

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

«Проектування системи водопостачання населеного пункту

Полтавської області з підземного джерела»

Виконав: здобувач освіти 4-го курсу,
групи ГБтаВТ 2022-1
спеціальності 194 – Гідротехнічне
будівництво, водна інженерія та водні
технології
освітня програма «Гідротехнічне
будівництво, водна інженерія та водні
технології»

Громов Юрій Віталійович

Керівник доц. Гайдучок О.Г.

Рецензент доц. Айрапетян Т.С.

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 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології

Освітня програма «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

 Завідувач кафедри ВВ і ОВ
проф. Карагяур А.С.
«___» червня 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ

Громов Юрій Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування системи водопостачання населеного пункту
Полтавської області з підземного джерела

керівник роботи к.т.н., доц. Гайдучок О.Г.

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

затвержені наказом вищого навчального закладу від “22” 05 2026 р. №441-03

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 18.06.2026 р.



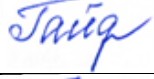
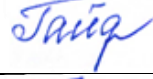
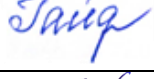

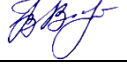
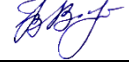


3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Генплан населеного пункту.
Чисельність населення для розрахункового періоду – 15000 чол. Норми
водоспоживання – 240 л/доб·чол. Норма на полив складає 80 л/доб·чол.
Водонапірна башта на початку мережі. В населеному пункті знаходиться 1
промислове підприємство. Джерело водопостачання – підземне.
Характеристика щодо підприємства і якісні показники води підземного джерела
наведено в Додатку до завдання.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Загальні відомості. 2. Технологічна частина. 3. Захист
трубопроводів та споруд від корозії 4. Охорона праці

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

1) Генплан населеного пункту. 2) Розріз свердловини 3) П'єзометрія різних
режимів роботи системи 4) Насосна станція II-го підйому 5) Будівля
водопідготовки 6) Заходи щодо охорони праці та забезпечення надійності
роботи об'єктів водопостачання, технічного обслуговування та безаварійного
функціонування системи

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Загальні відомості	доц. Гайдучок О.Г.		
Технологічна частина	доц. Гайдучок О.Г.		
Захист трубопроводів та споруд від корозії	доц. Гайдучок О.Г.		
Охорона праці	доц. Барбашин В.В.		
Показник оригінальності роботи	доц. Сорокіна К.Б.		
Допуск до захисту	проф. Карагяур А.С.		

7. Дата видачі завдання 04.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Загальна частина	06.04 – 16.04	
2	Технологічна частина	07.04 – 08.05	
3	Захист трубопроводів та споруд від корозії	23.04 – 07.05	
4	Охорона праці	01.05 – 14.05	
5	Графічна частина	15.05 – 08.06	
6	Оформлення і захист	01.06 – 24.06	

Здобувач освіти



Юрій ГРОМОВ

Керівник роботи



Олександр ГАЙДУЧОК

ДОДАТОК ДО ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
бакалавра
здобувачу освіти 4-го курсу,
групи ГБтаВТ 2022-1
Громову Ю.В.

1. Населений пункт знаходиться в Полтавській області
2. Населення для розрахункового періоду складає 15000 чол.
3. Норма середньодобового водоспоживання 240 л/доб.чол.
4. Норма на полив 80 л/доб.чол.
5. Коефіцієнт добової та годинної нерівномірності $K_{\text{доб.мах}} = 1,25$ і $K_{\text{год.мах}} = 1,8$.
6. Джерело водопостачання підземне джерело- Буцацький водоносний горизонт (напірні підземні води).
7. Поверховість забудови – 5
8. Дані по промисловому підприємству:

Відомості про промпідприємство	№1
Кількість змін	2
Кількість працюючих (чол.)	2000
Розподіл працюючих по змінах у % від загального числа працюючих	
у I зміну	35
у II зміну	65
Кількість працюючих у „гарячих” цехах у % від загального числа працюючих у	
I зміну	42
у II зміну	47
Кількість працюючих, які користуються душем, у % від загального числа працюючих у	
зміну у „гарячих” цехах	
у I зміну	65
у II зміну	53
Кількість працюючих, які користуються душем, у % від загального числа працюючих у	
зміну у „холодних” цехах	
у I зміну	30
у II зміну	30
Витрати води на технологічні потреби, л/с	3

9. Якість підземної води

Показник якості води	Фактичне значення
Залізо загальне ($\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$)	3,8 мг/л
Залізо двовалентне Fe^{2+}	3,2 мг/л
Каламутність	12 НОМ
Кольоровість	38 °
Запах (бальна оцінка)	3 бали
Загальна жорсткість	7,8 мг-екв/л
Нітрати NO_3^-	28 мг/л
pH	6,9

Здобувач освіти



Юрій ГРОМОВ

Керівник роботи



Олександр ГАЙДУЧОК

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра включає чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел і графічну частину. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи бакалавра складає 78 сторінок, 12 таблиць та 8 рисунків, список використаних джерел містить 17 позицій.

ВОДОПОСТАЧАННЯ, ПІДЗЕМНІ ВОДИ, ВОДОЗАБІРНІ СВЕРДЛОВИНИ, ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ВОДИ, НАСОСНА СТАНЦІЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

Метою роботи є проектування системи господарсько-питного водопостачання населеного пункту Полтавської області з використанням підземних вод Буцацького водоносного горизонту.

Кваліфікаційна робота присвячена проектуванню системи господарсько-питного водопостачання населеного пункту з використанням підземних вод як основного джерела водопостачання.

В розділі «Загальні відомості» наведено характеристику району проектування, розглянуто кліматичні, геологічні, гідрологічні та гідрогеологічні умови території. Виконано аналіз можливих джерел водопостачання та обґрунтовано вибір підземних вод Буцацького водоносного горизонту як основного джерела централізованого водопостачання.

В розділі «Технологічна частина» визначено розрахункові витрати води на потреби населеного пункту, виконано побудову графіка водоспоживання, гідравлічну ув'язку водопровідної мережі, визначено параметри насосних станцій, свердловин і споруд водопідготовки для доведення якості підземної води до нормативних вимог.

В розділі «Захист трубопроводів та споруд від корозії» проаналізовано вплив ґрунтових та експлуатаційних факторів на довговічність трубопроводів і споруд. Запропоновано комплекс заходів щодо антикорозійного захисту металевих та залізобетонних конструкцій системи водопостачання.

В розділі «Охорона праці» розроблено заходи з охорони праці, електробезпеки, пожежної безпеки та виробничої санітарії, спрямовані на забезпечення безпечних умов праці персоналу на об'єктах водопостачання.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	9
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	18
3 ЗАХИСТ ТРУБОПРОВІДІВ ТА СПОРУД ВІД КОРОЗІЇ	50
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	62
ВИСНОВКИ.....	75
СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....	77

ВСТУП

Надійне забезпечення населення питною водою нормативної якості є однією з основних умов функціонування сучасних населених пунктів. Ефективна система водопостачання сприяє підтриманню належного санітарного стану територій, забезпечує потреби населення та об'єктів господарювання, а також створює передумови для соціально-економічного розвитку населеного пункту. У зв'язку з цим проєктування об'єктів водопостачання залишається актуальним інженерним завданням, що потребує врахування значної кількості технічних, природних та економічних факторів.

Розроблення системи водопостачання передбачає комплексне вирішення низки взаємопов'язаних питань, серед яких вибір найбільш доцільного джерела води, визначення необхідних методів її очищення, розрахунок режимів роботи споруд і мереж, а також забезпечення надійної подачі води споживачам у необхідних об'ємах. При цьому всі прийняті технічні рішення повинні відповідати чинним нормативним вимогам, бути економічно обґрунтованими та забезпечувати безперебійну роботу системи протягом тривалого терміну експлуатації.

Важливим аспектом проєктування є підвищення довговічності елементів системи шляхом використання сучасних матеріалів і конструктивних рішень, а також передбачення заходів щодо захисту трубопроводів і споруд від негативного впливу навколишнього середовища. Не менш важливими є питання організації безпечних умов праці персоналу, який здійснює експлуатацію та технічне обслуговування об'єктів водопостачання.

У даній кваліфікаційній роботі виконано проєкт господарсько-питної системи водопостачання міста. На основі аналізу вихідних даних обґрунтовано вибір джерела водопостачання, розроблено технологічну схему підготовки води, здійснено розрахунок водопровідної мережі, насосних станцій та основних споруд системи. Крім того, розглянуто заходи щодо підвищення надійності роботи об'єкта, захисту його конструкцій та забезпечення безпечних умов експлуатації.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Населений пункт, що розглядається, розташований у центральній частині Полтавської області. Вся територія Полтавщини знаходиться в межах Придніпровської низовини та Середньоруської височини, що визначає переважно рівнинний характер рельєфу регіону. Абсолютні позначки поверхні в межах типових населених пунктів Полтавщини коливаються від 70 до 150 м над рівнем моря.

Полтавська область межує з Харківською, Сумською, Черкаською, Кіровоградською та Дніпропетровською областями. Через область протікають ріки Дніпро, Псел, Ворскла, Хорол та низка менших водотоків, що забезпечують значний гідрологічний потенціал регіону. Річкова мережа відіграє важливу роль у формуванні природних умов та ресурсів підземних вод.

Транспортна мережа регіону включає залізничні колії та автомобільні дороги державного та місцевого значення. Доступна транспортна інфраструктура сприяє розвитку населених пунктів та полегшує доставку матеріалів і обладнання під час виконання будівельних робіт із спорудження системи водопостачання.

Рельєф проєктованої ділянки є переважно рівнинним, з незначними зниженнями в долинах річок. Відносно спокійний рельєф є сприятливим чинником для укладання водопровідних мереж і зводить до мінімуму необхідність проведення масштабних земляних робіт та улаштування перекачувальних станцій. Ухили місцевості не перевищують 0,005, що відповідає гідравлічним умовам прокладення самопливних ділянок трубопроводів.

Геоморфологічно територія належить до зони Лівобережного Лісостепу з характерними ознаками акумулятивної рівнини. Широкі заплави річок чергуються з терасовими ділянками, складеними алювіальними пісками та супісками, під якими залягають водоносні горизонти різної водоносності. Плоский характер місцевості у поєднанні з розвинутою мережею підземних вод робить регіон привабливим для організації підземного водозабору.

1.1 Кліматичні умови

Населений пункт розташований в зоні помірно континентального клімату з чітко вираженою сезонністю. Кліматичні особливості регіону безпосередньо впливають на режим роботи системи водопостачання, потреби у воді та умови будівництва й експлуатації інженерних мереж.

Середньорічна температура повітря в регіоні становить $+7,5...+9,0$ °С. Найхолоднішим місяцем є січень із середньомісячною температурою $-5...-7$ °С. Абсолютний мінімум температури, зафіксований у регіоні, сягає -36 °С. Найтеплішим місяцем є липень — середня температура становить $+20...+22$ °С, а в окремі роки денна температура підіймається до $+38...+40$ °С (табл. 1.1).

Тривалість теплого сезону (з температурою вище 0 °С) становить понад 220 днів, а вегетаційного періоду — близько 190 днів.

Кількість атмосферних опадів у середньому становить 500–600 мм на рік. Більша їх частина (близько 65–70 %) випадає в теплий сезон у вигляді злив. Сніговий покрив формується у грудні і тримається 80–100 днів. Максимальна висота снігового покриву — 20–35 см. Глибина промерзання ґрунту коливається від 0,7 до 1,1 м, що визначає мінімальну глибину укладання водопровідних труб — не менше 1,2–1,5 м від поверхні.

Переважає напрямок вітрів — південно-західний та північно-східний. Середньорічна швидкість вітру становить 3,5–4,5 м/с. У весняно-зимовий період можливі вітри зі швидкістю до 15–20 м/с.

Відносна вологість повітря протягом року в середньому становить 70–78 %. Максимальна вологість спостерігається взимку (80–85 %), мінімальна — у літні місяці (50–60 %).

Таблиця 1.1 — Основні кліматичні характеристики регіону

Показник	Значення
Середньорічна температура повітря, °С	$+7,5...+9,0$
Мінімальна температура (абс.), °С	-36

Показник	Значення
Максимальна температура (абс.), °С	+40
Кількість атмосферних опадів, мм/рік	500–600
Тривалість теплого сезону, днів	>220
Глибина промерзання ґрунту, м	0,7–1,1
Тривалість снігового покриву, днів	80–100
Середньорічна швидкість вітру, м/с	3,5–4,5

Кліматичні умови мають безпосередній вплив на режим водоспоживання. У літній період внаслідок підвищення температури повітря і збільшення витрат на господарсько-побутові потреби, полив зелених насаджень і вулиць пікове водоспоживання зростає. Взимку витрати дещо знижуються, проте слід урахувати теплоізоляцію водопровідних мереж та заходи захисту від промерзання. Означені кліматичні фактори враховані при визначенні розрахункових витрат і режиму роботи насосних станцій.

1.4 Геологічна будова та ґрунти

Геологічна будова Полтавської області обумовлена її розташуванням в межах Дніпровсько-Донецької западини — великої тектонічної структури, вивпненої потужними товщами осадових порід мезозойського та кайнозойського віку. Саме ця особливість геологічної будови визначає сприятливі умови для накопичення запасів підземних вод у різних горизонтах.

Верхній геологічний розріз представлений четвертинними відкладами потужністю від 5 до 30 м. До їх складу входять леси та лесоподібні суглинки, що залягають на вкритих делювіальними та алювіальними відкладами. Нижче знаходяться неогенові та палеогенові породи — піски, пісковики, мергелі та глини різного складу. Важливу роль відіграють водотривкі горизонти глин, що розмежовують водоносні шари та виконують захисну функцію.

Серед четвертинних відкладів виділяються такі горизонти:

- ґрунтово-рослинний шар — потужністю 0,1–0,4 м;
- лесоподібні суглинки жовтувато-бурого кольору — потужністю 2–8 м;

— алювіально-делювіальні піски та супіски — потужністю 3–12 м.

Нижче залягають неогенові відклади, до яких відноситься Бучацька серія — горизонт, що має важливе водогосподарське значення для регіону. Саме він прийнятий як джерело водопостачання у даному проєкті.

Несуча здатність ґрунтів є достатньою для будівництва будівель і споруд водопровідного комплексу без застосування спеціальних фундаментів. Нормативний тиск на ґрунт при глибині закладення 1,5–2,0 м орієнтовно становить 0,15–0,25 МПа, що цілком прийнятно для зведення насосних станцій та станцій водопідготовки.

Ґрунтовий покрив представлений переважно чорноземами типовими та лучними, що формуються на лесоподібних суглинках. Потужність гумусового горизонту становить 50–80 см. Такі ґрунти мають нейтральну або слаболужну реакцію середовища ($\text{pH} = 6,5\text{--}7,5$), що необхідно враховувати при виборі матеріалу трубопроводів та заходів захисту від корозії.

1.4 Гідрологічна характеристика регіону

Поверхневі водні ресурси Полтавської області представлені річковою мережею, ставками, озерами та водосховищами. Основними річками регіону є Дніпро, Ворскла, Псел, Хорол та їх численні притоки. Ці водотоки відіграють важливу роль у формуванні природного водного балансу, зволоженні ґрунтів і живленні підземних водоносних горизонтів.

Річки регіону характеризуються змішаним живленням — снігово-дощовим, із переважанням снігового. Водний режим більшості річок визначається весняним водопіллям (березень–квітень), влітку та взимку рівень води суттєво знижується. Під час весняного водопілля витрати води збільшуються в 5–15 разів порівняно з межінним (літнім) стоком. Такі суттєві сезонні коливання витрат і якості поверхневих вод є одним із аргументів на користь використання підземного джерела водопостачання.

Якість поверхневих вод у регіоні суттєво залежить від сільськогосподарської та господарської діяльності. В літній та осінній сезони

можливе цвітіння водоростей, погіршення органолептичних показників та підвищення вмісту органічних речовин. Узимку каламутність зменшується, проте зростає жорсткість. У цілому поверхневі води потребують складного технологічного оброблення для досягнення нормативної якості питної води.

На відміну від поверхневих, підземні води відзначаються значно вищою стабільністю складу та якості. Вони не схильні до сезонних коливань каламутності, температури та мікробіологічного забруднення. Для регіону характерна наявність кількох водоносних горизонтів з різними показниками дебіту та хімічного складу води.

Серед водоносних горизонтів Полтавщини слід виділити такі [1]:

— четвертинний водоносний горизонт (грунтові води) — залягає на глибині 2–15 м, характеризується низькою захищеністю, схильний до сезонних коливань та забруднення;

— Миргородський водоносний горизонт — напірний, залягає на глибині 30–80 м, характеризується відносно стабільним складом;

— Бучацький водоносний горизонт — напірний, залягає на глибині 80–150 м, відрізняється надійним захистом та стабільними якісними характеристиками, є основним джерелом для водопостачання значної кількості населених пунктів Полтавщини.

1.5 Гідрогеологічні умови та характеристика підземного джерела

Бучацький водоносний горизонт формується у піщаних відкладах бучацької серії палеогену та є одним із найбільш поширених і продуктивних водоносних горизонтів в межах Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну. На території Полтавської області цей горизонт простежується на більшій частині її площі та слугує надійним джерелом питного водопостачання.

Водоносні породи представлені дрібно- та середньозернистими пісками з прошарками пісковика. Водотривкими покрівлями є глини київської серії та бучацькі глини. Підшва горизонту підстиляється щільними непроникними породами кристалічного фундаменту або нижньопалеогеновими глинами.

Наявність надійних водотривів забезпечує природну захищеність горизонту від проникнення забруднень із поверхні.

Глибина залягання покрівлі Буцацького горизонту в межах Полтавської області коливається від 60 до 180 м, а в районі проектування становить приблизно 80–120 м. Відповідно, водозабірні свердловини матимуть загальну глибину від 90 до 140 м. Напірна поверхня підземних вод знаходиться на висоті від 5 до 25 м від поверхні землі, що відповідає ситуації напірних вод.

Дебіт свердловин варіюється від 5 до 30 л/с. Для розрахункового об'єкта водопостачання, враховуючи загальну добову потребу у воді, передбачається облаштування кількох (3–5) водозабірних свердловин. Загальне водовідбирання не перевищить затверджених експлуатаційних запасів горизонту.

Температура підземних вод Буцацького горизонту є практично постійною протягом року та становить +12...+14 °С. Ця властивість є важливою перевагою підземного джерела: взимку вода не замерзає у свердловинах і не вимагає додаткового підігріву в системі водопостачання, а влітку подається до споживачів з природно холодною температурою.

Режим рівня підземних вод у Буцацькому горизонті є напірним та дуже стабільним. Тривалий моніторинг свердловин регіону показує, що сезонні коливання рівня не перевищують 0,5–1,5 м, тобто є несуттєвими з практичної точки зору. Ця стабільність пояснюється значною глибиною залягання горизонту та надійним захистом від поверхневих чинників.

Підземні води Буцацького горизонту мають слабомінералізований склад із загальною мінералізацією від 0,3 до 1,2 г/л. Домінуючими аніонами є гідрокарбонат-іони (HCO_3^-), катіонами — кальцій (Ca^{2+}) та натрій (Na^+). Твердість природної води знаходиться в межах 7,5–8,5 мг-екв/л, що не перевищує нормативного значення (≤ 10 мг-екв/л).

Характерною особливістю вод горизонту в регіоні є підвищений вміст двовалентного заліза (Fe^{2+}), що пояснюється відновлювальними умовами в товщі порід та наявністю органічних речовин. Концентрація заліза суттєво

перевищує нормативні вимоги, що обумовлює необхідність проведення знезалізнення у складі станції водопідготовки. Разом з тим бактеріологічний склад зазвичай задовільний завдяки природному захисту горизонту.

На підставі наведених гідрогеологічних характеристик Бучацький водоносний горизонт відповідає вимогам до джерела централізованого господарсько-питного водопостачання населеного пункту за [2] та може бути прийнятий як основне джерело водопостачання після відповідного водоочищення.

1.6 Обґрунтування вибору підземного джерела водопостачання

Вибір джерела водопостачання суттєво впливає на технічні, економічні та екологічні характеристики всієї системи. При цьому враховуються надійність забезпечення споживачів водою, її якість, складність водопідготовки та витрати на реалізацію проекту. Нижче розглянуто можливі варіанти джерел водопостачання та наведено обґрунтування вибору підземних вод як основного джерела.

Потенційними джерелами водопостачання на Полтавщині можуть виступати: поверхневі води річок — основні водотоки Полтавської області (Ворскла, Псел та ін.); підземні води — горизонти різних геологічних систем, зокрема Бучацький артезіанський горизонт.

Порівняння поверхневих і підземних джерел водопостачання наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 — Порівняння альтернативних джерел водопостачання

Критерій оцінки	Поверхневі води	Підземні води (Бучацький горизонт)
Стабільність складу протягом року	Низька (сезонні коливання)	Висока (практично незмінний склад)
Мікробіологічна захищеність	Низька (зовнішні забруднення)	Висока (природний захист глинами)
Каламутність	Висока (особливо в паводок)	Низька (обумовлена залізом)

Критерій оцінки	Поверхневі води	Підземні води (Бучацький горизонт)
Технологія водопідготовки	Складна (коагуляція, флокуляція, хлорування)	Проста (аерація, фільтрація, УФ)
Капітальні витрати на очищення	Значні	Помірні
Залежність від погодних умов	Висока	-
Надійність водозабору	Середня (паводок, меженний стік)	Висока (стабільний дебіт)
Необхідність санітарних зон	Масштабні охоронні зони	Обмежені зони навколо свердловин
Температура води	Змінна (0–25 °С)	Стала (+12...+14 °С)
Відповідність нормам без обробки	Не відповідає	Частково не відповідає (Fe, мікробіологія)

Порівняння можливих джерел водопостачання показало, що підземні води є найбільш прийнятним варіантом з огляду на їх якісні, експлуатаційні та економічні характеристики. Нижче наведено основні результати на користь цього рішення:

1. Санітарна надійність. Підземні води Бучацького горизонту захищені від поверхневого забруднення потужними шарами глинистих порід потужністю до 30–50 м. Це забезпечує природну бар'єрну функцію для більшості мікроорганізмів, пестицидів та мінеральних добрив, які можуть надходити з поверхні при інтенсивному сільськогосподарському виробництві. Незначне мікробіологічне забруднення, виявлене при аналізі проби, легко усувається ультрафіолетовим знезараженням без хімічних реагентів.

2. Стабільність якості. На відміну від поверхневих вод, де якість суттєво погіршується під час паводків, злив або літнього цвітіння, хімічний склад підземних вод практично не змінюється протягом року. Це спрощує керування технологічним процесом водопідготовки та дозволяє підтримувати стабільну якість питної води.

3. *Спрощена технологія водопідготовки.* Для доведення якості підземної води до нормативних вимог достатньо застосування аерації, фільтрації та УФ-знезараження. Використання хімічних реагентів (коагулянтів, флокулянтів, хлоровмісних препаратів) зведено до мінімуму або виключено, що знижує собівартість водопідготовки та зменшує навантаження на довкілля.

4. *Надійність водопостачання.* Підземні джерела забезпечують безперебійне водопостачання незалежно від гідрологічного режиму поверхневих водотоків, паводків, посух та інших природних явищ. Артезіанські свердловини забезпечують стабільний дебіт протягом усього року.

5. *Санітарно-захисні зони.* Для підземних водозаборів санітарно-захисні зони є значно меншими за площею порівняно з поверхневими водозаборами. Це знижує обмеження на господарське використання прилеглих земель.

6. *Відсутність ризику паводків.* Поверхневі водозабори в Полтавській області піддаються ризику затоплення під час весняних паводків або тривалих злив. Свердловини Буцацького горизонту розташовані на значній глибині та не залежать від рівня поверхневих вод.

7. *Температура підземної води.* Стала температура +12...+14 °C є комфортною для питних цілей і не вимагає охолодження або підігріву води в системі водопостачання.

Таким чином, вибір підземного джерела водопостачання — Буцацького водоносного горизонту — є обґрунтованим з технічної, санітарно-гігієнічної та економічної точок зору.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

На підставі аналізу природних умов району проєктування, характеристик підземного джерела водопостачання та результатів обґрунтування його вибору виконується розрахунок основних параметрів системи водопостачання. Насамперед визначаються розрахункові витрати води для всіх категорій споживачів, що є вихідними даними для встановлення продуктивності водозабірних споруд, насосних станцій, водопровідної мережі, регулювальних ємностей та споруд водопідготовки.

2.1 Витрати води на питні потреби

Максимально добові витрати визначаємо:

$$Q_{\text{макс}} = \frac{q_{\text{н}} \cdot N}{1000} \times K_{\text{доб}}, \quad (2.1)$$

Відповідно до вихідних даних, питома норма водоспоживання на господарсько-питні потреби становить 240 л/добу на одного мешканця. Чисельність населення, яке забезпечується водою, прийнята 15 000 осіб, а коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання дорівнює 1,25.

$$Q_{\text{макс}} = \frac{240 \cdot 15000}{1000} \times 1,25 \approx 4500 \text{ м}^3/\text{доб}$$

Для виконання подальших розрахунків максимальну добову витрату води переводимо у максимальну годинну витрату для розрахункового населеного пункту.

$$Q_{\text{макс.год}} = \frac{Q_{\text{макс}}}{24} \times K_{\text{год.нер}}, \quad (2.2)$$

$$Q_{\text{макс}} = \frac{4500}{24} \times 1,8 \approx 337,5 \text{ м}^3/\text{год або } 94 \text{ л/с.}$$

2.2 Витрати води на поливальну діяльність

Полив зелених насаджень, зрошення площ, а також миття вулиць і майданчиків визначаються відповідно до нормативних показників водоспоживання та площ територій, що підлягають поливу або очищенню.

$$Q_{\text{пол}} = \frac{q_{\text{пол}} \cdot N}{1000}, \quad (2.3)$$

$$Q_{\text{пол}} = \frac{80 \cdot 15000}{1000} = 1200 \text{ м}^3/\text{доб}$$

Таким чином, розрахункова потреба у воді для поливу становить 840 м³/добу при механізованому способі виконання робіт із застосуванням поливальних машин та 360 м³/добу при ручному поливі.

2.3 Витрати води для потреб промислових підприємств

Розрахунок потреб у воді на промислових підприємствах, які розташовані в місті, визначаються за наступними залежностями:

$$Q_{\text{під}} = \sum Q_{\text{гар.цех}} + \sum Q_{\text{хол.цех}} + \sum Q_{\text{душ}} + \sum Q_{\text{техн}}, \quad (2.4)$$

Для зручності аналізу результати наступних розрахунків подано в табл. 2.1.

2.4 Загальне водоспоживання міста

Розрахунок сумарної потреби міста у воді виконуємо за наведеною формулою:

$$Q_{\text{місто}} = Q_{\text{макс}} + \sum Q_{\text{під},i} + \sum Q_{\text{пол}}, \quad (2.5)$$

$$Q_{\text{пож}} = 4500 + (172,8 + 296,9) + 1200 = 6169,7 \text{ м}^3/\text{доб}$$

Потребу у воді для гасіння пожеж визначаємо окремим розрахунком:

$$Q_{\text{пож}} = 3,6 \times q_{\text{пож}} \times n_{\text{пож}} \times T_{\text{пож}}, \quad (2.6)$$

Згідно з вимогами [3], для ліквідації однієї пожежі передбачено витрату води 15 л/с. Розрахунок виконується з урахуванням одночасного гасіння двох пожеж протягом 3 годин:

$$Q_{\text{пож}} = 3,6 \cdot 15 \cdot 2 \cdot 3 = 324 \text{ м}^3/\text{доб}$$

Визначення добового графіка водоспоживання здійснюється в табличній формі (табл. 2.2) з розподілом витрат за годинами доби. При цьому враховуються всі складові водоспоживання, зокрема господарсько-питні потреби населення, витрати води на полив територій та водоспоживання промислових підприємств.

Для забезпечення безперервного водопостачання споживачів у години нерівномірного водорозбору та покриття пікових навантажень передбачається влаштування регулювальної ємності – водонапірної башти. Робота насосної станції другого підйому приймається ступінчастою: у періоди максимального водоспоживання експлуатується одна група насосів, а в години зниженого

водорозбору – інша. Подача насосів для відповідного режиму роботи визначається за такою залежністю:

$$q_{II} = \frac{100 - q_I t_I}{t_{II}} = \frac{100 - q_I t_I}{(24 - t_I)}$$

На рис. 2.1 представлено суміщений графік водоспоживання міста та подачі води насосним обладнанням насосної станції другого підйому.

Таблиця 2.1 – Розрахункові витрати води на промислових підприємствах

№ підприємства	Зміни	Кількість працюючих									Розрахункові витрати води						Загальна витрата	
		Загальна		У «гарячих» цехах		У «холодних» цехах	Користуються душем				На господарські-питні потреби		На душові потреби працюючих		На технологічні потреби			
		%	чол.	%	чол.	чол.	У «гарячих» цехах		У «холодних» цехах		У «гарячих» цехах	У «холодних» цехах	Усього	q, л/с	Q			
							%	чол.	%	чол.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	I	35	700	42	294	406	65	191,1	30	122	13,2	10,15	19,1	8,7	27,8	3	86,4	137,6
	II	65	1300	47	611	689	53	135	30	207	27,5	17,225	13,5	14,8	28,3	3	86,4	159,4
		100	2000								40,7	27,375			56,1		172,8	296,9

Таблиця 2.2 – Розрахунок сумарного водоспоживання міста

Години	Водоспоживання на господарсько-питні потреби населення		Водоспоживання на полив		Промпідприємство № 1						Сумарне водоспоживання	
					на господарсько-питні потреби працюючих				душові витрати, м³/год	витрати води на технологічні потреби, м³/год		
	ручний, м³/год	машинний, м³/год	у «гарячих» цехах		у «холодних» цехах							
			%	м³/год	%	м³/год	%	м³/год	м³/год	м³/год	%	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	18	19
0-1	0,9	40,5			15,65	4,30	18,75	3,225	28,3	10,8	87,1	1,5
1-2	0,9	40,5									40,5	0,7
2-3	0,9	40,5									40,5	0,7
3-4	1	45,0									45,0	0,8
4-5	2,35	105,8									105,8	1,8
5-6	3,85	173,3		52,5							225,8	3,8
6-7	5,2	234,0	60	52,5							346,5	5,8
7-8	6,2	279,0	60	52,5							391,5	6,5
8-9	5,5	247,5	60	52,5							360,0	6,0
9-10	4,85	218,3		52,5	12,05	1,59	6,25	0,638		10,8	283,8	4,7
10-11	5	225,0		52,5	12,05	1,59	12,5	1,275		10,8	291,2	4,9
11-12	6,5	292,5		52,5	12,05	1,59	12,5	1,275		10,8	358,7	6,0
12-13	7,5	337,5		52,5	12,05	1,59	18,75	1,913		10,8	404,3	6,7

Години	Водоспоживання на господарсько-питні потреби населення		Водоспоживання на полив		Промпідприємство № 1						Сумарне водоспоживання	
					на господарсько-питні потреби працюючих				душові витрати, м³/год	витрати води на технологічні потреби, м³/год		
	ручний, м³/год	машинний, м³/год	у «гарячих» цехах		у «холодних» цехах							
			%	м³/год	%	м³/год	%	м³/год	м³/год	м³/год	%	
13-14	6,7	301,5		52,5	12,05	1,59	6,25	0,638		10,8	367,0	6,1
14-15	5,35	240,8		52,5	12,05	1,59	12,5	1,275		10,8	306,9	5,1
15-16	4,65	209,3		52,5	12,05	1,59	12,5	1,275		10,8	275,4	4,6
16-17	4,5	202,5	60	52,5	15,65	2,07	18,75	1,913	27,8	10,8	357,6	6,0
17-18	5,5	247,5	60	52,5	12,05	3,31	6,25	1,075		10,8	375,2	6,3
18-19	6,3	283,5	60	52,5	12,05	3,31	12,5	2,150		10,8	412,3	6,9
19-20	5,35	240,8		52,5	12,05	3,31	12,5	2,150		10,8	309,5	5,2
20-21	5	225,0		52,5	12,05	3,31	18,75	3,225		10,8	294,8	4,9
21-22	3	135,0			12,05	3,31	6,25	1,075		10,8	150,2	2,5
22-23	2	90,0			12,05	3,31	12,5	2,150		10,8	106,3	1,8
23-24	1	45,0			12,05	3,31	12,5	2,150		10,8	61,3	1,0
Σ	100	4500,0	360	840	–	40,7	–	27,40	56,1	172,8	5997,0	100

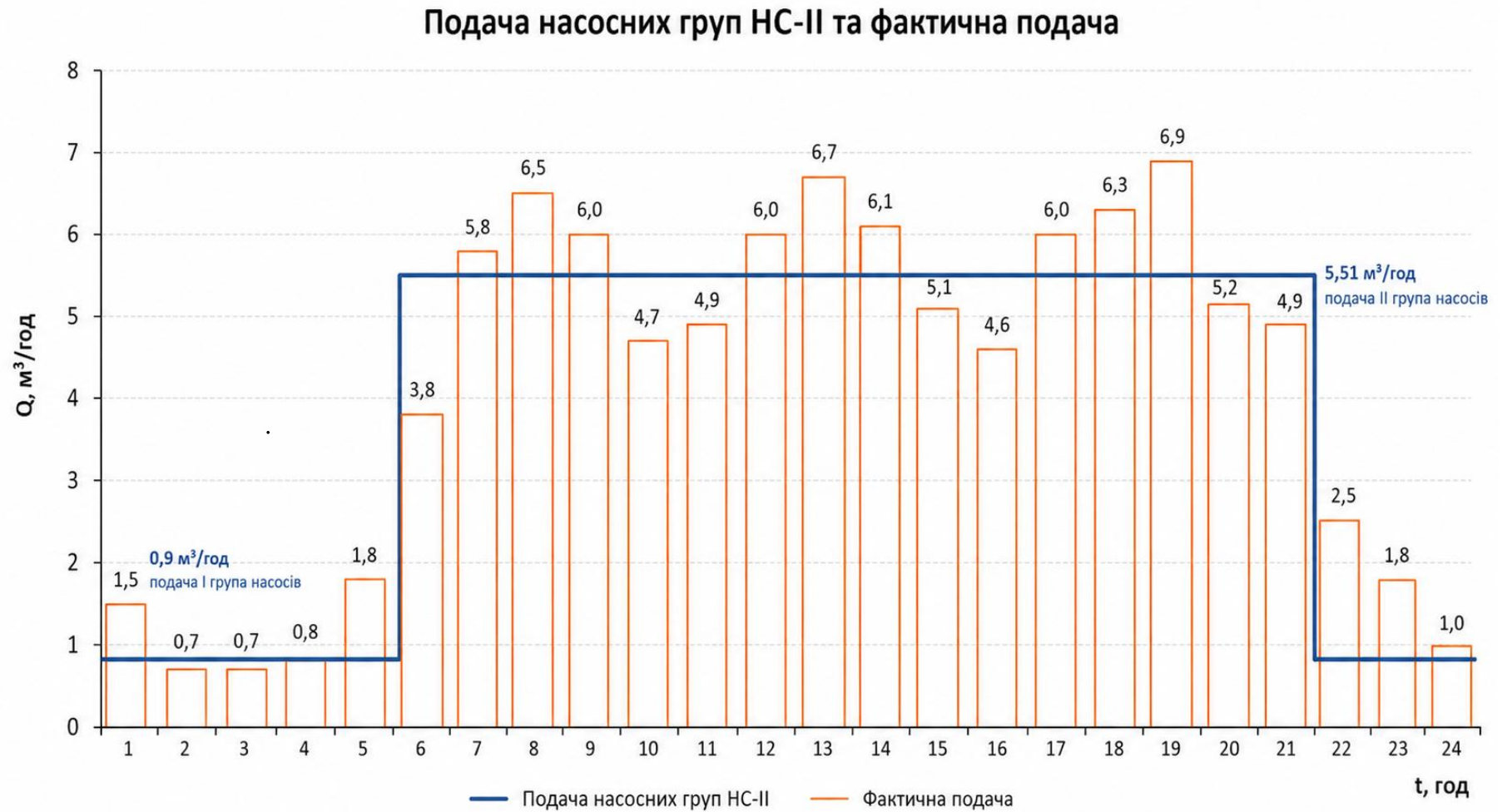


Рисунок 2.1 – Поєднаний графік споживання води містом і подачі води насосами НС-II

Розахунок регулюючого об'єму виконуємо:

$$W_{\text{вод}} = \frac{a_{\text{рег}} \cdot Q_{\text{міст}}}{100}, \quad (2.7)$$

Баланс надходження води до резервуара і її витрачання протягом доби визначається в табличній формі та представлений у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Надходження води до резервуара і її витрачання протягом доби

Години доби	Подача води насосами	Водоспоживання	Надходження води в бак	Витрата води з баку	Залишок води в баку
0-1	0,9	1,5	-0,55		0
1-2	0,9	0,7	0,22		0,22
2-3	0,9	0,7	0,22		0,45
3-4	0,9	0,8	0,15		0,60
4-5	0,9	1,8	-0,86		-0,26
5-6	5,51	3,8	1,75		1,48
6-7	5,51	5,8	-0,27		1,22
7-8	5,51	6,5	-1,02		0,20
8-9	5,51	6,0	-0,49		-0,29
9-10	5,51	4,7	0,78		0,49
10-11	5,51	4,9	0,66		1,15
11-12	5,51	6,0	-0,47		0,68
12-13	5,51	6,7	-1,23		-0,55
13-14	5,51	6,1	-0,61		-1,16
14-15	5,51	5,1	0,39		-0,77

Години доби	Подача води насосами	Водоспоживання	Надходження води в бак	Витрата води з баку	Залишок води в баку
15-16	5,51	4,6	0,92		0,15
16-17	5,51	6,0	-0,45		-0,30
17-18	5,51	6,3	-0,74		-1,04
18-19	5,51	6,9	-1,36		-2,41
19-20	5,51	5,2	0,35		-2,06
20-21	5,51	4,9	0,60		-1,46
21-22	5,51	2,5	3,01		1,55
22-23	0,9	1,8	-0,87		0,67
23-24	0,9	1,0	-0,12		0,55
Σ	100	100,00	0,00		

Коефіцієнт регулювання складає $a_{\text{рег}} = 2,41 + 1,55 = 3,96$

$$W_{\text{вод}} = \frac{3,96 \cdot 5997}{100} = 237,5 \approx 238 \text{ м}^3$$

Протипожежний запас:

$$W_{\text{вод}} = \frac{(15+5) \times 60 \times 10}{1000} = \frac{12000}{1000} = 12 \text{ м}^3$$

Загальна ємність складає:

$$W_{\text{бак}} = W_{\text{вод}} + W_{\text{пож.б}} \quad (2.8)$$

$$W_{\text{бак}} = 238 + 12 = 250 \text{ м}^3$$

Для подальшого визначення конструктивних розмірів водонапірного бака приймаємо його у вигляді вертикального циліндра діаметром 7 м. У цьому випадку маємо:

$$H_{\text{бак}} = \frac{4W_{\text{б}}}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 250}{3,14 \cdot 7^2} \approx 6,5 \text{ м}$$

Графічне виконання водонапірного бака з розрахованими розмірами представлено на рис. 2.2.

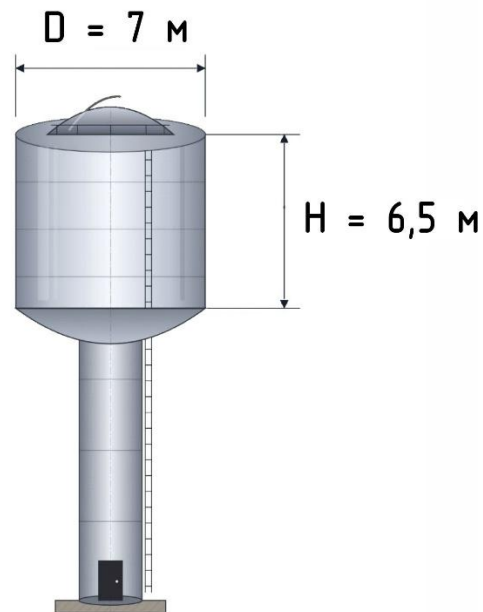


Рисунок 2.2 – Водонапірна башта з розрахованими розмірами бака:
діаметр — 7 м, висота — 6,5 м.

2.5 Виконання гідравлічного розрахунку мережі

Визначаємо питому витрати:

$$q_{пит} = \frac{q_{\max} - q_{III1}^{\max} - q_{III2}^{\max}}{\sum L_i} = \frac{114,53 - 4,5}{11475} \approx 0,009587 \frac{\text{л}}{\text{с} \cdot \text{м}}$$

Для спрощення відображення результатів визначення попутних витрат виконується в табличній формі (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Обчислення попутних витрат води для ділянок водопровідної мережі населеного пункту.

Номер ділянки	Розрахункова довжини ділянки, м	Питома витрата води, л/(с·м)	Попутна витрата ділянки, л/с
1	510	0,009587	4,9
2	850	0,009587	8,1
3	700	0,009587	6,7
4	600	0,009587	5,8
5	600	0,009587	5,8
6	550	0,009587	5,3

Номер ділянки	Розрахункова довжини ділянки, м	Питома витрата води, л/(с·м)	Попутна витрата ділянки, л/с
7	480	0,009587	4,6
8	500	0,009587	4,8
9	150	0,009587	1,4
10	900	0,009587	8,6
11	190	0,009587	1,8
12	550	0,009587	5,3
13	880	0,009587	8,4
14	500	0,009587	4,8
15	470	0,009587	4,5
16	780	0,009587	7,5
17	470	0,009587	4,5
18	500	0,009587	4,8
19	480	0,009587	4,6
20	815	0,009587	7,8
СУМА	11475		110,0

Результати розрахунку вузлових витрат зведено до табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Визначення вузлових витрат міста

Номер вузла	Номери ділянок, які утворюють вузол	Сума попутних витрата ділянок, які утворюють вузол, л/с	Зосереджена витрата води у вузлі, л/с	Вузлова витрата, л/с
1	1, 4	10,6		5,3
2	1,2,5	18,8		9,4
3	2,3,6	20,1		10,1
4	3,7	11,3		5,7
5	4,8	10,5		5,3
6	5,8,9	12,0		6,0
7	9,10,13	18,5		9,3
8	6,10,11	15,7		7,9
9	11,12,14	11,9		5,9
10	7,12,15	14,4		7,2
11	13,16,18	20,7		10,4
12	14,17,16,19	21,4		10,7
13	15,17	9,0		4,5

Номер вузла	Номери ділянок, які утворюють вузол	Сума попутних витрата ділянок, які утворюють вузол, л/с	Зосереджена витрата води у вузлі, л/с	Вузлова витрата, л/с
14	18,20	12,6	4,5	10,8
15	19,20	12,4		6,2
СУМА				114,5

Витрата води по водоводам, буде складати:

$$q_{вод} = \frac{q_{II} \cdot Q_{міст}}{2 \cdot 100 \cdot 3,6} = \frac{5,51 \cdot 5997}{2 \cdot 100 \cdot 3,6} \approx 45,9 \text{ л/с}$$

Витрата води з водонапірної башти:

$$q_{башта} = 114,5 - 2 \cdot 45,9 = 22,7 \text{ л/с}$$

Для влаштування мережі господарсько-питного водопостачання прийнято поліетиленові труби ПЕ100 SDR 17, які характеризуються високою міцністю, корозійною стійкістю та тривалим терміном експлуатації. З метою виконання гідравлічного розрахунку мережі здійснено попередній розподіл витрат води між окремими ділянками, що наведено на рис. 2.3.

На підставі розрахункових витрат та рекомендованих економічних швидкостей руху води в межах 0,6–2,0 м/с [3] виконано підбір діаметрів трубопроводів, результати якого подано в таблиці 2.6. Після цього проведено гідравлічну ув'язку кільцевої водопровідної мережі, за результатами якої визначено фактичний розподіл витрат, втрати напору на окремих ділянках та швидкості руху води. Отримані дані наведено в табл. 2.7, а схема ув'язаної мережі представлена на рис. 2.4.

Таблиця 2.6 – Визначення діаметру ПЕ100 SDR 17 на ділянках

№	Довжина, м	Поч. витрата, л/с	Діаметр, мм	Характеристика труби
1	510	95,8	280	товщина стінки = 16.6 мм; внутрішній діаметр = 246.8 мм; швидкість = 2.003 м/с
2	850	78	280	товщина стінки = 16.6 мм; внутрішній діаметр = 246.8 мм; швидкість = 1.630 м/с

№	Довжина, м	Поч. витрата, л/с	Діаметр, мм	Характеристика труби
3	700	18,1	160	Діаметр зовнішній = 160 мм; товщина стінки = 9.5 мм; внутрішній діаметр = 141.0 мм; швидкість = 1.159 м/с
4	600	55,2	225	товщина стінки = 13.4 мм; внутрішній діаметр = 198.2 мм; швидкість = 1.789 м/с
5	600	8,4	90	товщина стінки = 5.4 мм; внутрішній діаметр = 79.2 мм; швидкість = 1.705 м/с
6	550	49,8	225	товщина стінки = 13.4 мм; внутрішній діаметр = 198.2 мм; швидкість = 1.614 м/с
7	480	12,4	110	товщина стінки = 6.6 мм; внутрішній діаметр = 96.8 мм; швидкість = 1.685 м/с
8	500	8,3	160	товщина стінки = 9.5 мм; внутрішній діаметр = 141.0 мм; швидкість = 0.532 м/с
9	150	10,7	125	товщина стінки = 7.4 мм; внутрішній діаметр = 110.2 мм; швидкість = 1.122 м/с
10	900	10,7	140	товщина стінки = 8.3 мм; внутрішній діаметр = 123.4 мм; швидкість = 0.895 м/с
11	190	31,2	180	товщина стінки = 10.7 мм; внутрішній діаметр = 158.6 мм; швидкість = 1.579 м/с
12	550	12,3	110	товщина стінки = 6.6 мм; внутрішній діаметр = 96.8 мм; швидкість = 1.671 м/с
13	880	12,1	160	товщина стінки = 9.5 мм; внутрішній діаметр = 141.0 мм; швидкість = 0.775 м/с
14	500	13	160	товщина стінки = 9.5 мм; внутрішній діаметр = 141.0 мм; швидкість = 0.833 м/с
15	470	17,5	140	товщина стінки = 8.3 мм; внутрішній діаметр = 123.4 мм; швидкість = 1.463 м/с
16	780	12,2	140	товщина стінки = 8.3 мм; внутрішній діаметр = 123.4 мм; швидкість = 1.020 м/с

№	Довжина, м	Поч. витрата, л/с	Діаметр, мм	Характеристика труби
17	470	13	140	товщина стінки = 8.3 мм; внутрішній діаметр = 123.4 мм; швидкість = 1.087 м/с
18	500	13,9	125	товщина стінки = 7.4 мм; внутрішній діаметр = 110.2 мм; швидкість = 1.457 м/с
19	500	3,1	140	товщина стінки = 8.3 мм; внутрішній діаметр = 123.4 мм; швидкість = 0.259 м/с
20	815	3,1	125	товщина стінки = 7.4 мм; внутрішній діаметр = 110.2 мм; швидкість = 0.325 м/с

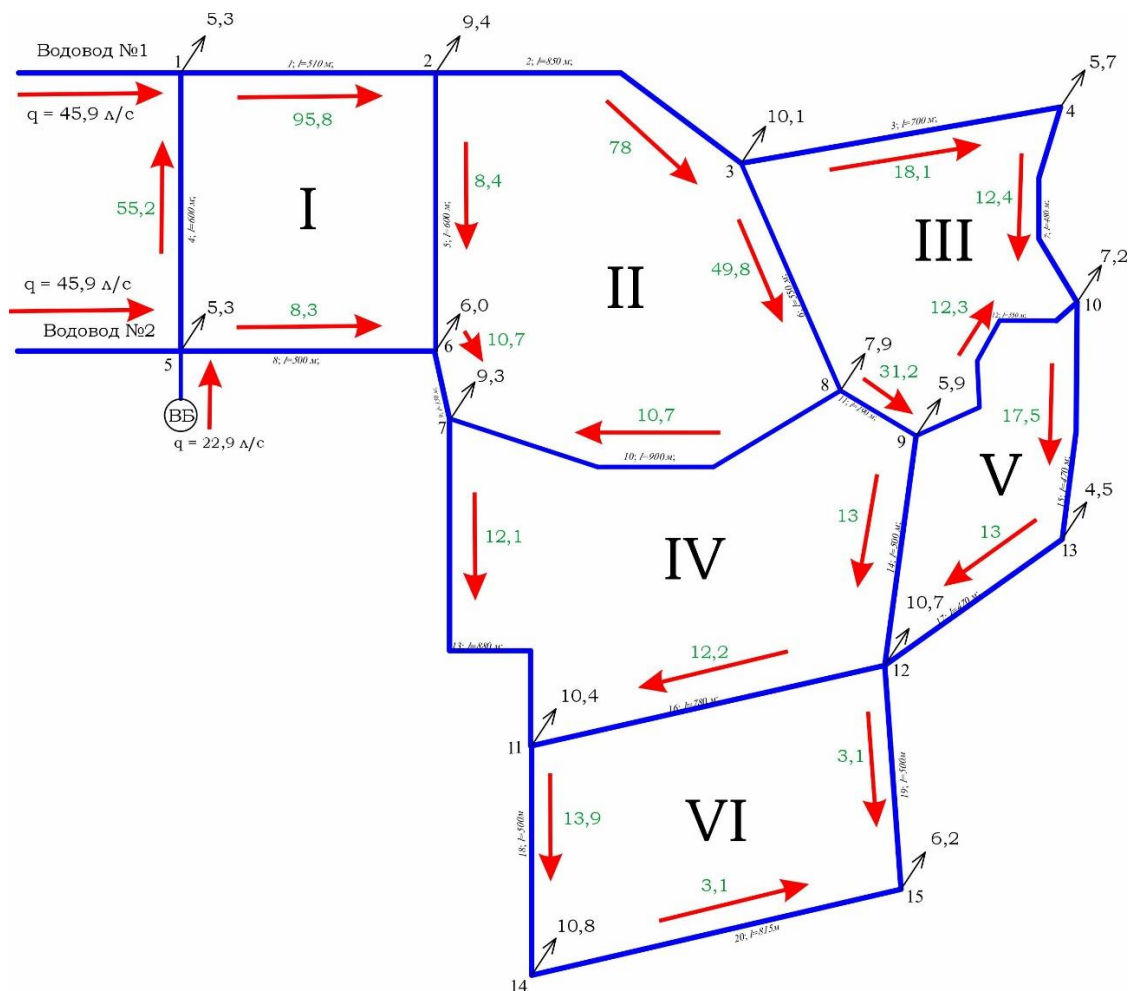


Рисунок 2.3 – Схема попереднього розподілу витрат по розрахункових ділянках мережі

Таблиця 2.7 – Фактичні витрати та втрати напору на ділянках мережі при максимальному водоспоживанні.

№ ділянки	Витрата (л/с)	Втрати напору, м	Напрямок потоку	Швидкість (м/с)	1000·i (‰)
1	77,54	5,60	→ прямиий	1,6208	10,971
2	65,97	6,86	→ прямиий	1,3790	8,072
3	13,75	5,43	→ прямиий	0,8807	7,754
4	36,94	5,09	→ прямиий	1,1972	8,480
5	2,17	2,87	→ прямиий	0,4395	4,777
6	42,12	5,99	→ прямиий	1,3652	10,882
7	8,05	9,70	→ прямиий	1,0941	20,202
8	26,56	13,54	→ прямиий	1,7012	27,084
9	22,73	11,02	→ прямиий	2,3829	73,454
10	3,49	1,04	→ прямиий	0,2920	1,155
11	30,73	3,66	→ прямиий	1,5554	19,262
12	5,55	5,48	→ прямиий	0,7541	9,959
13	16,92	10,12	→ прямиий	1,0836	11,497
14	19,28	7,37	→ прямиий	1,2346	14,730
15	6,40	1,72	→ прямиий	0,5353	3,652
16	1,27	0,13	→ прямиий	0,1061	0,169
17	1,90	0,17	→ прямиий	0,1590	0,364
18	7,79	4,80	→ прямиий	0,8166	9,601
19	9,21	3,65	→ прямиий	0,7702	7,291
20	-3,01	1,29	← реверс	0,3157	1,578

Для перевірки роботи мережі в пожежному режимі виконуємо розрахунок за аналогічною методикою. Розглядається випадок виникнення пожежі в найбільш віддаленому вузлі мережі (т. 15) у годину максимального водоспоживання. Для цього до вузлової витрати в точці 15 додається пожежна витрата 15 л/с, унаслідок чого розрахункова витрата становить $q = 6,2 + 15 = 21,2$ л/с. Після виконання попереднього розподілу потоків здійснюється гідравлічна ув'язка мережі та визначаються фактичні витрати води на всіх її ділянках. Результати розрахунку наведено в табл. 2.8, а схема остаточного розподілу витрат представлена на рис. 2.5.

Таблиця 2.8 Фактичні витрати та втрати напору на ділянках мережі при максимальному водоспоживанні та пожеогасінні

№ ділянки	Витрата (л/с)	Втрати напору, м	Напрямок потоку	Швидкість (м/с)	1000·i (‰)
1	87,92	7,10	→ прямий	1,8379	13,931
2	76,26	9,04	→ прямий	1,5941	10,631
3	15,78	7,05	→ прямий	1,0105	10,067
4	47,32	8,15	→ прямий	1,5338	13,578
5	2,26	3,11	→ прямий	0,4591	5,190
6	50,38	8,41	→ прямий	1,6330	15,295
7	10,08	14,85	→ прямий	1,3694	30,943
8	31,18	18,36	→ прямий	1,9967	36,719
9	27,44	15,76	→ прямий	2,8769	105,062
10	4,13	1,43	→ прямий	0,3449	1,585
11	38,36	5,58	→ прямий	1,9416	29,358
12	6,73	7,91	→ прямий	0,9149	14,379
13	22,26	17,04	→ прямий	1,4259	19,366
14	25,72	12,74	→ прямий	1,6475	25,484
15	9,61	3,71	→ прямий	0,8036	7,904
16	1,35	0,15	→ прямий	0,1133	0,191
17	5,11	1,12	→ прямий	0,4273	2,381
18	13,22	13,12	→ прямий	1,3859	26,231
19	18,78	14,11	→ прямий	1,5704	28,226
20	2,42	0,85	→ прямий	0,2536	1,041

2.6 Розрахунок споруд для забору води з підземного джерела

Водозабірні споруди, що використовують підземні води як джерело водопостачання, є початковим елементом системи подачі води. До їх складу входять водозабірні свердловини, занурювальні насоси першого підйому, оголовки свердловин із запірною та контрольно-вимірювальною арматурою, а також збірні водоводи, призначені для транспортування води до станції водопідготовки. Розрахунок насосної станції першого підйому (НС-І) передбачає послідовне визначення необхідної продуктивності станції, встановлення кількості робочих і резервних свердловин, розрахунок динамічного рівня води та потрібного напору насосів, вибір відповідного

занурювального насосного обладнання, а також визначення основних конструктивних параметрів оголовка свердловини.

Згідно з гідрогеологічними характеристиками Бучацького водоносного горизонту, продуктивність окремих свердловин може становити від 5 до 30 л/с і залежить від потужності водоносних відкладів, конструктивних особливостей фільтра та режиму експлуатації. Для забезпечення стабільної роботи водозабірних споруд і підвищення терміну служби свердловин доцільно приймати розрахунковий дебіт на рівні середніх значень зазначеного діапазону. Такий підхід сприяє зменшенню депресії рівня підземних вод, знижує ризик кольматації фільтрувальної зони та забезпечує надійну експлуатацію водозабору впродовж тривалого часу. Таким чином, приймаємо експлуатаційний дебіт однієї свердловини – 70 м³/год або 19,4 л/с. Тоді необхідна кількість робочих свердловин при споживанні населеного пункту в приблизно 250 м³/год складає:

$$n = \frac{275}{70} = 3,93 \approx 4 \text{ свердловини}$$

Відповідно до вимог [3], для систем водопостачання I категорії надійності, які забезпечують населені пункти з чисельністю населення понад 5 тис. мешканців, необхідно передбачати резервування водозабірних споруд. Резервні свердловини призначені для підтримання безперебійної подачі води у випадку аварійного відключення робочих свердловин, а також під час виконання профілактичних, регламентних чи ремонтних робіт. З метою забезпечення надійності функціонування водозабірної вузла приймається одна резервна свердловина, яка за потреби вводиться в експлуатацію замість будь-якої з робочих. Загальна кількість водозабірних споруд складає 5 свердловин.

Фактичне навантаження на одну робочу свердловину тоді складає 68,75 м³/год або 19,1 л/с, що знаходиться в межах паспортного діапазону дебіту свердловин Бучацького горизонту і забезпечує помірну депресію рівня води без ризику винесення піску з водоносного пласта.

Для забезпечення якості підземних вод навколо свердловин передбачаються зони санітарної охорони: I пояс суворого режиму, II пояс

обмежень та III пояс спостереження. Дотримання встановлених санітарних вимог гарантує безпечну та тривалу експлуатацію водозабору. Розраховані свердловини розміщуються на майданчику водозабору на відстані не менше 150–200 м одна від одної (для запобігання взаємного гідравлічного впливу і накладання депресійних лійок), об'єднуються збірним водоводом і огорожуються в межах I поясу зони санітарної охорони.

Експлуатація свердловин у межах затверджених запасів підземних вод не спричиняє суттєвого негативного впливу на навколишнє середовище та не порушує природного балансу водоносного горизонту.

Для розрахунків прийнято геологічні характеристики ділянки, згідно з якими покрівля Бучацького водоносного горизонту розташована на глибині 100 м, а проектна глибина свердловини становить 115 м. Статичний (п'езометричний) рівень напірних підземних вод знаходиться на відмітці 15 м від поверхні землі.

Під час роботи свердловини з фактичним дебітом (19,1 л/с) відбувається пониження рівня води внаслідок утворення депресійної лійки. За даними дослідних відкачувань і результатами гідрогеологічних розрахунків величина депресії приймається рівною $S = 8$ м.

Динамічний рівень води у свердловині під час роботи насоса:

$$H_{\text{дин}} = H_{\text{ст}} + S = 15 + 8 = 23 \text{ м}$$

Для забезпечення надійної роботи занурювального насосного агрегату його встановлюють нижче динамічного рівня води з урахуванням необхідного запасу на затоплення електродвигуна та можливих коливань рівня у процесі експлуатації. Величину занурення насоса приймаємо $h_{\text{зан}} = 10$ м. Тоді глибина встановлення насосного агрегату від поверхні землі визначається як сума динамічного рівня та величини занурення насоса і становить:

$$H_{\text{вст}} = H_{\text{дин}} + h_{\text{зан}} = 23 + 10 = 33 \text{ м}$$

Розрахунковий напір насосного агрегату визначається як сума геометричної висоти підйому води, втрат напору по довжині водоводу, місцевих втрат та необхідного вільного напору на вході до споруд

водопідготовки. Геометрична висота підйому дорівнює глибині встановлення насоса і становить 33 м.

Для подачі води від свердловини до водоочисних споруд передбачається збірний водовід довжиною 350 м із поліетиленових труб ПЕ100 SDR17. За розрахункової витрати 19,1 л/с і рекомендованої швидкості руху води близько 1,2 м/с попередній розрахунок показав необхідність застосування трубопроводу внутрішнім діаметром близько 142 мм. За сортаментом приймається труба ПЕ100 SDR17 зовнішнім діаметром 160 мм. Перевірка показала, що фактична швидкість руху води в прийнятому трубопроводі становить 1,22 м/с, що відповідає рекомендованому діапазону економічних швидкостей і забезпечує ефективну роботу водоводу.

Лінійні втрати напору у водоводі при гідравлічному нахилі 7‰ становлять 2,45 м. Додатково враховуються місцеві втрати напору в засувках, зворотному клапані та фасонних елементах, які приймаються на рівні 15 % від лінійних втрат і дорівнюють 0,37 м. Необхідний вільний напір на вводі до споруд водопідготовки приймається рівним 2,0 м.

У результаті сумарний необхідний напір насосного агрегату становить 37,8 м. З урахуванням експлуатаційного запасу, можливого замулення фільтра свердловини та поступового збільшення гідравлічного опору трубопроводів у процесі експлуатації, розрахунковий напір приймається рівним 40 м.

Для забезпечення споживачів населеного пункту водою з Бучацького водоносного горизонту прийнято сучасні занурювальні багатоступінчасті відцентрові насоси серії Grundfos SP [4], які відповідають вимогам надійності, корозійної стійкості та енергоефективності.

За розрахунковими параметрами $Q = 68,75 \text{ м}^3/\text{год}$ та $H = 40 \text{ м}$ прийнято насосний агрегат марки **Grundfos SP 77-4** з наступними технічними характеристиками [4]:

- ✓ номінальна подача $Q_{\text{ном}} = 77 \text{ м}^3/\text{год}$ (21,4 л/с);
- ✓ напір у робочій точці при $Q = 68,75 \text{ м}^3/\text{год}$ становить $H \approx 49\text{--}52 \text{ м}$, що з запасом перекидає розрахункову потребу 40 м (надлишковий напір дроселюється за допомогою частотного перетворювача);

- ✓ номінальна потужність електродвигуна P2 = 15 кВт;
- ✓ число робочих ступенів — 4;
- ✓ частота обертання — 2900 об/хв;
- ✓ матеріал гідравлічної частини (робочих колес, корпусу) — нержавіюча сталь AISI 304;
- ✓ занурювальний електродвигун типу MS6000, діаметр 6" (152 мм), що відповідає внутрішньому діаметру експлуатаційної колони свердловини 200 мм (8");
- ✓ максимальна температура перекачуваної рідини — до +40 °С, що відповідає природній температурі підземних вод Буцацького горизонту (+12...+14 °С) зі значним запасом;
- ✓ торцеве уплотнення вала електродвигуна — SiC/SiC, стійке до абразивних включень;
- ✓ ступінь захисту електродвигуна — IP68;
- ✓ насос комплектується вбудованим зворотним клапаном та фільтром на всмоктувальному патрубку для захисту гідравлічної частини від крупних частинок.

Для плавного регулювання подачі води та забезпечення безударного пуску і зупинки насосів, що сприяє зменшенню гідравлічних ударів у трубопроводах і зниженню навантаження на електродвигуни, кожен насосний агрегат оснащується частотним перетворювачем Grundfos CUE. Керування роботою насосів здійснюється за сигналами від датчика рівня в резервуарі чистої води або через систему автоматизованого управління насосною станцією першого підйому.

Для експлуатації водозабору передбачається встановлення п'яти насосних агрегатів Grundfos SP 77-4, з яких чотири працюють у робочих свердловинах, а один є резервним. Резервний насос розміщується у резервній свердловині та автоматично вводиться в роботу у разі виходу з ладу одного з основних агрегатів або під час проведення їх технічного обслуговування та ремонту.

Кожна водозабірنا свердловина обладнується окремим наземним павільйоном, у якому розміщуються запірно-регулювальна арматура, зворотний клапан, водолічильник, манометр, вузол підключення електроживлення занурювального насоса, а також пристрої для відбору проб води та аварійного спорожнення трубопроводу.

Для павільйону приймаються габаритні розміри в плані $3,0 \times 4,0$ м при висоті приміщення 2,8–3,0 м. Стіни виконуються з цегли або сендвіч-панелей по металевому каркасу з теплоізоляцією, що забезпечує надійний захист обладнання від впливу низьких температур. Покриття передбачається двосхилим, утепленим та захищеним гідроізоляційним шаром.

Конструкція свердловини включає обсадну колону діаметром 300–350 мм, яка ізолює нестійкі верхні відклади та запобігає проникненню поверхневих вод до експлуатаційного горизонту. Для розміщення насосного обладнання передбачається експлуатаційна колона діаметром 200 мм, що відповідає прийнятому типорозміру занурювального насоса. Оголовок свердловини виводиться над рівнем підлоги павільйону на 0,5–0,8 м і герметизується для виключення потрапляння забруднень усередину свердловини.

Для відведення атмосферних опадів навколо кожної свердловини влаштовується бетонна відмостка радіусом не менше 2 м з ухилом від оголовка. Кабельні лінії електроживлення та зв'язку прокладаються в захисних трубах нижче глибини промерзання ґрунту, на відмітці не менше 0,7 м.

Усі свердловини об'єднуються збірним водоводом із труб ПЕ100 SDR17 діаметром 160 мм, який подає воду до камери перемикання. Із камери вода надходить загальним водоводом на станцію водопідготовки. Для забезпечення надійності роботи система обладнується засувками, що дозволяють відключати окремі свердловини без припинення роботи водозабору, а також зворотними клапанами, які запобігають перетіканню води між водозабірними лініями.

Керування роботою свердловин здійснюється за допомогою автоматизованих станцій управління насосною станцією першого підйому. Система забезпечує автоматичний пуск і зупинку насосів залежно від рівня

води в резервуарі чистої води, захист обладнання від роботи «всуху», контроль робочих параметрів та передачу інформації про витрату, тиск, режими роботи й аварійні ситуації на диспетчерський пункт.

2.7 Розрахунок станції водопідготовки

За результатами оцінки якості підземної води, наведеної у вихідних даних, встановлено, що основними показниками, які не відповідають вимогам [2], є вміст загального заліза, каламутність, кольоровість та запах. Водночас показники жорсткості, концентрація нітратів і значення рН знаходяться в допустимих межах. Оскільки бактеріологічне забруднення у воді не виявлено, а залізо переважно перебуває у розчиненій двовалентній формі, для підготовки води прийнято технологічну схему (рис. 2.6), що включає аерацію, фільтрування та знезараження.

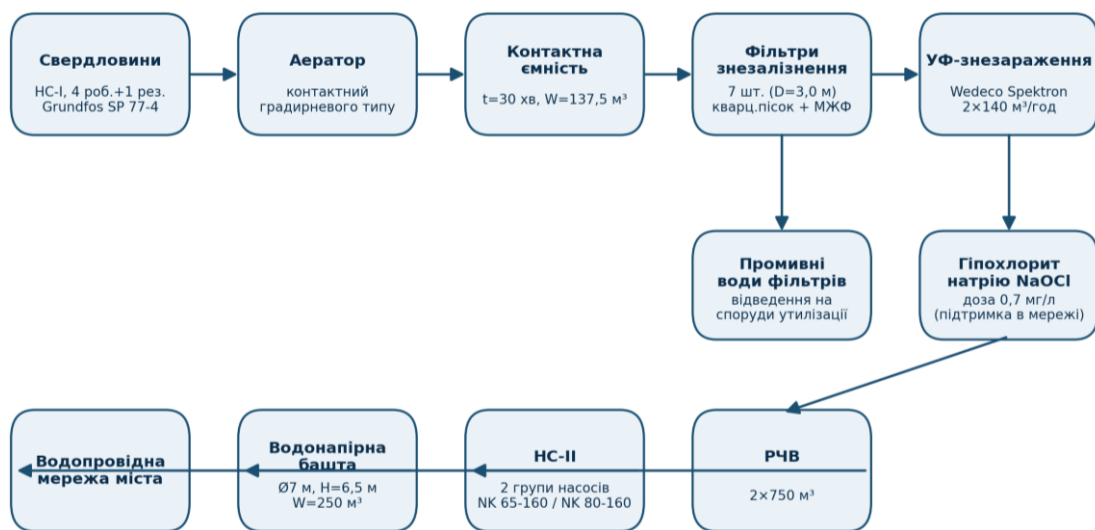


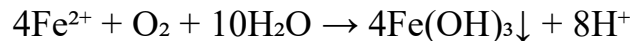
Рисунок 2.6 – Технологічна схема підготовки та транспортування води від свердловин до споживачів

На стадії аерації забезпечується окиснення розчиненого заліза Fe^{2+} до нерозчинних сполук Fe^{3+} , а також видалення розчинених газів, зокрема сірководню та надлишкової вуглекислоти. Подальша фільтрація призначена для вилучення утворених сполук заліза та завислих домішок. Для забезпечення санітарної безпеки води перед подачею споживачам передбачається

ультрафіолетове знезараження з додатковим підтриманням залишкової концентрації дезінфектанту шляхом дозування гіпохлориту натрію в мережу.

Розрахункова продуктивність станції водопідготовки приймається рівною продуктивності насосної станції першого підйому, тобто 275 м³/год або 76,4 л/с.

Метою аерації є насичення підземної води киснем повітря для окислення розчиненого двовалентного заліза за реакцією:



Видалення вільної вуглекислоти й сірководню, що сприяє підвищенню рН води та полегшує подальше осадження гідроксиду заліза на фільтрах. Враховуючи відносно невисоку концентрацію заліза ($\text{Fe}^{2+} = 3,2$ мг/л) та необхідність видалення розчинених газів, прийнято спрощену аерацію контактного типу з насадкою із полімерних кільцевих елементів, що забезпечує розвинену поверхню контакту води з повітрям без застосування компресорного обладнання.

Питома гідравлічна продуктивність контактного градирневого аератора приймається $q_{\text{пит}} = 60$ м³/(м²·год). Необхідна площа аератора:

$$F_{\text{аер}} = \frac{Q_{\text{ВОС}}}{q_{\text{пит}}} = \frac{275}{60} \approx 4,58 \text{ м}^2$$

Аераційний вузол компонується з двох робочих секцій (для забезпечення можливості огляду й ремонту однієї секції без зупинки процесу водопідготовки), площею по 2,29 м² кожна. Приймаємо розміри однієї секції в плані 1,5 × 1,5 м, висота аераційної колони з насадкою — 2,5 м.

Питома витрата повітря, що проходить через аератор у протитечії з водою (за рахунок природної тяги, без примусового дуття), приймається 4 м³ повітря на 1 м³ води:

$$Q_{\text{нов}} = 4 \cdot Q_{\text{ВОС}} = 4 \cdot 275 = 1100 \text{ м}^3/\text{год}$$

Після аерації вода надходить у контактну ємність (камеру реакції), де відбувається завершення процесу окислення заліза та формування пластівців

гідроксиду заліза, придатних до затримання на фільтрах. Тривалість контакту приймається $t_{\text{конт}} = 30$ хв, звідки об'єм контактної ємності:

$$W_{\text{конт}} = \frac{t \cdot Q_{\text{ВОС}}}{60} = \frac{30 \cdot 275}{60} = 137,5 \text{ м}^3$$

Контактна ємність проектується у вигляді прямокутного залізобетонного резервуара з робочою глибиною 3,0 м. Виходячи з розрахункового об'єму 137,5 м³, необхідна площа споруди становить близько 46 м². Для подальшого проектування приймаються розміри ємності в плані 7,0 × 6,6 м.

Для вилучення пластівців гідроксиду заліза, що утворюються під час аерації та контактного окиснення, а також для затримання завислих домішок, передбачаються швидкі фільтри знезалізнення з напірним режимом роботи. Як фільтруюче завантаження використовується комбінація кварцового піску та каталітичного матеріалу типу МЖФ, який сприяє інтенсифікації процесів окиснення залишкового двовалентного заліза безпосередньо у фільтрувальному шарі.

З урахуванням вихідної концентрації заліза розрахункова швидкість фільтрування приймається на рівні 7,0 м/год. Відповідно до заданої продуктивності станції необхідна сумарна площа фільтрування становить:

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\text{ВОС}}}{v} = \frac{275}{7} \approx 39,29 \text{ м}^2$$

Прийнято стандартний типорозмір вертикального напірного фільтра діаметром $D = 3,0$ м (площа одного фільтра складає 7,07 м²). Необхідна кількість робочих фільтрів становить 6 штук. З урахуванням необхідності виведення одного фільтра в регламентну промивку без зниження загальної продуктивності станції приймається один резервний фільтр. Таким чином, загальна кількість фільтрів – 7.

При роботі шести фільтрів фактична швидкість фільтрування становить 6,48 м/год, що є меншою за прийняту розрахункову швидкість і забезпечує ефективне вилучення сполук заліза та завислих речовин.

Для перевірки надійності роботи фільтрувальної станції розглянуто форсований режим, коли один із фільтрів перебуває на промиванні, а решта п'ять залишаються в роботі. У цьому випадку швидкість фільтрування зростає до 7,78 м/год. Отримане значення не перевищує допустиму форсовану швидкість, яка становить 9,1 м/год, тому прийнята кількість і площа фільтрів забезпечують нормативний режим експлуатації як у штатних умовах, так і під час виведення окремих фільтрів на промивання або ремонт.

Конструкція фільтра включає шар фільтруючого завантаження заввишки 1,2 м, сформований із кварцового піску фракцією 0,8–1,8 мм та каталітичного матеріалу для інтенсифікації процесу знезалізнення. Над завантаженням передбачається шар води висотою 0,5 м, а в нижній частині розташовується дренажно-розподільна система заввишки 0,4 м. Для забезпечення розширення фільтруючого шару під час зворотного промивання додатково передбачається вільний простір висотою 0,5 м. Загальна будівельна висота корпусу фільтра становить 2,6 м.

Відновлення фільтруючої здатності завантаження здійснюється шляхом зворотного промивання очищеною водою. Інтенсивність промивки приймається 14 л/(с·м²), а її тривалість — 6 хвилин. За таких умов витрата води на промивання одного фільтра становить 35,6 м³.

Максимальна витрата промивної води для одного фільтра дорівнює 99 л/с (356,3 м³/год), що враховується при підборі насосного обладнання та розрахунку трубопроводів системи промивки. Відпрацьовані промивні води надходять до резервуара-усереднювача, де відбувається осадження сполук заліза, після чого освітлена вода відводиться на подальшу обробку, а осад підлягає видаленню та утилізації.

Хоча підземні води Бучацького водоносного горизонту характеризуються високим ступенем природного захисту від мікробіологічного забруднення, для забезпечення санітарної надійності водопостачання на станції передбачається стадія знезараження води. З метою виключення утворення побічних продуктів хлорування та збереження природних органолептичних властивостей води як основний метод обробки прийнято ультрафіолетове знезараження.

Розрахункова доза ультрафіолетового опромінення приймається на рівні 30 мДж/см², що перевищує мінімально необхідні нормативні вимоги та забезпечує резерв на поступове зниження ефективності ламп і забруднення кварцових чохлах у процесі експлуатації [5].

Для реалізації процесу знезараження передбачається встановлення модульних УФ-реакторів закритого типу серії Wedeco Spektron [6]. Обладнання оснащується амальгамними лампами низького тиску та електронними пускорегулювальними пристроями, що забезпечують стабільну інтенсивність випромінювання та високу енергоефективність. Реактори виготовляються з корозійностійкої нержавіючої сталі та обладнуються системами автоматичного контролю інтенсивності УФ-випромінювання й очищення кварцових чохлах.

Продуктивність однієї установки становить до 140–150 м³/год при забезпеченні розрахункової дози опромінення та нормативної прозорості води. Ефективність знезараження досягає не менше 99,99 % щодо бактерій, вірусів і найпростіших мікроорганізмів.

Приймаємо дві УФ-установки (1 робоча + 1 резервна, включені паралельно по трубопроводу з можливістю переключення), кожна продуктивністю до 140 м³/год, що з запасом перекриває розрахункову витрату станції 275 м³/год при роботі обох установок одночасно або повну витрату при виведенні однієї з них у резерв на час технічного обслуговування.

Для забезпечення санітарної надійності системи водопостачання та підтримання необхідної концентрації залишкового дезінфектанта у водопровідній мережі після стадії ультрафіолетового знезараження передбачається дозування розчину гіпохлориту натрію. Введення реагенту здійснюється перед подачею води до резервуарів чистої води, що дозволяє запобігти вторинному мікробіологічному забрудненню під час транспортування води до споживачів.

Розрахункова доза за активним хлором приймається на рівні 0,7 мг/л, що забезпечує підтримання залишкової концентрації хлору в мережі в межах нормативних значень. Для знезараження використовується товарний розчин гіпохлориту натрію з концентрацією активного хлору 150 г/л. За

продуктивності станції 275 м³/год необхідна витрата реагенту становить близько 1,3 л/год, або 30,8 л на добу.

З метою забезпечення безперервної роботи станції передбачається створення 15-добового запасу реагенту загальним об'ємом близько 460 л. Для його зберігання встановлюються дві поліетиленові ємності місткістю по 250 л, обладнані системою дозування та контролю рівня.

Подача реагенту здійснюється насосами-дозаторами з автоматичним регулюванням продуктивності залежно від фактичної витрати води, яка контролюється електромагнітним витратоміром. Приміщення реагентного господарства обладнується піддоном для локалізації можливих розливів, аварійним душем та примусовою вентиляцією, що забезпечує безпечні умови експлуатації та зберігання хлорвмісних реагентів.

Очищена та знезаражена вода накопичується в резервуарі чистої води (РЧВ), що виконує функції регулювання нерівномірності подачі та споживання води протягом доби, зберігання протипожежного запасу, а також компенсації витрат на власні потреби станції водопідготовки (промивку фільтрів).

Регулюючий об'єм РЧВ при відсутності детального погодинного графіка роботи НС-І (станція працює рівномірно протягом доби) приймається в розмірі 18 % від максимальної добової витрати населеного пункту:

$$W_{рег} = 0,18 \times Q_{доб} = 0,18 \times 5997 = 1080 \text{ м}^3$$

За розрахунками протипожежний запас складає 324 м³.

Запас на власні потреби станції водопідготовки (об'єм для двох послідовних промивок фільтрів):

$$W_{власн.пот} = 2 \times 35,6 = 71,2 \text{ м}^3$$

Таким чином, загальний розрахунковий об'єм резервуара чистої води склав приблизно 1500 м³. Відповідно до нормативних вимог щодо забезпечення безперервної подачі води під час проведення профілактичних робіт і очищення резервуарів, на станції передбачаються два резервуари чистої води місткістю по 750 м³ кожний. Таке рішення дозволяє виводити один резервуар з експлуатації

без порушення роботи системи водопостачання. Резервуари проєктуються із монолітного або збірного залізобетону та мають прямокутну форму в плані. При робочій глибині води 4,8 м необхідна площа одного резервуара становить 156,2 м², що відповідає прийнятим розмірам 12,0 × 13,0 м.

Для забезпечення надійної та безпечної експлуатації резервуари оснащуються переливними та спускними трубопроводами, оглядовими люками з металевими сходами, вентиляційними пристроями із захисними сітками та фільтрами очищення повітря, а також вузлами для відбору проб води з метою контролю її якості.

2.8 Розрахунок насосної станції другого підйому

Необхідний напір насосної станції другого підйому визначається з урахуванням геометричної висоти підйому води, втрат напору у водоводі та мінімального вільного напору на вході до водонапірної башти. Геометрична складова напору приймається як різниця між мінімальним рівнем води в резервуарі чистої води та розрахунковим рівнем води у водонапірній башті. З урахуванням рельєфу місцевості та висоти башти геодезична різниця відміток становить 22,0 м.

Подача води від насосної станції до водонапірної башти здійснюється напірним водоводом довжиною 250 м із поліетиленових труб ПЕ100 SDR17. Для пропуску максимальної розрахункової витрати 126,6 л/с прийнято трубопровід зовнішнім діаметром 355 мм та внутрішнім діаметром 312 мм. При цьому швидкість руху води становить 1,65 м/с, що відповідає рекомендованим значенням для магістральних водоводів і забезпечує економічний режим роботи системи.

Лінійні втрати напору у водоводі за прийнятого гідравлічного нахилу складають 1,25 м. Додатково враховуються місцеві втрати напору в арматурі та фасонних частинах трубопроводу, які приймаються на рівні 10 % від лінійних і становлять 0,12 м. Для нормальної роботи системи на вході до бака водонапірної башти передбачається вільний напір 2,0 м.

У результаті розрахунковий напір насосів насосної станції другого підйому становить 25,4 м. Для підбору насосного обладнання та забезпечення необхідного експлуатаційного резерву приймається розрахунковий напір $H = 26$ м.

Для оснащення насосної станції другого підйому прийнято сучасні горизонтальні консольні відцентрові насоси серії Grundfos NK [7], які відповідають класу EN 733 та широко застосовуються в системах господарсько-питного водопостачання населених пунктів для підвищення тиску й транспортування питної води.

Група 1:

За розрахунковими параметрами $Q_1 = 151,9$ м³/год (на 2 робочих агрегати — по 76 м³/год кожен) та $H = 26$ м прийнято насосний агрегат марки Grundfos NK 65-160/173.

Технічні характеристики насоса Grundfos NK 65-160/173:

- номінальна подача $Q_{\text{ном}} = 70$ м³/год;
- номінальний напір $H_{\text{ном}} = 33$ м (при дроселюванні засувкою на напірному патрубку забезпечується робоча точка, що відповідає розрахунковій потребі в 26 м при $Q \approx 75\text{--}80$ м³/год);
- номінальна потужність електродвигуна $P_2 = 15$ кВт;
- частота обертання — 2900 об/хв;
- корпус насоса — чавун з захисним покриттям, робоче колесо — чавун із захисним покриттям;
- торцеве уплотнення вала — за стандартом DIN EN 12756;
- фланцеве з'єднання — PN 16 відповідно до EN 1092-2;
- клас енергоефективності електродвигуна — ІЕ3;
- ступінь захисту електродвигуна — ІР55.

Кількість агрегатів групи 1: 2 робочих + 1 резервний.

Група 2:

За розрахунковими параметрами $Q_2 = 303,9$ м³/год (на 2 робочих агрегати — по 152 м³/год кожен) та $H = 26$ м прийнято насосний агрегат марки Grundfos NK 80-160/151.

Технічні характеристики насоса Grundfos NK 80-160/151:

- номінальна подача $Q_{\text{ном}} = 181,5 \text{ м}^3/\text{год}$;
- номінальний напір $H_{\text{ном}} = 21,7 \text{ м}$ (робоча точка при витраті 150–160 $\text{м}^3/\text{год}$ зміщується по характеристичній кривій насоса в зону напору 26–28 м, що відповідає розрахунковим вимогам мережі);
- номінальна потужність електродвигуна $P_2 = 22 \text{ кВт}$;
- частота обертання — 2900 об/хв;
- корпус насоса — чавун ASTM A48-40B з захисним покриттям;
- робоче колесо — чавун ASTM A48-30B;
- фланцеве з'єднання — PN 16 за EN 1092-2;
- маса насосного агрегату — близько 260 кг.

Кількість агрегатів групи 2: 2 робочих + 1 резервний.

Насосна станція другого підйому комплектується шістьма насосними агрегатами, з яких чотири є робочими, а два — резервними. Насоси розподіляються між двома групами: у кожній групі передбачено по два робочих і одному резервному агрегату, що забезпечує виконання вимог [3] для систем водопостачання I категорії надійності.

Робота насосної станції автоматизована та здійснюється залежно від рівня води у водонапірній башті й фактичної витрати води в мережі. За умов збільшення водоспоживання та зниження рівня води нижче встановленого значення система керування автоматично підключає додаткову групу насосів. У періоди мінімального водоспоживання, зокрема в нічний час, подача води забезпечується лише насосами першої групи, тоді як друга група виводиться з роботи.

Для підтримання необхідних режимів подачі води, зменшення пускових навантажень на електрообладнання та запобігання виникненню гідравлічних ударів усі насосні агрегати оснащуються частотними перетворювачами, які забезпечують плавний пуск, зупинку та регулювання продуктивності насосів залежно від потреб системи.

До складу обладнання насосної станції другого підйому входять насосні агрегати першої та другої груп, розміщені на окремих залізобетонних

фундаментах із віброізоляційними елементами, що забезпечують зниження динамічних навантажень на конструкції будівлі. Загалом на станції встановлюється шість насосів: чотири робочі та два резервні.

Подача води до насосів здійснюється через загальний всмоктувальний колектор, з'єднаний із резервуарами чистої води. Для можливості відключення окремих агрегатів на трубопроводах передбачено запірну арматуру. Після насосів вода надходить до загального напірного колектора, обладнаного електромагнітним витратоміром, манометрами та зворотними клапанами на кожній насосній лінії.

Керування роботою станції здійснюється автоматизованою системою, до складу якої входять шафи управління, частотні перетворювачі та програмований контролер із передачею інформації на диспетчерський пункт. Для видалення води з підлоги машинного залу передбачається дренажний насос, а для виконання монтажних і ремонтних робіт насосне обладнання обслуговується за допомогою кран-балки відповідної вантажопідйомності.

Будівля НС-II розташовується безпосередньо біля резервуарів чистої води для скорочення довжини всмоктувальних трубопроводів та виконується одноповерховою, із машинним залом та приміщенням електрощитової.

Прийняті конструктивні розміри:

- розміри машинного залу в плані — $12,0 \times 9,0$ м;
- висота машинного залу (до низу несучих конструкцій) — 4,2 м, що забезпечує можливість використання кран-балки вантажопідйомністю 2,0 т;
- приміщення електрощитової та станції керування — $6,0 \times 4,0$ м, відокремлене протипожежною перегородкою від машинного залу;
- підлога машинного залу — з ухилом 0,01 до дренажного приямка для збору води.

3 ЗАХИСТ ТРУБОПРОВІДІВ ТА СПОРУД ВІД КОРОЗІЇ

3.1 Загальні положення. Класифікація корозії у системах водопостачання

Корозія металевих трубопроводів і споруд є одним із найбільш руйнівних і економічно збиткових процесів, що відбуваються в системах комунального водопостачання. Згідно з [8], корозія — це фізико-хімічна або хімічна взаємодія між металом і середовищем, що призводить до погіршення функціональних характеристик металу, середовища або технічної системи, до якої вони входять.

Відповідно до [9], у системах питного водопостачання розрізняють два основних типи корозії металевих конструкцій: зовнішню та внутрішню. Зовнішня корозія виникає на поверхні трубопроводів і споруд, що контактують із ґрунтом, підземними водами, атмосферним повітрям або блукаючими струмами. Внутрішня корозія розвивається на внутрішній поверхні трубопроводів і обладнання під дією транспортованої води.

За механізмом перебігу розрізняють хімічну корозію (у середовищі, що не проводить електричного струму) та електрохімічну корозію (у водних розчинах електролітів або у ґрунті). Для підземних металевих водопроводів переважає електрохімічна корозія, яка поділяється на ґрунтову, мікробіологічну та електрокорозію від блукаючих струмів [10].

У проєктованій системі водопостачання населеного пункту Полтавської області передбачаються такі основні об'єкти, що потребують антикорозійного захисту: водозабірні свердловини та занурені насосні агрегати першого підйому (НС-I); напірні водоводи від свердловин до водоочисної станції; обладнання водоочисної станції (ВОС); насосна станція другого підйому (НС-II); розподільна водопровідна мережа населеного пункту. Заходи щодо захисту від корозії розробляються відповідно до вимог [11].

3.2 Оцінка корозійної агресивності ґрунтів та підземних вод

Визначення корозійної агресивності ґрунтів є обов'язковим етапом проєктування антикорозійного захисту підземних металевих споруд. Відповідно до [10], корозійна активність ґрунту оцінюється за питомим

електричним опором ґрунту та швидкістю корозії металу в даному ґрунті. За питомим опором розрізняють чотири ступені агресивності.

Таблиця 3.1 — Класифікація основних видів корозії в системі водопостачання [8,9]

Вид корозії	Механізм	Об'єкти ураження	Інтенсивність
Ґрунтова електрохімічна	Різниця потенціалів у ґрунтовому електроліті	Підземні трубопроводи, оболонки свердловин	Середня–висока
Корозія від блукаючих струмів	Аодне розчинення металу під дією стороннього постійного струму	Ділянки поблизу залізниці, трамваю	Висока
Мікробіологічна	Дія сульфатредуючих бактерій	Підземні труби у заболочених ґрунтах	Середня
Внутрішня (питна вода)	Агресивне середовище: залізо, кисень, CO ₂ , pH < 7	Труби, насоси, арматура, фільтри	Низька–середня
Атмосферна	Конденсат, кисень, вологе середовище	Наземне обладнання НС-Ц, ВОС	Низька–середня

Ґрунти Полтавської області представлені переважно чорноземами типовими та лучними на лесоподібних суглинках. Питомий електричний опір таких ґрунтів, за даними натурних вимірювань для Лівобережного Лісостепу, становить від 20 до 60 Ом·м. Відповідно до [10], при $\rho = 20\text{--}30$ Ом·м ґрунт характеризується підвищеною корозійною активністю, при $\rho > 30$ Ом·м — середньою. Таким чином, ґрунти в районі проектування відносяться до середньо- та підвищено-корозійно-активних, що потребує комплексного пасивного та активного захисту підземних металевих конструкцій.

Додатково слід оцінити корозійну агресивність підземних вод Бучацького горизонту щодо металевих конструкцій свердловин та занурених насосів. Підземна вода характеризується значенням pH = 6,9 (слабокисле

середовище), вмістом агресивного двовалентного заліза $Fe^{2+} = 3,2$ мг/л та розчиненого CO_2 . Слабокисле середовище разом із розчиненим залізом та вугільною кислотою зумовлює підвищену корозійну агресивність підземної води щодо незахищених сталевих поверхонь. Відповідно до [9], швидкість внутрішньої корозії сталевих трубопроводів при $pH < 7$ та вмісті Fe^{2+} понад 1 мг/л є неприйнятною без застосування захисних заходів.

Небезпека мікробіологічної корозії в умовах проєктованої ділянки є відносно помірною: заболочені й торфові ґрунти, що є середовищем сульфатредуючих бактерій, у регіоні не переважають. Проте мікробіологічна корозія може розвиватися в донних відкладах свердловин при тривалій експлуатації, що потребує профілактичного прокачування та знезараження.

3.3 Захист від корозії свердловин та насосної станції першого підйому

Насосна станція першого підйому (НС-І) є водозабірним вузлом, де встановлюються занурені відцентрові насоси у свердловинах Бучацького водоносного горизонту. Заглиблення насосних агрегатів сягає 80 м від поверхні землі, що визначає специфічні умови корозійного впливу та ускладнює проведення технічного обслуговування. Вибір конструктивних матеріалів і методів захисту від корозії для НС-І є особливо відповідальним завданням, оскільки заміна обладнання у свердловині є трудомісткою та дорогою операцією [10, 12].

До основних корозійних ризиків для обладнання НС-І слід віднести такі чинники [9, 10]:

1) внутрішня корозія корпусу насоса та колонних труб під дією підземних вод з $pH = 6,9$ і вмістом $Fe^{2+} = 3,2$ мг/л. Агресивний вплив посилюється наявністю розчиненого CO_2 , що знижує pH до 6,5–6,8 у зоні контакту. Така корозія призводить до утворення іржавих відкладень, зменшення прохідного перерізу та поступового руйнування стінок насоса.

2) зовнішня електрохімічна корозія колонних труб, обсадних і фільтрових колон свердловини. Взаємодія між металом різних марок сталі (захисна колона,

насосний агрегат, трубопровід) у водному середовищі підземного горизонту утворює гальванічні пари, що прискорюють корозію менш шляхетного металу.

3) ерозійна корозія (корозійно-механічне зношення) на робочих поверхнях крильчаток і дифузорів насоса внаслідок абразивного впливу частинок піску та зерен кварцу, що містяться у підземній воді.

4) Корозія кабелю живлення занурного насоса: підземні води зволожують ізоляцію кабелю, а іони заліза та кальцію сприяють деградації кабельних оболонок при тривалій експлуатації.

5) Відкладення кальцієвих і залізо-марганцевих утворень на робочих органах насоса, які, посилюючись при підйомі рН, створюють нерівномірне покриття та осередки підщільнинної корозії.

Основним методом захисту занурного обладнання від корозії є правильний вибір корозійностійких матеріалів конструкції. Відповідно до вимог [3] та рекомендацій провідних виробників занурного насосного обладнання, для водозабірних свердловин при рН < 7,0 і вмісті заліза понад 1 мг/л рекомендуються такі конструктивні рішення:

1. Корпус та робоче колесо занурного насоса виготовляються з нержавіючої сталі марки AISI 304 або AISI 316 (згідно з ISO 3506). Нержавіюча сталь 316 (легована молібденом) є переважною для умов підвищеної агресивності підземних вод. Застосування чавунних корпусів при виявленому складі води є недопустимим через інтенсивну корозію.

2. Кабель живлення занурного насоса має бути виконаний у водостійкій оболонці типу ПВП (поліетилен підвищеної щільності) або EPDM-гумі, що забезпечує стійкість до тривалого контакту із залізистою підземною водою при температурі 12-14 °С.

3. Колонна труба (водопідіймальна) для виконується з безшовних сталевих труб з внутрішнім захисним покриттям на основі харчового епоксидного лаку або з полімерних труб ПВХ/ПЕ, що не вступають у реакцію із підземною водою та не вимагають антикорозійного захисту.

4. Для обсадних і фільтрових колон свердловин застосовуються труби з нержавіючої перфорованої сталі або ПВХ-конструкції за TDL-стандартом — залежно від геологічних умов водоносного горизонту.

5. З'єднання труб та арматури у зоні підземного розташування виконуються із застосуванням ізолюючих муфт або фланців, що унеможливають утворення електrolітичних гальванічних пар між різнорідними металами [10].

Антикорозійний захист зовнішньої поверхні обсадних колон і підземних трубопроводів від НС-I здійснюється комплексом пасивного та активного захисту відповідно до [11].

Пасивний захист (ізоляційні покриття) є первинним методом. Для підземних сталевих трубопроводів від свердловин до приміщення водоочисної станції передбачається нанесення захисного покриття підвищеного типу, яке включає: праймер (грунтувальний шар) на бітумно-полімерній або епоксидній основі; основний шар — стрічкове покриття з поліетиленових або полімерно-бітумних стрічок типу «Поліміра», «Терма» або аналогічних шириною ≥ 450 мм з перекриттям 55–60 %; зовнішній захисний шар з поліетиленових або поліпропіленових стрічок. Загальна товщина покриття — не менше 1,8 мм. При укладанні трубопроводу в ґрунтах з питомим опором $\rho < 20$ Ом·м товщина покриття збільшується до 3,0 мм (покриття посиленого типу) [11].

Активний захист (електрохімічний) є доповнювальним до пасивного і застосовується в зонах підвищеної корозійної активності ґрунту. Відповідно до [11, 12], для підземних водопровідних труб передбачається протекторний захист — встановлення анодних протекторів (магнієвих або цинкових) вздовж траси трубопроводу. Магнієві протектори типу ПМА-10 або ПМА-20 встановлюються з кроком 30–50 м залежно від корозійної агресивності ґрунту та розрахункового захисного потенціалу трубопроводу (не вище $-0,85$ В щодо мідносульфатного електрода порівняння за [11]).

Контроль ефективності електрохімічного захисту здійснюється шляхом вимірювання потенціалу труба–ґрунт не рідше двох разів на рік у контрольно-

вимірювальних пунктах (КВП), що встановлюються з кроком 300–500 м вздовж траси підземного трубопроводу. Результати вимірювань фіксуються в журналі електрохімічного захисту та аналізуються службою технічної експлуатації [12].

3.4 Захист від корозії насосної станції другого підйому (НС-II)

Насосна станція другого підйому (НС-II) розміщується безпосередньо біля межі населеного пункту і є наземною спорудою у вигляді будівлі зі встановленими всередині горизонтальними або вертикальними відцентровими насосними агрегатами. НС-II забезпечує подачу очищеної підготовленої води від водоочисної станції у водопровідну мережу населеного пункту. Специфіка НС-II як об'єкта антикорозійного захисту полягає в тому, що тут одночасно присутні підземні (підведення комунікацій, фундаменти, підземна прокладка трубопроводів) і наземні (трубопроводи, обладнання, металеві конструкції будівлі) елементи [3].

Для насосної станції другого підйому характерні такі специфічні корозійні ризики [3, 9,11]:

1. Внутрішня корозія трубопроводів і насосів під дією підготовленої питної води. Незважаючи на те, що вода після водоочисної станції відповідає нормам [2], залишкова агресивність (слабокислий рН після знезалізнення, вміст розчиненого кисню) зумовлює потенційну корозійну дію на сталеві поверхні.

2. Корозія від блукаючих струмів. НС-II розташована в межах населеного пункту, де можливий вплив блукаючих постійних і змінних струмів від систем заземлення, електрозварювальних установок, підстанцій, що зумовлює ризик інтенсивної електрокорозії підземних комунікацій.

3. Атмосферна корозія наземного обладнання. Металеві трубопроводи, вузли арматури та металоконструкції всередині машинного залу НС-II піддаються впливу вологого повітря, конденсату та бризок води в умовах підвищеної відносної вологості (70–95 %).

4. Корозія підземних частин фундаментів і закладних деталей від ґрунтових вод та ґрунтової вологи в умовах прискореного стікання вологи в зоні будівлі.

5. Мікробіологічна корозія в зоні застійних вод або в резервуарах-накопичувачах при тривалій стоянці очищеної води з низьким вмістом залишкового дезінфектанту.

Всі металеві трубопроводи всередині приміщення НС-II, що транспортують питну воду, виконуються з нержавіючої сталі (AISI 304/316) або з чавунних труб з внутрішнім цементно-піщаним покриттям (ЦПП) чи внутрішнім епоксидним покриттям. Застосування ЦПП є традиційним і добре відпрацьованим методом внутрішнього антикорозійного захисту для водопровідних трубопроводів і відповідає вимогам [10]. Товщина шару ЦПП повинна становити не менше 6–10 мм для труб діаметром до 300 мм.

Насосні агрегати НС-II виконуються з чавунними корпусами з внутрішнім захисним покриттям або зі сталевими корпусами з нержавіючими робочими колесами та дифузорами. Для перекачування підготовленої питної води з рН після корекції 7,2–8,0 чавунні насоси є цілком прийнятними за умов наявності якісного внутрішнього покриття. Ущільнення насосів виконуються з матеріалів, дозволених для контакту з питною водою [3].

Наземні трубопроводи та металеві конструкції всередині приміщення НС-II (рами, опори, кронштейни) захищаються від атмосферної корозії шляхом нанесення лакофарбових покриттів. Відповідно до [13], для внутрішніх приміщень з підвищеною вологістю (клас середовища С3–С4 за ISO 12944) рекомендується наступна система покриттів: ґрунтовка — епоксидна двокомпонентна, товщина 80 мкм; проміжний шар — епоксидна фарба з антикорозійними пігментами, 100 мкм; фінішне покриття — поліуретанова або акрилова емаль, 60 мкм. Загальна товщина системи — не менше 240 мкм.

Підземні трубопроводи від НС-II до водопровідної мережі, а також підвідні та відвідні колектори водоочисної станції, прокладені у ґрунті, захищаються аналогічно до підземних трубопроводів від свердловин. Однак у межах населеного пункту слід передбачити додаткові заходи щодо захисту від блукаючих струмів. Це особливо актуально в зонах, де підземні трубопроводи

наближені до кабелів постійного струму або до систем заземлення підстанцій [9, 10].

Для захисту від блукаючих струмів передбачаються такі заходи [9]:

1. Установка дренажних пристроїв (поляризованих дренажів) для відведення постійних блукаючих струмів до джерела (рейкової мережі) або до анодного заземлення. Поляризований дренаж допускає протікання струму лише в одному напрямку, виключаючи його зворотне надходження.

2. Застосування ізолюючих фланцевих з'єднань та електроізолюючих вставок у місцях введення трубопроводу в будівлю НС-II та у вузлових точках мережі — для електричної ізоляції окремих ділянок від джерел блукаючих струмів.

3. Встановлення катодних захисних станцій (перетворювачів) типу ПАСК, КСЗУ або аналогічних, що підключаються до ділянок трубопроводу в небезпечних зонах. Захисний потенціал підтримується в діапазоні від $-0,85$ до $-1,15$ В (КНА) відповідно до нормативних вимог.

4. Організація моніторингу блукаючих струмів шляхом вимірювання різниці потенціалів труба–грунт на контрольно-вимірювальних пунктах (КВП), встановлених не рідше ніж через 200–300 м в межах населеного пункту.

3.5 Антикорозійний захист обладнання водоочисної станції (ВОС)

Водоочисна станція (ВОС) є технологічно найскладнішим об'єктом системи водопостачання з точки зору умов корозійного впливу. Тут одночасно присутні: вихідна підземна вода з підвищеним вмістом заліза ($Fe^{2+} = 3,8$ мг/л), аерована вода з переходом заліза у тривалентну форму $Fe(OH)_3$, промивна вода фільтрів, хімічні реагенти (за потребою), хлорвмісні або УФ-дезінфектанти, та готова питна вода. Різноманітність агресивних середовищ визначає різні підходи до антикорозійного захисту окремих технологічних елементів ВОС [3, 10].

Аераційний вузол призначений для окислення двовалентного заліза Fe^{2+} до тривалентного Fe^{3+} шляхом насичення підземної води киснем повітря. У зоні аерації відбувається різкий перехід від відновлювального до окислювального

середовища, що є вкрай агресивним для металевих поверхонь. Концентрація заліза у формі $\text{Fe}(\text{OH})_3$ наростає, воно осідає на металевих поверхнях, а під шарами опадів розвивається підщільна корозія [14].

Для захисту аераційного обладнання передбачаються такі заходи:

1) резервуар або камера аерації виконується з монолітного залізобетону з внутрішнім захисним хімічно стійким покриттям на основі епоксидних або поліуретанових смол, допущених для контакту з питною водою (покриття повинні мати санітарний дозвіл МОЗ України). Товщина покриття — не менше 2–3 мм.

2) форсунки, розпилювачі та стаціонарні елементи аераційного вузла виготовляються з нержавіючої сталі AISI 316 або пластику (поліпропілен, ПВХ), стійкого до довготривалого контакту із залізистою водою.

3) решітки та опорні елементи всередині аераційних камер виконуються з нержавіючої сталі або склопластику (GRP), оскільки звичайна конструкційна сталь в умовах постійного зволоження і змінного контакту із залізистими осадами кородує дуже інтенсивно.

4) система вентиляції аераційної камери передбачає витяжну вентиляцію із захистом металевих воздуховодів від корозії у вологому середовищі.

Фільтри знезалізнення є ключовим технологічним елементом станції водоочистки. Корпуси горизонтальних або вертикальних напірних фільтрів, а також безнапірні фільтрувальні резервуари піддаються одночасній дії: внутрішньої корозії від залізистої (до очищення) та відфільтрованої води; осідання гідроксиду заліза $\text{Fe}(\text{OH})_3$ на внутрішніх стінках з подальшим підщільним руйнуванням; можливого механічного впливу при промивці фільтрів зворотним потоком. Зовнішня поверхня металевих корпусів фільтрів піддається атмосферній корозії у вологому приміщенні [14, 15].

Для антикорозійного захисту фільтрів передбачається: внутрішнє покриття корпусів сталевих фільтрів — двошарове бітумно-епоксидне або поліурове покриття товщиною 400–600 мкм із санітарним дозволом на контакт з питною водою; зовнішнє покриття металевих корпусів — ґрунтовка типу ЕП-0010 та емаль ХС-759 або аналоги, загальна товщина 180–240 мкм;

конструктивні елементи всередині фільтрів (трубна розподільна система, дренажні колпачки) — нержавіюча сталь або полімер. Відповідно до [13], при проєктуванні антикорозійного захисту фільтрувального обладнання слід врахувати клас атмосферної корозійності приміщення не нижче С3.

Резервуари чистої води (РЧВ) є підземними або напівпідземними залізобетонними ємностями, в яких зберігається підготовлена питна вода. РЧВ є об'єктом з подвійним корозійним ризиком: зовнішнє корозійне середовище (грунт, підземні води) впливає на зовнішню поверхню стін і днища; внутрішнє середовище (питна вода, сконденсована волога, газова фаза з киснем) впливає на внутрішні поверхні. Для питної води основне завдання — забезпечити санітарно чисте захисне покриття, яке не змінює органолептики води [3, 14]. Заходи захисту передбачають:

1) зовнішній захист стін і днища РЧВ — гідроізоляція типу «Пенетрон» або аналогічна проникаюча гідроізоляція + бітумно-полімерне покриття зовнішніх поверхонь, не менше 3 мм товщиною (покриття посиленого типу за [11]).

2) внутрішнє захисне покриття бетонних поверхонь РЧВ — цементний розчин підвищеної щільності або спеціальна санітарно дозволена епоксидна система для резервуарів питної води. Покриття наноситься після очищення та сушіння бетону, товщина не менше 1,5–2 мм.

3) металеві люки-лази, поручні, сходи всередині РЧВ виготовляються з нержавіючої сталі або алюмінієвого сплаву; фарбування їх масляними фарбами, що містять свинцеві сурик або інші токсичні пігменти, в резервуарах питної води є категорично забороненим.

4) система вентиляції РЧВ обладнується захисними сітками та козирками для унеможливлення потрапляння опадів, птахів і комах. Кришки вентиляційних отворів виготовляються з нержавіючої сталі або оцинкованого металу.

На водоочисній станції встановлюється значна кількість запірної та регулюючої арматури: засувки, клапани, зворотні клапани, регулятори тиску, вимірювальні пристрої. Всі вони є потенційними точками корозійного

руйнування, особливо у зоні контакту металу із залізистою водою до очищення та підготовленою водою після. Відповідно до вимог [3, 11], для ділянок з агресивними середовищами рекомендується:

1) арматура, що контактує із водою до очищення (вхідна лінія): чавунна з внутрішнім епоксидним покриттям або із нержавіючої сталі. Різьбові з'єднання мають захищатися фум-стрічкою PTFE або анаеробним герметиком, стійким до залізистої води.

2) арматура на лінії підготовленої питної води: чавунна з цементно-піщаним або епоксидним покриттям; також допускається застосування бронзової та латунної арматури з урахуванням можливого вимивання свинцю (свинцевовмісна арматура у мережах питної води з 2010 р. в ЄС та нормативних документах України є неприпустимою).

3) фланцеві з'єднання виконуються зі встановленням гумових прокладок з EPDM або NBR, стійких до питної води. Болти фланцевих з'єднань у зоні підвищеної вологості мають бути оцинкованими або виготовленими з нержавіючої сталі А2.

4) контрольно-вимірювальні прилади: манометри, витратоміри, датчики тиску встановлюються в герметичних корпусах з нержавіючої сталі або полімерних матеріалів, стійких до питної води та умов вологого приміщення.

3.6 Антикоровійний захист зовнішньої водопровідної мережі населеного пункту

Зовнішня водопровідна розподільна мережа населеного пункту прокладається підземно на глибині від 1,2 до 1,5 м від поверхні землі (нижче глибини промерзання ґрунту 1,1 м). В межах населеного пункту підземні трубопроводи експлуатуються в умовах сильно неоднорідного корозійного середовища: різномірні ґрунти на різних ділянках, вплив блукаючих струмів від електротехнічних об'єктів, наявність мереж інших підземних комунікацій (газопровід, кабелі), вплив прискореної корозії в місцях перетину трасою водопроводу асфальтованих ділянок [3, 11].

Для розподільної мережі розраховано і запроєктовано трубопроводи з полімерних матеріалів (поліетилен високого тиску PE100). Полімерні труби не кородують, не вимагають активного або пасивного електрохімічного захисту, мають гладку внутрішню поверхню, що забезпечує відмінні гідравлічні характеристики. Застосування поліетиленових труб PE100 SDR17 для водопроводів [3] і є пріоритетним рішенням для системи водопостачання.

3.7 Моніторинг технічного стану антикорозійного захисту

Ефективна система антикорозійного захисту передбачає не лише виконання заходів при будівництві, але й систематичний моніторинг технічного стану протягом всього терміну експлуатації. Відповідно до вимог [9, 11], система моніторингу включає такі складові:

1) вимірювання потенціалу труба–грунт на КВП — двічі на рік (весна та осінь); при виявленні відхилень від норми — щомісячно до усунення причини.

2) вимірювання питомого електричного опору ґрунту в зонах встановлення протекторних груп — раз на 2 роки або при зміні водонасиченості ґрунту.

3) огляд та перевірка функціонування протекторних систем — раз на рік з перевіркою сили захисного струму та залишкової маси протекторів.

4) технічний огляд стану лакофарбових покриттів наземного обладнання НС-II та ВОС — щорічно; плановий ремонт покриттів — не рідше одного разу на 7 років або за результатами огляду.

5) аналіз внутрішнього корозійного стану трубопроводів — за допомогою вирізки контрольних зразків (купонів) зі стінки труби або ультразвукової дефектоскопії не рідше одного разу на 5 років.

6) контроль якості питної води щодо корозійної агресивності (рН, лужність, вміст кисню, хлоридів, сульфатів) — відповідно до програми виробничого контролю [2].

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні положення

В даному розділі розглянуто основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що можуть виникати під час будівництва та експлуатації водозабірних свердловин, насосних станцій I та II підйому, споруд водопідготовки, резервуарів чистої води та допоміжного обладнання, а також наведено заходи щодо їх усунення або мінімізації.

Особливістю запропонованої системи водопостачання на базі підземного джерела є відсутність значного реагентного господарства та використання порівняно звичайної технологічної схеми водопідготовки. Основними факторами виробничої небезпеки є експлуатація занурювальних насосних агрегатів у свердловинах значної глибини, що потребує підвищених вимог до електробезпеки та виконання вантажопідіймальних робіт, застосування гіпохлориту натрію для підтримання залишкового дезінфектанта, а також проведення робіт у резервуарах і технологічних ємностях, які належать до замкнених просторів і потребують спеціального порядку допуску персоналу.

Зазначені особливості визначають комплекс заходів з охорони праці, спрямованих на забезпечення безпечної та надійної експлуатації об'єктів системи водопостачання.

Забезпечення безпечних умов праці на об'єктах системи водопостачання здійснюється відповідно до чинного законодавства України, державних будівельних норм, галузевих правил охорони праці та стандартів безпеки. Працівники, які виконують будівельні, монтажні, ремонтні та експлуатаційні роботи, повинні проходити обов'язкові медичні огляди, навчання й перевірку знань з питань охорони праці, а також бути забезпечені необхідними засобами індивідуального та колективного захисту. Самостійне виконання робіт дозволяється лише після проходження відповідного інструктажу та перевірки рівня підготовки персоналу.

Нормативною базою для організації охорони праці на запроектованих спорудах є Закон України «Про охорону праці», державні будівельні норми з питань безпеки у будівництві, правила безпечної експлуатації

електроустановок, нормативні документи щодо виконання робіт на висоті, експлуатації обладнання під тиском, використання інструменту та механізмів, а також санітарні норми, що регламентують допустимі рівні шуму, вібрації та інші виробничі фактори. Додатково враховуються вимоги [2] до якості питної води та положення [16] щодо функціонування систем управління охороною здоров'я і безпекою праці.

Відповідальність за створення безпечних умов праці покладається на роботодавця, який зобов'язаний впровадити систему управління охороною праці, призначити відповідальних осіб, організувати контроль за дотриманням вимог безпеки, проводити внутрішні перевірки та забезпечувати фінансування заходів з охорони праці відповідно до вимог чинного законодавства.

4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Для запроєктованої системи водопостачання, до складу якої входять водозабірні свердловини, насосні станції першого та другого підйому, споруди водопідготовки, резервуари чистої води та допоміжні інженерні об'єкти, проведено аналіз потенційних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що можуть виникати під час будівництва, технічного обслуговування та експлуатації обладнання.

Основними джерелами виробничих ризиків є шум і вібрація, що створюються насосними агрегатами та допоміжним обладнанням; можливість ураження електричним струмом під час роботи з електроустановками, силовими кабелями та системами автоматизації; вплив хімічних речовин під час зберігання й дозування гіпохлориту натрію; а також ультрафіолетове випромінювання від установок знезараження води.

Додаткову небезпеку становлять роботи поблизу відкритих технологічних споруд і ємностей, де існує ризик падіння персоналу у воду, а також виконання робіт у замкнених просторах, таких як резервуари, камери та колодязі, де можливе зниження концентрації кисню або накопичення шкідливих газів.

Під час монтажу, демонтажу та ремонту занурювальних насосів виникають ризики, пов'язані з виконанням вантажопідіймальних операцій. На

етапі будівництва додатковими небезпечними факторами є проведення земляних, бурових і монтажних робіт у складних погодних умовах. Важливе значення мають також психофізіологічні навантаження на оперативний персонал і диспетчерів, діяльність яких пов'язана з контролем безперебійної та безпечної роботи системи водопостачання.

В табл. 4.1 наведено реєстр небезпечних і шкідливих виробничих факторів, визначених для об'єкта, із класифікацією за ступенем небезпеки.

Таблиця 4.1 - Реєстр небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Фактор небезпеки	Клас небезпеки / нормативний рівень	Характер впливу на організм
Виробничий шум (насосні агрегати НС-I, НС-II)	Клас 3.1 — до 80 дБА	Зниження слуху, нервово-емоційне виснаження
Електробезпека (занурені насоси, ЧП, кабельні трасі)	ПБЕЕС, напруга 0,4 кВ	Електротравма, зупинка серця, опіки
Гіпохлорит натрію (реагентне господарство)	ГДК активного хлору — 0,03 мг/м ³	Хімічні опіки, подразнення дихальних шляхів
УФ-випромінювання (УФ-знезаражувачі)	Довжина хвилі 254 нм	Фотокератит, еритема шкіри
Падіння, утоплення (РЧВ, контактна ємність)	Категорія робіт на висоті — II	Травми, утоплення
Замкнені простори (резервуари, колодязі)	Вміст O ₂ < 20 % об.	Кисневе голодування, асфіксія
Вантажопідіймальні роботи (монтаж насосів)	Глибина підйому до 140 м	Травми при падінні вантажу

Аналіз виявлених виробничих ризиків показує, що найбільшу небезпеку для персоналу становлять роботи, пов'язані з експлуатацією електрообладнання, зокрема занурювальних насосних агрегатів, розташованих на значній глибині, та протяжних кабельних мереж. До факторів підвищеного ризику також належать роботи з обслуговування резервуарів, колодязів і інших

водопровідних споруд, де існує ймовірність падіння працівників або потрапляння у воду.

Хімічний фактор небезпеки для даного об'єкта є відносно незначним порівняно зі станціями водопідготовки поверхневих вод. Це пояснюється відсутністю коагулянтів і флокулянтів у технологічному процесі та використанням для знезараження лише обмежених обсягів розчину гіпохлориту натрію замість високонебезпечного газоподібного хлору.

4.3 Безпека експлуатації свердловин і насосної станції першого підйому

Експлуатація водозабірних свердловин, обладнаних занурювальними насосами Grundfos SP 77-4, встановленими на глибині 33 м при загальній глибині свердловин 115 м, вимагає дотримання підвищених вимог охорони праці та виробничої безпеки.

Особлива увага приділяється електробезпеці. Кожна свердловина оснащується окремою шафою керування з автоматичним захистом, пристроєм захисного відключення та контуром заземлення нормативного опору. Перед виконанням ремонтних або профілактичних робіт електрообладнання обов'язково відключається від мережі, вивішуються попереджувальні знаки, а відсутність напруги перевіряється спеціальними приладами. Після ремонту або заміни насосного обладнання здійснюється контроль стану ізоляції силового кабелю.

Монтаж і демонтаж насосних агрегатів належать до вантажопідіймальних робіт підвищеної небезпеки та виконуються спеціально підготовленою бригадою із застосуванням підіймальних механізмів відповідної вантажопідйомності. Перед початком робіт проводиться огляд насосного обладнання, підвісних труб і з'єднань. Підймання та опускання обладнання здійснюються плавно, без ривків, із суворим дотриманням технологічної послідовності. Під час виконання операцій стороннім особам забороняється перебувати в межах небезпечної зони.

4.4 Безпека експлуатації станції водопідготовки

Зберігання та приготування робочого розчину гіпохлориту натрію здійснюється в окремому приміщенні реагентного господарства, ізольованому від основних виробничих приміщень. Для забезпечення безпечних умов праці приміщення обладнується системою примусової вентиляції, що забезпечує необхідний повітрообмін і видалення можливих випарів, аварійним душем та умивальником для оперативного промивання шкіри й очей у разі контакту з реагентом, а також піддонами для локалізації можливих розливів.

Працівники, які виконують роботи з реагентом, повинні використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема захисні окуляри, хімічно стійкі рукавиці та спеціальний захисний одяг. Засоби захисту зберігаються безпосередньо біля входу до приміщення та застосовуються під час усіх операцій, пов'язаних із транспортуванням, заміною ємностей, підключенням дозувального обладнання або усуненням можливих витоків.

Особливу увагу необхідно приділяти недопущенню контакту гіпохлориту натрію з кислотами та кислотовмісними мийними засобами, оскільки така взаємодія супроводжується виділенням токсичного газоподібного хлору. Усі роботи з реагентом виконуються при працюючій вентиляції щонайменше двома працівниками, які пройшли відповідне навчання та інструктаж з охорони праці.

Під час обслуговування камер перемикання, колодязів та інших заглиблених споруд необхідно дотримуватися вимог безпеки при роботі в замкнених просторах. Перед спуском персоналу контролюється склад повітряного середовища, зокрема вміст кисню та відсутність небезпечних концентрацій шкідливих газів. Роботи виконуються щонайменше двома працівниками, один із яких здійснює постійний нагляд із поверхні. Працівник, що перебуває всередині споруди, забезпечується запобіжним поясом і страхувальним канатом.

Ультрафіолетові установки знезараження води належать до обладнання підвищеної небезпеки, оскільки випромінювання УФ-ламп може негативно впливати на органи зору та шкіру персоналу. Перед проведенням будь-яких робіт з технічного обслуговування, очищення кварцових чохлів або заміни ламп

установка повинна бути повністю відключена від електроживлення з перевіркою відсутності напруги. Для додаткового захисту конструкцією реактора передбачаються блокувальні пристрої, які автоматично вимикають джерела випромінювання при відкритті сервісних люків.

Обслуговування ламп виконується із застосуванням захисних окулярів та рукавичок, що запобігають пошкодженню кварцових поверхонь. Забороняється огляд працюючих УФ-ламп без використання спеціальних захисних екранів або інших засобів захисту від випромінювання.

Огляд, ремонт та очищення контактної ємності аерації і фільтрів знезалізнення виконуються відповідно до вимог безпеки для робіт у замкнених просторах. Перед допуском персоналу оформлюється наряд-допуск, проводиться контроль складу повітряного середовища та організовується примусова вентиляція споруд. Працівники забезпечуються страхувальними засобами, а на поверхні постійно перебуває спостерігач, який контролює хід робіт і готовий до виконання аварійно-рятувальних заходів.

Під час заміни фільтруючих матеріалів можливе утворення пилу, тому персонал повинен використовувати захисні окуляри та протипилові респіратори відповідного класу захисту.

Резервуари чистої води належать до споруд обмеженого доступу, тому всі роботи з їх огляду, очищення та дезінфекції виконуються за правилами проведення робіт у замкнених просторах. Перед початком робіт забезпечується контроль повітряного середовища, організовується вентиляція та застосовуються страхувальні пристрої.

Для запобігання нещасним випадкам відкриті люки резервуарів огорожуються тимчасовими бар'єрами або сигнальними огорожами. Освітлення всередині споруд здійснюється переносними світильниками безпечною виконання. Під час проведення дезінфекції резервуарів розчинами гіпохлориту натрію персонал використовує засоби індивідуального захисту органів дихання, очей і шкіри, а введення резервуарів в експлуатацію допускається лише після промивання та підтвердження відповідності якості води встановленим вимогам.

4.5 Безпека експлуатації насосної станції другого підйому

Машинний зал насосної станції другого підйому оснащується насосними агрегатами з електродвигунами потужністю 15 та 22 кВт, що потребує дотримання підвищених вимог електробезпеки, захисту від шуму та безпечного виконання вантажопідіймальних робіт.

Особлива увага приділяється електробезпеці. Усі металеві частини обладнання, включаючи корпуси насосів, трубопроводи, опорні конструкції та шафи керування, підлягають обов'язковому захисному заземленню. Обслуговування частотних перетворювачів дозволяється лише електротехнічному персоналу, який має відповідну групу допуску з електробезпеки та пройшов спеціальне навчання щодо роботи з даним обладнанням. Під час виконання ремонтних робіт необхідно враховувати наявність залишкової напруги в конденсаторах перетворювачів навіть після їх відключення від мережі.

У процесі роботи насосного обладнання утворюються шум і вібрація, тому рівень шуму на робочих місцях повинен контролюватися та відповідати встановленим санітарним нормам. За необхідності передбачаються заходи зі зниження шумового навантаження, зокрема встановлення звукоізоляційних елементів і використання працівниками засобів індивідуального захисту органів слуху під час тривалого перебування в машинному залі.

Монтаж, демонтаж та ремонт насосних агрегатів виконуються із застосуванням стаціонарної кран-балки, встановленої в машинному залі. Перед початком вантажопідіймальних операцій здійснюється перевірка технічного стану підіймального обладнання, вантажозахоплювальних пристроїв та елементів кріплення. На час виконання робіт зона переміщення вантажів огорожується, а доступ сторонніх осіб до неї забороняється.

4.6 Виробнича санітарія, вентиляція та медичне забезпечення персоналу

Для забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних умов праці виробничі приміщення насосних станцій, водозабірних свердловин та споруд водопідготовки обладнуються системами примусової вентиляції. Кратність

повітрообміну приймається відповідно до функціонального призначення приміщень: для машинного залу насосної станції другого підйому — не менше 4 разів на годину, для реагентного господарства — не менше 6 разів на годину з видаленням повітря із нижньої зони приміщення, а для павільйонів свердловин — не менше 3 разів на годину. Такі заходи забезпечують видалення надлишкової вологи, підтримання допустимих концентрацій шкідливих речовин та створення комфортного мікроклімату для персоналу.

У виробничих приміщеннях підтримуються нормативні параметри мікроклімату: температура повітря в холодний період року становить 16–18 °С, а в теплий період — 18–22 °С.

Для працівників передбачається адміністративно-побутовий блок, до складу якого входять гардеробні з роздільним зберіганням робочого та особистого одягу, душові, санітарно-побутові приміщення, умивальники з гарячим і холодним водопостачанням, а також кімната відпочинку та приймання їжі.

Працівники, діяльність яких пов'язана з експлуатацією систем водопостачання та безпосереднім контактом із питною водою, підлягають обов'язковим попереднім і періодичним медичним оглядам. Додаткові медичні обстеження проходять працівники, які виконують роботи на висоті, в замкнених просторах або за умов впливу підвищеного рівня шуму та інших шкідливих виробничих факторів.

4.7 Заходи з пожежної безпеки на запроектованих об'єктах

Відповідно до функціонального призначення та характеристик технологічного обладнання приміщення запроектованого комплексу належать переважно до категорії «Д» за вибухопожежною та пожежною небезпекою, оскільки в них експлуатуються негорючі речовини та матеріали. До цієї категорії відносяться павільйони водозабірних свердловин, машинні зали насосних станцій першого і другого підйому, а також приміщення реагентного господарства для зберігання розчину гіпохлориту натрію. Електрощитові та приміщення з частотними перетворювачами належать до категорії «В» у зв'язку з наявністю електротехнічного обладнання та кабельних мереж.

Для забезпечення пожежної безпеки будівлі станції водопідготовки та насосної станції другого підйому оснащуються автоматичною пожежною сигналізацією з передачею сигналу на диспетчерський пункт. У приміщеннях передбачаються первинні засоби пожежогасіння, а також схеми евакуації персоналу, розміщені у доступних місцях. Павільйони свердловин обладнуються переносними вогнегасниками відповідно до встановлених норм.

4.8 Навчання персоналу та система інструктажів з охорони праці

Допуск працівників до виконання виробничих обов'язків здійснюється лише після проходження навчання та перевірки знань з питань охорони праці. Підготовка персоналу включає вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, повторні, позапланові та цільові інструктажі відповідно до характеру виконуваних робіт.

Особлива увага приділяється працівникам, які виконують роботи підвищеної небезпеки, зокрема обслуговують насосне обладнання, працюють у замкнених просторах, виконують вантажопідіймальні операції або контактують із хімічними реагентами. Такі працівники проходять спеціальне навчання та періодичну перевірку знань у встановлені нормативними документами строки.

Усі проведені інструктажі та перевірки знань підлягають обов'язковій реєстрації у відповідних журналах, що забезпечує контроль рівня підготовки персоналу та дотримання вимог охорони праці під час експлуатації об'єктів водопостачання.

4.9 Розрахунок небезпечної зони поблизу траншеї

Згідно з вихідними даними, глибина розробки ґрунту становить 7,2 м, при цьому ґрунт представлений глинистими породами. Підшва фундаменту має квадратну форму з розмірами $7,2 \times 7,2$ м. Для виконання робіт прийнято гусеничний кран із розміром бази 5 м.

1. Нормативних нахил відкосу визначаємо як $1/m$, де m – коефіцієнт відкосу. За табл. 10.2 [17] визначаємо, що крутизна відкосу дорівнює $1/0,5$. Заложення відкосу дорівнює $m \times H = 7,2 \cdot 0,5 = 3,6$ м.

2. Траншея по низу - $B = a + 0,5 + 0,5 = 7,2 + 0,5 + 0,5 = 8,2$ м, а траншеї по верху дорівнює: $A = B + mH + mH = 8,2 + 3,6 + 3,6 = 15,4$ м.

3. Шукаємо мінімально припустиму відстань по горизонталі, враховуючи глибину траншеї і характер ґрунту. На підставі [17] для глибини 5 м та глини, мінімальна допустима відстань складає – $l_6 = 3,6$ м.

4. Максимальне допустиме наближення крану до відкосу траншеї:

$$L_6 = \frac{b}{2} + l_6 + 0,5 + \frac{a}{2}, \quad (4.1)$$

де b – база гусенічного транспорту.

$$L_6 = \frac{3,6}{2} + 3,6 + 0,5 + \frac{7,2}{2} = 9,5 \text{ м}$$

За результатами проведених розрахунків побудовано графічний розріз траншеї, представлений на рис. 4.1.

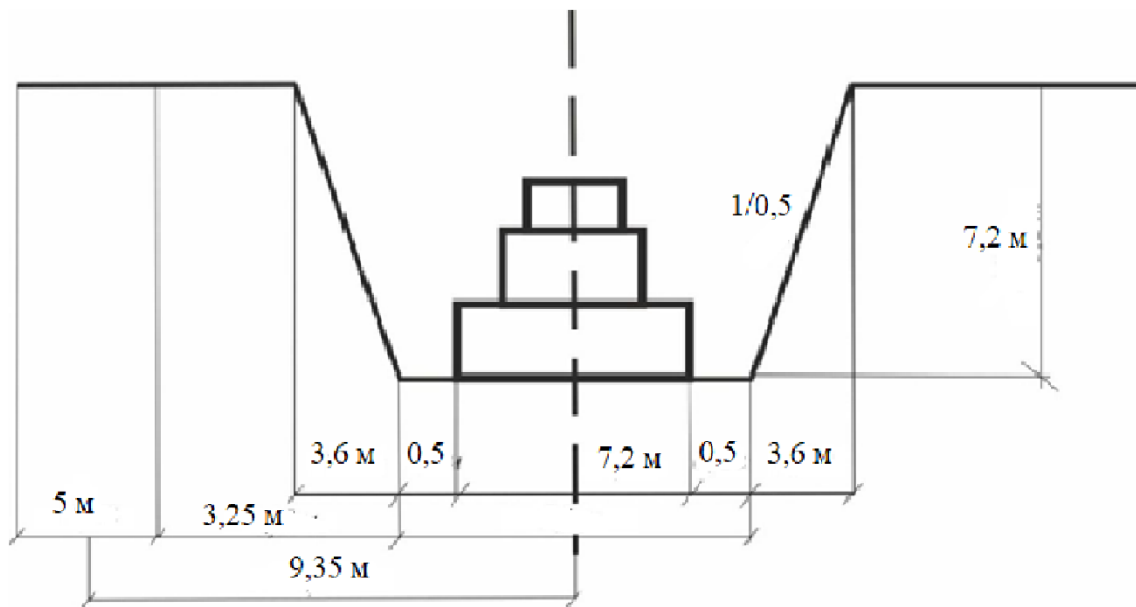


Рисунок 4.1 – Конструктивний профіль траншеї, визначений за вихідними умовами проектування

4.9 Вибір освітлювальної системи для штучного освітлення будівельного майданчика

Для розрахунку системи освітлення приймаються такі вихідні дані: ширина будівельного майданчика становить 180 м, довжина – 680 м, відстань між освітлювальними щоглами – 240 м. Розміри робочої ділянки складають: ширина 120 м та довжина 130 м. Земляні роботи виконуються наливним способом. Як джерело освітлення прийнято прожектори типу ПКН-1500, оснащені галогеновими лампами КГ потужністю 1500 Вт. Для забезпечення

рівномірного освітлення території використовується прямокутна схема розміщення освітлювальних щогл, яка наведена на рис. 4.2.

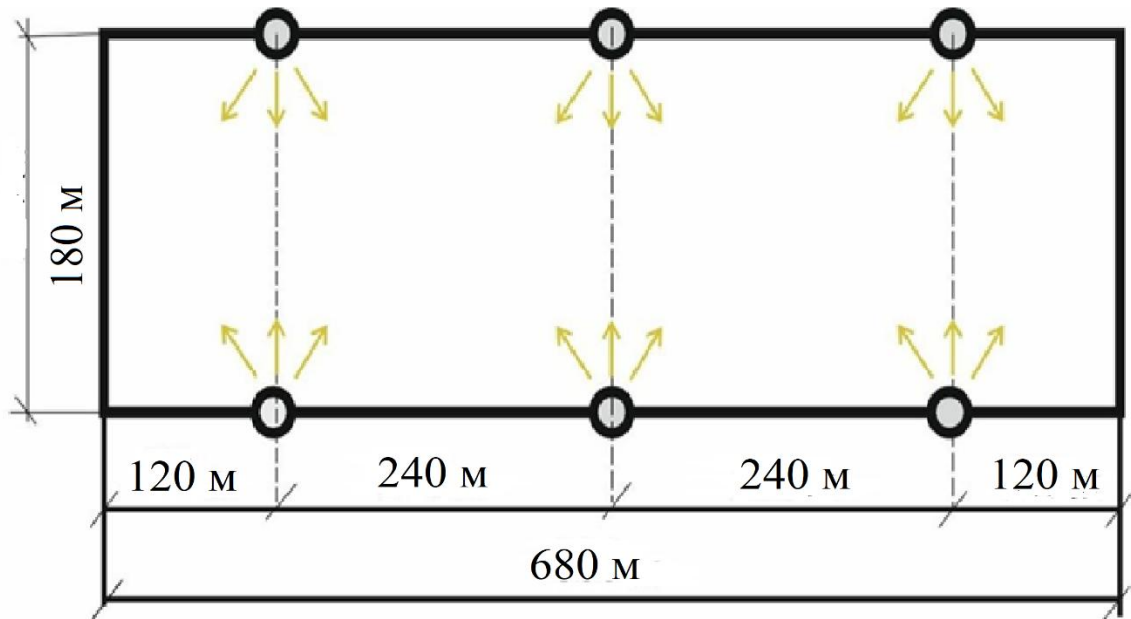


Рисунок 4.2 – План розміщення освітлювальних щогл на будівельному майданчику

Визначаємо кількість щогл для розміщення прожекторів:

$$N_{\text{щ}} = 2 \times \frac{l}{b} = 2 \times \frac{680}{240} = 6 \text{ шт}$$

Визначаємо кількість ламп, які потрібні для встановлення 6 прожекторів:

$$N_{\text{л}} = N_{\text{щ}} \times n = 6 \times 5 = 30 \text{ шт}$$

Для оцінки енергетичних потреб системи освітлення виконується розрахунок сумарної електричної потужності освітлювальної установки. Визначення потужності здійснюється на підставі кількості встановлених освітлювальних приладів і паспортної потужності кожного з них. Розрахунок проводиться за наступною формулою:

$$P_{\text{заг}} = N_{\text{л}} \times P_1 = 30 \times 1500 = 45000 \text{ Вт}$$

Розрахункова питома потужність:

$$P_{\text{пит}} = \frac{P_{\text{заг}}}{a \cdot l} = \frac{45000}{180 \cdot 680} = 0,43 \text{ Вт/м}^2$$

З метою перевірки достовірності отриманих результатів виконується їх зіставлення з нормативними показниками питомої потужності, наведеними у відповідній довідковій та нормативній літературі.

Прийнята освітлювальна установка має такі характеристики: висота розміщення прожекторів становить 40 м, кут нахилу прожекторів до горизонтальної площини — 20° , а кут між оптичними вісями суміжних прожекторів дорівнює 30° . Проведені розрахунки показали, що для забезпечення нормативної освітленості робочої зони необхідно встановити шість освітлювальних щогл. На кожній щоглі передбачається монтаж п'яти прожекторів, обладнаних лампами потужністю 1500 Вт.

Освітлювальні щогли розташовуються за прямокутною схемою з рівномірним інтервалом 240 м між сусідніми опорами. Таке планувальне рішення забезпечує необхідний рівень освітленості та рівномірний розподіл світлового потоку по всій площі виконання будівельно-монтажних робіт.

Висновок до Розділу 4

У розділі проведено оцінку умов праці на об'єктах запроектованої системи водопостачання та розроблено комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної роботи персоналу. Визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для експлуатації водозабірних свердловин, споруд водопідготовки та насосної станції другого підйому. До них належать ризики ураження електричним струмом під час обслуговування насосного обладнання, небезпека виконання вантажопідіймальних робіт, вплив гіпохлориту натрію та ультрафіолетового випромінювання, а також загрози, пов'язані з проведенням робіт у резервуарах, технологічних ємностях і колодязях.

Для всіх основних споруд системи розроблено відповідні заходи безпеки, що охоплюють вимоги до електробезпеки, організації робіт із насосним обладнанням, експлуатації реагентного господарства, обслуговування УФ-установок, виконання робіт у замкнених просторах, а також заходи щодо зниження рівнів шуму та вібрації. Визначено необхідні засоби індивідуального захисту, порядок навчання персоналу, проведення інструктажів та забезпечення пожежної безпеки об'єкта.

Крім того, виконано розрахунок параметрів безпечного виконання будівельних робіт, зокрема визначено межі небезпечної зони поблизу траншеї глибиною 7,2 м та обґрунтовано параметри системи штучного освітлення будівельного майданчика.

Запропоновані заходи відповідають вимогам чинних нормативних документів з охорони праці та забезпечують належний рівень безпеки під час будівництва й експлуатації системи водопостачання на базі підземного джерела води.

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано вибір Буцацького водоносного горизонту як основного джерела господарсько-питного водопостачання населеного пункту. Порівняльний аналіз поверхневих і підземних джерел показав, що підземні води забезпечують значно вищу стабільність хімічного складу протягом року, надійний природний захист від мікробіологічного забруднення та можливість застосування спрощеної технології водопідготовки порівняно з поверхневим водозабором.

2. Визначено розрахункові витрати водоспоживання населеного пункту: максимальні і розроблено ступінчастий графік роботи насосної станції другого підйому з двома групами насосних агрегатів, що забезпечує економічний режим роботи системи при мінімальному регулюючому об'ємі водонапірної башти (Ø7,0 м, висота 6,5 м).

3. За результатами аналізу якості підземної води встановлено перевищення нормативних показників за вмістом загального заліза (3,8 мг/л при нормі 0,2 мг/л), каламутністю, кольоровістю та запахом за відсутності бактеріологічного забруднення; жорсткість, вміст нітратів і водневий показник відповідають вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10.

4. Запроектовано водозабірний вузол із п'яти артезіанських свердловин (4 робочі + 1 резервна) глибиною 115 м, обладнаних сучасними зануреними насосними агрегатами Grundfos SP 77-4 (подача 77 м³/год, напір у робочій точці 40 м, потужність електродвигуна 15 кВт). Визначено конструктивні розміри оголовків свердловин та параметри насосної станції першого підйому загальною розрахунковою продуктивністю 275 м³/год.

5. Розраховано та підібрано технологічне обладнання станції водопідготовки за безреагентною схемою: блок контактної аерації для окислення двовалентного заліза та видалення розчинених газів; сім напірних фільтрів знезалізнення діаметром 3,0 м (6 робочих + 1 резервний) з кварцово-каталітичним завантаженням; два ультрафіолетові знезаражувачі Wedeco Spektron продуктивністю до 140 м³/год кожен; вузол дозування гіпохлориту натрію для підтримання залишкового дезінфектанту в розподільчій мережі.

6. Виконано розрахунок насосної станції другого підйому зі ступінчастим режимом роботи: група малих витрат на базі насосів Grundfos NK 65-160/173 (70 м³/год, 33 м, 15 кВт) та група великих витрат на базі насосів Grundfos NK 80-160/151 (181,5 м³/год, 21,7 м, 22 кВт), по 2 робочих і 1 резервному агрегату в кожній групі. Визначено об'єм резервуарів чистої води — 2×750 м³ та конструктивні розміри будівлі насосної станції другого підйому.

7. Виконано гідравлічний розрахунок кільцевої водопровідної мережі населеного пункту для режимів максимального водоспоживання та одночасного пожежогасіння.

8. Виконано розділ захисту трубопроводів і споруд від корозії з урахуванням підвищеної корозійної агресивності підземної води (рН 6,9, вміст Fe²⁺ 3,2 мг/л) щодо обсадних колон свердловин, занурених насосних агрегатів та обладнання станції водопідготовки.

9. Виконано розділ охорони праці, в якому ідентифіковано специфічні небезпечні й шкідливі виробничі фактори, характерні для об'єктів водопостачання на підземному джерелі — електробезпеку при обслуговуванні занурених насосів на значній глибині, безпеку вантажопідіймальних робіт, хімічну безпеку при дозуванні гіпохлориту натрію, безпеку ультрафіолетового випромінювання та ризику виконання робіт у замкнених просторах резервуарів і ємностей. Розроблено відповідні організаційні й технічні заходи, виконано розрахунок небезпечної зони поблизу будівельної траншеї та системи освітлення будівельного майданчика.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Грабар І. Г. Особливості використання підземних вод для господарсько-питного водопостачання населених пунктів. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2011. № 2. С. 169–173. URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/visnyk/2011/02/169.pdf> (дата звернення: 12.04.2026).
2. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : Державні санітарні норми та правила : затв. наказом МОЗ України від 12.05.2010 № 400. Київ, 2010. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> (дата звернення: 12.06.2026).
3. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ : Мінрегіон України, 2013. 182 с.
4. Grundfos. Data booklet SP, SP A. Submersible pumps, motors and accessories, 50 Hz. Bjerringbro: Grundfos Holding A/S. URL: https://www.lenntech.com/Data-sheets/Grundfosliterature-SP-A_SP-L.pdf (дата звернення: 15.05.2026).
5. Лізантан П. С., Сакун А. О., Гайдучок О. Г., Лукашенко С. В., Томашевський Р. С., Воробйов Б. В. Експериментальне дослідження процесу знезараження води озонуванням для компактних систем очищення // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2026. № 1 (27). С. 107–113. DOI: 10.20998/2413-4295.2026.01.14.
6. WEDECO, a Xylem brand. Spektron UV Disinfection System : product datasheet. Xylem Inc. URL: <https://www.xylem.com/en-us/products--services/treatment-products-systems/disinfection-and-oxidation/uv-disinfection-systems/spektron-uv-disinfection-system/> (дата звернення: 16.05.2026).
7. Grundfos. Data booklet NB, NBG, NK, NKG. Single stage end-suction pumps according to EN 733, 50 Hz. Bjerringbro : Grundfos Holding A/S. URL: <https://api.grundfos.com/literature/Grundfosliterature-4112587.pdf> (дата звернення: 17.05.2026).

8. ДСТУ 3830-98. Корозія металів і сплавів. Терміни та визначення основних понять. Київ: Держстандарт України, 1998. 23 с.

9. СОУ ЖКГ 41.00-35077234.010:2008. Системи централізованого господарсько-питного водопостачання та комунального теплопостачання. Захист протикорозійний. Загальні вимоги та методи контролювання. Київ, 2008.

10. ДСТУ 4219:2003. Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії (зі змінами). Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 16 с.

11. ДСТУ Б В.2.5-30:2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Трубопроводи сталеві підземні систем холодного і гарячого водопостачання. Загальні вимоги до захисту від корозії. Київ: Мінбуд України, 2006.

12. Про затвердження Методики визначення корозійного стану трубопроводів зрошення та водопостачання : наказ Держводгоспу від 11.02.2008 № 35. — URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0035574-08>.

13. ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування. Київ: Мінрегіон України, 2013. 17 с. URL: https://uscc.ua/uploads/page/images/normativnye_dokumenty/dstu/dstu_b_v.2.6-193_2013.pdf (дата звернення: 25.05.2026).

14. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник / А. К. Запольський. — Київ : Вища школа, 2005. — 671 с.

15. Карагяур А. С., Михайлов М. Г., Тітов А. А., Благодарна Г. І. Дослідження ефективності роботи швидких фільтрів при різних режимах фільтрування // Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 2025. Т. 3, № 191. С. 340–347. DOI: 10.33042/2522-1809-2025-3-191-340-347.

16. ДСТУ ISO 45001:2019 (ISO 45001:2018, IDT). Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.

17. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.