвищення артеріального тиску, зміну частоти серцевих скорочень, розлади нейроендокринної регуляції, порушення сну та психоемоційні розлади.

Виробнича вібрація, що передається від фундаментів насосних агрегатів на підлогу і від трубопроводів та арматури на руки оператора при обслуговуванні обладнання, є не менш серйозним чинником ризику. Загальна технологічна вібрація, що діє на тіло людини через опорні поверхні, при тривалому впливі призводить до вібраційної хвороби – системного ураження опорно-рухового апарату, периферійної нервової та судинної систем. Клінічно хвороба проявляється болями в кінцівках і попереку, парестезіями, розладами периферійного кровообігу, трофічними змінами. Локальна вібрація від ручного інструменту та вентилів при обслуговуванні трубопровідних систем здатна спричинити ангіоспастичний синдром з характерним побілінням пальців при охолодженні.

Несприятливий мікроклімат у машинних залах насосних станцій формується внаслідок теплового випромінювання від електродвигунів і насосів та конденсації вологи на трубопроводах холодної води. Підвищена вологість повітря у поєднанні з температурними коливаннями сприяє розвитку захворювань верхніх дихальних шляхів, бронхітів і пневмоній. Надлишкове теплове навантаження, навпаки, збільшує ризик теплового удару, порушень водно-сольового балансу та серцево-судинних ускладнень. При підвищеній температурі знижується концентрація уваги і швидкість реакції, що підвищує імовірність допущення помилок при управлінні обладнанням.

Хімічні шкідливості на насосній станції другого підйому обумовлені застосуванням реагентів для знезараження та хімічного очищення води. Хлор і хлорвмісні сполуки, що традиційно застосовуються для знезараження питної води, у разі аварійного витоку здатні утворювати небезпечні концентрації у

повітрі. Хлор є подразником слизових оболонок дихальних шляхів і очей; при концентраціях вище гранично допустимих можливий розвиток токсичного набряку легень. Навіть при систематичному впливі концентрацій, що перевищують ГДК (1 мг/м^3), розвиваються хронічні захворювання органів дихання та порушення функції печінки. Персонал хлораторних установок підлягає особливому медичному нагляду з обов'язковим щорічним дослідженням функції зовнішнього дихання.

Психофізіологічні шкідливості є специфічною групою факторів ризику для оперативного персоналу насосних станцій. Монотонна, нервово-напружена робота в режимі цілодобового чергування, необхідність постійного контролю параметрів роботи обладнання і реагування на аварійні сигнали призводять до розвитку хронічного стресу, порушень сну, синдрому хронічної втоми та психоемоційних розладів. Нічні зміни порушують циркадні ритми та підвищують ризик серцево-судинних захворювань. У поєднанні з іншими виробничими шкідливостями психофізіологічне перевантаження здатне суттєво погіршити стан здоров'я персоналу впродовж відносно короткого терміну трудової діяльності.

4.3 Розрахунок допустимого часу перебування в зоні шуму

Рівень звукового тиску в машинному залі насосної станції другого підйому визначається за результатами інструментальних вимірювань або розрахункових методів. Нормований еквівалентний рівень звуку для постійних робочих місць операторів насосних станцій становить 80 дБА.

Якщо фактичний рівень шуму на робочому місці перевищує нормований, необхідно розрахувати допустимий час перебування працівника в зоні підвищеного шуму. Для цього використовується формула:

$$T = T_0 \cdot 2^{-\frac{L-L_0}{3}},$$

де T_0 – нормований час перебування, $T_0 = 8$ год;

L — фактичний рівень звуку, дБА;

L_0 – нормований рівень звуку, $L_0 = 80$ дБА.

Припустимо, що в машинному залі насосної станції другого підйому вимірювання показали фактичний рівень шуму $L = 95$ дБА. Тоді допустимий час перебування становить:

$$T = 8 \cdot 2^{\frac{95-80}{3}} = 0,25 \text{ год} = 15 \text{ хвилин.}$$

Отже, при рівні шуму 95 дБА без засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) органів слуху допустимий час перебування у зоні шуму складає лише 15 хвилин за зміну. Якщо тривалість перебування в зоні шуму більша, необхідно застосовувати ЗІЗ або впроваджувати технічні заходи зниження шуму.

При застосуванні протишумових навушників з ефективністю $SNR = 28$ дБ фактичний рівень звуку знижується до $L' = 95 - 28 = 67$ дБА, що нижче нормованого значення 80 дБА. У такому разі час перебування в зоні шуму зі ЗІЗ необмежений.

4.4 Основні причини травматизму

Виробничий травматизм на насосних станціях другого підйому зумовлений сукупністю технічних, організаційних і людських чинників. Аналіз статистики нещасних випадків в організаціях водопровідно-каналізаційного господарства свідчить про те, що близько 60% усіх травм пов'язані з організаційними причинами, тобто з порушеннями вимог безпеки праці та недостатньою підготовкою персоналу, тоді як технічні причини становлять близько 30%, а особистісні чинники – 10%.

Ураження електричним струмом є однією з найнебезпечніших причин нещасних випадків на насосних станціях, де використовується електрообладнання напругою 0,4 кВ і 6–10 кВ. Основними обставинами, що призводять до електротравм, є виконання робіт на електроустановках без попереднього зняття напруги та без відповідного допуску, доторкання до неізольованих струмопровідних частин, робота несправним електроінструментом, пошкодження ізоляції кабелів внаслідок механічного впливу або зносу, порушення схем захисного заземлення. Слід зазначити, що в умовах насосної станції підвищена

вологість і наявність металевих конструкцій суттєво підвищують ступінь ураження електричним струмом навіть при відносно невисоких напругах.

Падіння на слизькій або захаращеній підлозі є частою причиною травматизму в машинних залах насосних станцій. Протікання сальників насосів, конденсат вологи на трубопроводах, розлиті мастильні матеріали та охолоджувальні рідини утворюють слизькі ділянки підлоги. Падіння з висоти при роботі на обслуговуючих майданчиках, сходах і галереях, а також при монтажі та демонтажі великогабаритного обладнання за допомогою кранового обладнання — іще одна небезпечна ситуація. Основними профілактичними заходами є своєчасне усунення витоків, застосування протиковзних покриттів, підтримання порядку на робочих місцях і наявність справних огорожень та поручнів.

Травми від рухомих частин механізмів є специфічним видом виробничого травматизму для насосних станцій. Відкриті обертові муфти з'єднання насосів з електродвигунами, незахищені крильчатки вентиляторів охолодження та інше обертове обладнання становлять підвищену небезпеку при відсутності або несправності захисних кожухів і огорожень. Технічне обслуговування (змащування підшипників, перевірка ущільнень) нерідко проводиться без повної зупинки обладнання, що різко підвищує ризик травмування. Для профілактики необхідно суворо дотримуватись вимог нарядної системи допуску до робіт і не проводити жодних регламентних робіт на обладнанні, що не виведено з роботи і не заблоковано відповідно до процедури.

Отруєння хімічними речовинами може статися при аварійному витoku реагентів для знезараження води – хлору, гіпохлориту натрію або аміаку, що застосовуються у різних технологіях водопідготовки. Відсутність або несправність засобів автоматичного газового контролю, несвоєчасне проведення технічного огляду ємностей і трубопроводів реагентного господарства, порушення правил зберігання і транспортування хімічних речовин значно підвищують ризик аварійних ситуацій. Профілактика включає встановлення стаціонарних газоаналізаторів з автоматичним оповіщенням, регулярне навчання

персоналу діям в аварійних ситуаціях і наявність ізолюючих протигазів у місцях постійного зберігання в приміщеннях реагентного господарства.

Термічні опіки можуть виникати при контакті з нагрітим обладнанням, трубами або парою в зонах теплопостачання. Опіки хімічними речовинами можливі при роботі з концентрованими розчинами реагентів без відповідних засобів захисту шкіри та очей. Для профілактики необхідно забезпечити теплоізоляцію гарячих поверхонь, встановити попереджувальні знаки та забезпечити персонал захисними окулярами, рукавицями і фартухами при роботі з хімічними реагентами.

Психологічний чинник відіграє суттєву роль у виникненні нещасних випадків. Перевтома персоналу в нічних змінах, монотонність роботи, що знижує концентрацію уваги, та хронічний стрес при виникненні аварійних ситуацій підвищують імовірність помилкових дій. Систематичне порушення трудової дисципліни – одна з найпоширеніших особистісних причин травматизму. Для формування культури безпеки необхідно регулярно проводити навчання і перевірку знань з охорони праці, практичні тренування дій в аварійних ситуаціях та цілеспрямовану роботу з підвищення мотивації персоналу щодо безпечного виконання трудових обов'язків.

4.5 Пожежна безпека

Насосна станція другого підйому належить до об'єктів підвищеної пожежної небезпеки, що обумовлено наявністю значної кількості електрообладнання, маслонаповнених трансформаторів і кабельних комунікацій, мастильних матеріалів і легкозаймистих рідин для технічного обслуговування. Пожежна безпека об'єкта забезпечується комплексом будівельно-планувальних, технічних і організаційних заходів.

Будівля насосної станції зводиться із вогнестійких матеріалів і відноситься до ступеня вогнестійкості не нижче II. Машинний зал, кабельні тунелі та трансформаторні приміщення відокремлюються вогнестійкими перегородками з

межею вогнестійкості не менше 45–90 хвилин. Такий поділ будівлі на пожежні відсіки дозволяє локалізувати вогонь і запобігти його поширенню на суміжні приміщення. Кабельні прохідки крізь перегородки ущільнюються вогнезахисним матеріалом, що перешкоджає поширенню вогню і продуктів горіння через кабельні канали.

Системи автоматичного пожежогасіння є обов'язковим елементом протипожежного захисту насосних станцій підвищеної категорії небезпеки. У машинному залі та трансформаторних приміщеннях проектується автоматичні установки газового або аерозольного пожежогасіння, принцип дії яких базується на зниженні концентрації кисню або нейтралізації активних вогневих центрів відповідно. Використання газового пожежогасіння (установки на основі CO₂ або інертних газів) є ефективним для захисту електроустановок, оскільки не пошкоджує обладнання та не потребує тривалого відновлення після спрацювання. Кабельні тунелі і підпільні канали обладнуються спринклерними системами водяного пожежогасіння з автоматичним спрацюванням від теплових або димових детекторів.

Система пожежної сигналізації є основою раннього виявлення пожежі. На насосних станціях встановлюються адресно-аналогові системи пожежної сигналізації з диференційованою реакцією на різні типи пожежних детекторів. Димові оптичні детектори розташовуються у всіх приміщеннях станції, теплові детектори встановлюються у приміщеннях з можливим виділенням хімічних речовин, що можуть призвести до помилкових спрацювань димових. Система пожежної сигналізації виводиться на центральний пульт управління чергового персоналу з дублюванням сигналів на пульт місцевого підрозділу пожежної охорони. Резервне живлення системи забезпечується акумуляторними батареями з автономністю не менше 24 годин.

Первинні засоби пожежогасіння розміщуються на об'єкті відповідно до нормативних вимог. У машинному залі, трансформаторному відсіку та приміщеннях управління встановлюються ящики з порошковими або вуглекислотними вогнегасниками. Для гасіння горючих рідин і електроустановок

категорично забороняється застосовувати пінні або водяні вогнегасники. На видних місцях вивішуються плани евакуації персоналу, пронумеровані і встановлені відповідно до нормативних вимог. Шляхи евакуації позначаються фотолюмінесцентними знаками, що залишаються видимими при аварійному освітленні або повному знеструмленні.

Організаційні заходи пожежної безпеки включають розробку і затвердження інструкцій з пожежної безпеки, призначення відповідальних за пожежну безпеку в кожному підрозділі, ведення журналів протипожежного інструктажу та планових перевірок стану пожежної безпеки. Добровільна пожежна дружина створюється на об'єктах з чисельністю персоналу понад п'ятдесят осіб, а на менших об'єктах персонал навчається діям при пожежі в рамках загального курсу охорони праці. Регулярні практичні тренування з евакуації та первинного пожежогасіння є обов'язковим елементом підготовки персоналу.

Особливу увагу слід приділяти контролю пожежної безпеки при проведенні вогневих та зварювальних робіт, що виконуються при капітальних ремонтах та реконструкції об'єкта. Такі роботи виконуються виключно за нарядом-допуском з обов'язковим призначенням відповідального за дотримання вимог пожежної безпеки. До початку зварювальних робіт горючі матеріали прибираються на відстань не менше 5 метрів від місця їх проведення, необхідно вжити заходи з захисту кабельних комунікацій і конструкцій з горючих матеріалів за допомогою вогнезахисних екранів.

Протипожежне водопостачання об'єкта забезпечується підключенням до зовнішнього протипожежного водопроводу з пожежними гідрантами, розміщеними на відстані не більше 150 метрів від будівлі. У разі відсутності центрального протипожежного водопроводу на об'єкті передбачається пожежний резервуар місткістю не менше розрахункової витрати води на гасіння пожежі протягом 3 годин. Внутрішнє протипожежне водопостачання реалізується у вигляді пожежних кранів, розміщених таким чином, щоб будь-яка точка приміщення перекривалась щонайменше двома струменями води.

Висновки до 4-го розділу

1. Охорона праці при експлуатації насосної станції другого підйому є комплексною системою технічних, організаційних, санітарно-гігієнічних і профілактичних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки та збереження здоров'я персоналу в умовах дії специфічних виробничих шкідливостей і небезпечних виробничих чинників.
2. Аналіз умов праці на насосних станціях другого підйому дозволяє зробити висновок, що основними виробничими шкідливостями є підвищений рівень шуму (85–105 дБА при нормі 80 дБА) та вібрації від насосно-силового обладнання, що при тривалому впливі призводять до розвитку нейросенсорної приглухуватості та вібраційної хвороби. Хімічні шкідливості, обумовлені застосуванням реагентів для знезараження води, та несприятливий мікроклімат є не менш значимими чинниками ризику для здоров'я персоналу.
3. Проведені розрахунки підтверджують необхідність обмеження часу перебування персоналу в зонах підвищеного шуму. При фактичному рівні шуму 95 дБА допустимий час перебування без засобів індивідуального захисту складає лише 15 хвилин за зміну. Застосування сертифікованих протишумових засобів з ефективністю захисту знижує діючий рівень до значень, що дозволяють можливість тривалої роботи без шкоди для слуху.
4. Основні причини виробничого травматизму на насосних станціях мають переважно організаційний характер – порушення вимог безпеки при роботі з електроустановками, відсутність або несправність засобів колективного захисту, недостатня підготовка та мотивація персоналу. Технічні причини пов'язані зі зношеністю обладнання та недотриманням регламентів технічного обслуговування. Ефективна профілактика травматизму потребує системного підходу, що поєднує технічне переоснащення, суворий контроль дотримання вимог безпеки і формування культури безпечної праці в колективі.
5. Пожежна безпека насосної станції другого підйому забезпечується поєднанням будівельно-планувальних рішень, автоматичних систем

пожежогасіння і сигналізації, первинних засобів пожежогасіння та організаційних заходів. Ключовим елементом є раннє виявлення пожежі засобами автоматичної пожежної сигналізації з адресно-аналоговими детекторами та своєчасне оповіщення персоналу і підрозділів пожежної охорони.

ВИСНОВКИ

1. У роботі виконано кліматичних, метеорологічних та гідрологічних умов на території влаштування системи водопостачання та визначено обсяг водоспоживання міста, що дозволило отримати вихідні дані для проєктування.
2. В результаті проведеного гідравлічний розрахунку кільцевої водопровідної мережі встановлено величини втрат напору на її ділянках, а в вузлах – вільні напори. На підставі отриманих даних побудовано п'єзометричні графіки для двох характерних режимів роботи системи: максимального годинного водоразбору та для режиму пожежогасіння.
3. Обґрунтовано вибрано тип водозабірної споруди з поверхневого джерела, проведено розрахунок основних інженерні споруд майданчика першого підйому, а саме руслового водозабору та насосної станції першого підйому, що дозволило підібрати основне обладнання.
4. Проведено розрахунок насосної станції другого підйому, що дозволило підібрати основне обладнання та проаналізувати сумісну роботу насосів з системою «водоводи – водопровідна мережа» при різних режимах.
5. Виконано аналіз особливостей організації надійної експлуатації насосної станції 2-го підйому та резервуару чистої води, який показав, що ефективність цих заходів обумовлюють наступні прийоми та дії: чітке розмежування обов'язків персоналу та підтримання його належної кваліфікації, систематичний контроль технічного стану обладнання й конструкцій, неухильне дотримання правил технічного обслуговування й планово-запобіжних ремонтів, постійний моніторинг якості води, що зберігається в резервуарі, а також раціональне регулювання режимів роботи насосних агрегатів відповідно до фактичного графіка водоспоживання.
6. Проаналізовано комплекс організаційно-технічних заходів з охорони праці для персоналу насосної станції другого підйому, реалізація яких спрямована на мінімізацію виробничого травматизму та підтримання належних умов праці для обслуговуючого персоналу.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Лобода Н. С., Овчарук В. А. Гідрологія : підручник. – Одеса: ТЕС, 2019. – 458 с.
2. Ободовський О. Г., Копалкін В. В., Пелешенко В. І., Хільчевський В. К. Гідрологія: підручник. – Київ : Ніка-Центр, 2010. – 456 с.
3. Yevtushenko N. Yu., Zamoroка A. V. Water quality monitoring in the Siverskyi Donets basin under conditions of increased anthropogenic load. *Ukrainian Journal of Environmental Sciences*. – 2021. – Vol. 8 (2). – P. 45–58.
4. ДБН В.2.5 - 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. –К.: ДП «Укрархбудінформ», 2013. – 171 с.
5. Методичні рекомендації до проведення практичних занять, виконання розрахунково-графічної роботи та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Водна інженерія та водні технології» (для здобувачів вищої освіти всіх форм навчання першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. К. Б. Сорокіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 82 с.
6. Ткачук О.А. Водопровідні мережі: Навчальний посібник / О.А. Ткачук, В.О. Шадура – Рівне: НУВГП, 2010 – 146 с.
7. 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.
8. 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.

9. Каталог опорних кранів-балок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gutman.kiev.ua/gabaritnyye-razmery-kran-balok-opornykh>, вільний (дата звернення 14.06.2026). – Назва з екрана.
10. 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.
11. Шевченко Т. О., Ярошенко Ю. В., Яковенко М. М., Беляєва В. М. Насосні та повітродувні станції : навч. посібник / Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Х. : ХНУМГ, 2014. – 191 с.
12. 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.
13. 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.
14. Abebe L. S., Smith J. A., Narkier A., Gall A., Spira B., Nolte K., Ishida K. P. Water Quality Changes in Recirculating Systems with Variable Speed Pumps and Relationship to Operational Parameters // Journal AWWA. – 2016. – Vol. 108, No. 9. – P. 482–493.
15. Тугай А. М., Орлов В. О. Водопостачання : підручник. – Рівне : РДТУ, 2001. – 429 с.
16. Гіроль М. М., Гіроль А. М. Технічна експлуатація систем водопостачання. – Рівне : НУВГП, 2016. – 276 с.
17. Mounce S. R., Khan A., Wood A. S., Day A. J., Widdop P. D., Machell J. Sensor-Fusion of Hydraulic Data for Burst Detection and Location in a Treated Water Distribution System // Information Fusion. – 2003. – Vol. 4, No. 3. – P. 217–229.

18. 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>.
19. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – Чинний від 2019-03-01. – Київ : Мінрегіон України, 2019. – 136 с.