

**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
першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему «МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТА З
ЧИСЕЛЬНІСТЮ НАСЕЛЕННЯ 126 ТИС ОСІБ»

Виконав: здобувач освіти 4-го курсу,
групи ГБтаВТ 2021 – 1
спеціальності
194 – Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології
освітня програма «Гідротехнічне
будівництво, водна інженерія та водні
технології»
Гарний А. Є.
Керівник доц. Айрапетян Т. С.
Рецензент доц. Галкіна О.П.

Харків – 2026 року

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

Факультет Навчально-науковий інститут будівництва, землеустрою та цивільної інженерії

Кафедра Водопостачання, водовідведення і очищення вод

Освітній рівень 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.

“ ”

2026 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ**

Гарному Андрію Євгенійовичу

1. Тема роботи «Модернізація системи водопостачання міста з чисельністю населення 126 тис осіб»

керівник роботи Айрапетян Тамара Степанівна, канд. техн. наук, доцент
затверджено наказом вищого навчального закладу від “27” 02 2026 року № 187-03

2. Строк подання студентом роботи 18.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: Чисельність населення – 126 тис. осіб., норма водоспоживання на господарсько-питні потреби – 210 л/добу· люд., норма водоспоживання на полив – 50 л/добу. Забудова території міста – 5-7 поверхів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 1. Загальні відомості. 2. Технологічна частина. 3 Організація експлуатації системи. 4. Охорона праці











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

5.1 Ситуаційний план міста; 5.2 Технологія відновлення трубопроводу «Санлайн»;

5.3 Рекомендована схема підготовки; 5.4, 5.5 Блок прояснювачів та фільтрів. План.

Розрізи; 5.6 Охорона праці. Схема заземлення. Блискавкозахист будівлі.

6. Консультанти розділів роботи

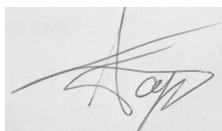
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Загальні відомості	доц. Айрапетян Т. С.		
2. Технологічна частина	доц. Айрапетян Т. С.		
3. Організація експлуатації системи	доц. Айрапетян Т. С.		
4. Охорона праці	доц. Барбашин В. В.		
Допуск до захисту	проф. Карагяур А.С.		
Показник оригінальності кваліфікаційної роботи	доц. Сорокіна К. Б.		

7. Дата видачі завдання 11.03.2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні відомості	11.05 – 20.05.2026	
2	Технологічна частина	13.05 - 10.06.2026	
3	Організація експлуатації системи	25.05 – 10.06.2026	
4	Охорона праці	26.05 – 15.06.2026	
5	Графічна частина	16.05 – 15.06.2026	
6	Оформлення і захист	30.05 – 27.06.2026	

Здобувач освіти



Андрій ГАРНИЙ

Керівник роботи



Тамара АЙРАПЕТЯН

ДОДАТОК ДО ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
Гарного А. Є.

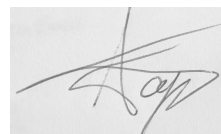
1. Хімічний склад води поверхневого джерела водопостачання

№ п/п	Показник	Значення показника
1	Каламутність	50 – 100 мг / дм ³
2	Загальна мінералізація	270 – 360 мг / дм ³
4	Вміст сульфатів	18,0 – 27,0 мг / дм ³
5	Вміст хлоридів	12,0 – 22,0 мг / дм ³
8	Нітрати	≤ 2,8 мг / дм ³
9	Нітрити	≤ 0,7 мг / дм ³
10	Окисність	≤ 10 мгО ₂ / дм ³
11	Загальна твердість	2,5 – 3,7 мг – екв / дм ³
12	Карбонатна твердість	2,0 – 2,9 мг – екв / дм ³
13	Забарвленість	60 град
14	Запах	2 бали

2. Відомості про підприємства, розташовані у місті:

Промислове підприємство	№ 1	№ 2	№3
Кількість змін	3	2	
Загальна кількість працівників	6100	940	880
в т.ч. в % від числа працюючих			
в I зміну	35	30	50
в II зміну	35	30	50
в III зміну	30	40	-
Кількість працюючих в гарячих цехах (% від числа працюючих)			
в I зміну	30	70	40
в II зміну	35	70	60
в III зміну	35	60	-
Кількість працюючих, які користуються душовими (% від числа працюючих)			
в гарячих / холодних цехах			
в I зміну	65/ 50	70	65
в II зміну	65/ 50	70	65
в III зміну	65/ 50	70	-
Витрата води на технологічні потреби (л/с)	2,3	6,8	3,2
Режим споживання води на технологічні потреби протягом доби	Рівномірний		

Здобувач освіти



Андрій ГАРНИЙ

Керівник роботи



Тамара АЙРАПЕТЯН

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається з 4 розділів. Обсяг пояснювальної записки – 90 сторінок, таблиць – 3, рисунків – 2, літературних джерел – 26.

ВОДОПРОВІДНІ МЕРЕЖІ, МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ, БЕЗТРАНШЕЙНА РЕКОНСТРУКЦІЯ ТРУБОПРОВІДІВ, ТЕХНОЛОГІЯ «SANLINE», ОЧИСНІ СПОРУДИ, ГПХОХЛОРИТ НАТРІЮ

У бакалаврській роботі розглянуто питання підвищення ефективності системи водопостачання невеликого населеного пункту шляхом модернізації існуючих інженерних мереж та вдосконалення технології підготовки питної води. Основною проблемою, що розглядається у даній роботі, є недостатня ефективність функціонування існуючої системи водопостачання міста, що зумовлена зношенням водопровідних мереж, підвищеними втратами води під час транспортування, а також недостатнім рівнем очищення води перед подачею споживачам.

У рамках даної роботи передбачається заміна зношених ділянок водопровідної мережі із застосуванням безтраншейної технології, а також переобладнання очисних споруд, що забезпечить необхідний рівень підготовки питної води. Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити надійність системи водопостачання, покращити якість питної води, зменшити експлуатаційні витрати та забезпечити відповідність системи сучасним нормативним вимогам.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	9
1.1 Природно-кліматичні умови	9
1.2 Стан водопроводу та проблеми водопостачання невеликих населених пунктів	10
1.3 Обґрунтування проєктних рішень	13
1.3.1 Значення модернізації водопровідних мереж	13
1.3.2 Вибір способу відновлення зношеного трубопроводу	14
1.3.3 Обґрунтування заходів з підготовки питної води	18
1.3.4 Сучасні технології зневоднення осадів	21
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	23
2.1 Обчислення розрахункових витрат води. Побудова графіка споживання води за годинами доби	23
2.2 Відновлення аварійного трубопроводу за допомогою рукавного покриття «Санлайн»	30
2.3 Технологічна схема очищення води	33
2.4 Розрахунок ключових елементів технологічної схеми	35
2.4.1 Вузол готування коагулянтів і флокулянтів	35
2.4.2 Розрахунок вертикального вихрового змішувача	38
2.4.3 Розрахунок освітлювачів із завислим осадом коридорного типу	39
2.4.4 Швидкі фільтри	46
2.4.5 Визначення місткості резервуарів чистої води	55
2.4.6 Первинне знезараження води озоном	56
2.4.7 Знезараження гіпохлоритом натрію	59
2.4.8 Зневоднення осадів водопровідної станції	60
2.5 Розрахунок насосної станції II підйому	62

3 ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМИ	64 ⁷
3.1 Загальні положення	64
3.2 Особливості експлуатації та обслуговування очисних споруд водопідготовки	65
3.2.1 Експлуатація змішувачів	65
3.2.2 Експлуатація освітлювачів із завислим шаром осаду	66
3.2.3 Експлуатація швидких фільтрів	67
3.2.4 Експлуатація системи попереднього озонування	69
3.2.5 Експлуатація системи знезараження гіпохлоритом натрію	70
3.3 Загальні експлуатаційні вимоги та експлуатаційні заходи	72
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	75
4.1 Головні завдання в області охорони праці	75
4.2 Виявлення та аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників	76
4.3 Розробка заходів з охорони праці	78
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	85
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	86

ВСТУП

Водопостачання є однією з найважливіших інженерних систем міської інфраструктури, від ефективності функціонування якої залежить рівень комфорту проживання населення, санітарно-епідеміологічний стан територій та стабільність роботи промислових і комунальних підприємств. Надійне та безперебійне постачання якісної питної води є необхідною умовою санітарно-гігієнічного благополуччя населення та сталого розвитку міських територій.

Більшість міських систем водопостачання в Україні була спроектована та побудована кілька десятиліть тому. У процесі тривалої експлуатації значна частина трубопроводів, насосного обладнання та водоочисних споруд зазнала фізичного зношення та старіння. Це призводить до збільшення втрат води у мережах, зростання енергоспоживання. У результаті знижується надійність системи та погіршується якість послуг водопостачання. Крім того, сучасні вимоги до якості питної води та екологічної безпеки потребують впровадження більш ефективних технологічних рішень.

У зв'язку з цим особливого значення набуває модернізація існуючих систем водопостачання, яка передбачає оновлення інженерних мереж, удосконалення схем подачі води, застосування енергоефективного обладнання та оптимізацію роботи основних елементів системи. Для міст із середньою чисельністю населення, зокрема близько 126 тисяч осіб, питання підвищення надійності та ефективності функціонування водопровідного господарства є важливим фактором забезпечення сталого розвитку міського середовища.

Актуальність теми бакалаврської роботи зумовлена необхідністю удосконалення існуючих систем водопостачання шляхом впровадження сучасних технічних рішень, спрямованих на підвищення надійності та ефективності роботи водопровідних мереж і споруд.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Природно-кліматичні умови

Географічне розташування та кліматичні особливості області

Черкаська область знаходиться у центральній частині лісостепової зони України, у межах басейнів річок Дніпро та Південний Буг. На півночі область має спільний кордон із Київською областю протяжністю 340 км. Східний кордон проходить із Полтавською областю і становить 212 км. На півдні вона межує з Кіровоградською областю (388 км), а на заході – з Вінницькою областю, де довжина кордону дорівнює 124 км [1].

Рельєф Черкащини переважно рівнинний. Територію умовно поділяють на правобережну та лівобережну частини. Більша частина правобережжя лежить у межах Придніпровської височини, де знаходиться найвища точка області – 275 метрів над рівнем моря (поблизу міста Монастирище). Її правобережній частині, ближче до Дніпра, розташована заболочена Ірдино-Тясминська низовина, а також відомі підвищення – Канівські гори. Лівобережна частина області характеризується низинним рельєфом і належить до Придніпровської низовини [1].

Водні ресурси. Загальна характеристика

Територія Черкаської області належить до двох водних басейнів. Східна частина регіону входить до басейну річки Дніпро, тоді як західна – до басейну річки Південний Буг.

Площа водозбірного басейну Дніпра в межах області становить приблизно 11,8 тис. км². Річкова мережа тут добре сформована, а її густота коливається від 0,2 до 0,54 км на км².

Водозбірний басейн річки Південний Буг у межах Черкаської області займає площу близько 8,9 тис. км². Річки цього басейну проходять територією Звенигородського та Уманського районів.

Загалом у межах області налічується 1037 середніх і малих річок.

У суббасейні середнього Дніпра, що розташований у межах Черкаської області, протікають три середні річки – Рось, Тясмин і Супій, а також 453

малих річок та струмків. Щільність річкової мережі тут становить 0,2–0,54 км/км².

До основних приток річки Рось у межах Черкаської області належать річки Гарбузинка, Нехворощ, Порозовиця, Росава та інші водотоки. Найбільшими притоками річки Тясмин є Чутка, Ірдинь, Медведівка, Ірклієць та ін. До головних приток річки Супій належать Ковраєць і Гельмязівка.

Крім того, в області є малі річки довжиною понад 10 км, які безпосередньо впадають у річку Дніпро (Кременчуцьке водосховище). Серед них – Вільшанка, Ірклій, Золотоношка та Коврай.

У межах басейну річки Південний Буг на території області протікає 577 малих річок і струмків. До середніх річок цього басейну належать Велика Вись, Гнилий Тікич, Гірський Тікич та Ятрань. Також тут протікає річка Тікич, яка утворюється внаслідок злиття двох річок - Гірський Тікич і Гнилий Тікич, а також верхня частина річки Синюхи. Річкова мережа в цьому басейні досить добре розвинена, а її густота становить приблизно 0,2–0,54 км/км² [1].

На річках Черкаської області створено значну кількість штучних водойм: тут функціонує 33 водосховища та близько 2970 ставків. Крім того, частина території області охоплює два великих водосховища Дніпровського басейну – Канівське та Кременчуцьке.

Кременчуцьке водосховище, площа якого становить приблизно 180 тис. га, було утворене після спорудження греблі Кременчуцької гідроелектростанції. У межах Черкаської області його протяжність сягає близько 130 км, а ширина поблизу міста Черкаси становить приблизно 18 км.

1.2 Стан водопроводу та проблеми водопостачання невеликих населених пунктів

В Україні централізоване водопостачання охоплює більшість великих міст, однак не всю територію країни. Особливо це стосується сільської місцевості та невеликих міст, у яких доступ до системи централізованого водопостачання обмежений.

Також однією з проблем водопостачання є те, що сучасні водопровідні мережі значною мірою зношені внаслідок того, що частина трубопроводів прокладена ще за радянських часів і потребує на даний час реконструкції або заміни. Наслідком цього є часті аварії, витoki та забруднення води.

У багатьох громадах, особливо з кількістю населення близько 100–150 тис. мешканців, спостерігається нестабільна робота мереж водопостачання, що обумовлено певними технічними проблемами або перевантаженням системам, які не були розраховані на сучасні навантаження [2].

Серед головних проблем систем водопостачання слід відмітити також проблеми якості води. Як показують результати моніторингу, аналіз даних державних перевірок, більше половини джерел водопостачання та обладнання не відповідає сучасним санітарним стандартам. Спостерігаються порушення гігієнічних вимог, недостатня дезінфекція та технічний знос [2, 3].

У результаті частих витоків та зношеності мереж забруднена вода потрапляє в розподільчу мережу, що призводить до погіршення якості питної води для населення.

Під час аварійного відключення або технічних збоїв, що відбуваються у ряді міст люди змушені користуватися привізною водою.

У місті, що розглядається у роботі централізоване водопостачання існує, однак :

- водопровідні мережі є застарілими;
- водоочисна станція недосконала ;
- через відсутність потужних фільтраційних та очищувальних споруд існує ризик забруднення води.

У деяких населених пунктах з подібною кількістю населення **взагалі** такої величини централізованої мережі **не має** і мешканці отримують воду зі вердловин, колодязів, які дуже часто недостатньо якісні та можуть бути забруднені.

Відсутність централізованого водопостачання в деяких невеликих містечках та селищах є серйозною проблемою, що призводить до:

- обмеженого доступу до безпечної питної води;

- збільшення витрат на індивідуальні системи водозабезпечення;
- ризику виникнення санітарних проблем через неякісні колодязі чи свердловини.

Тимчасові рішення тільки частково компенсують дефіцит води, але вони не вирішують проблему на перспективу.

Тому проєктування нових або модернізація існуючих очисних споруд є дуже важливим та актуальним завданням.

Очисні споруди водопостачання – це дуже важливий для сталого розвитку регіонів, один з ключових елементів сучасної інфраструктури, особливо для міст з невеликим населенням (до 120-150 000 осіб). Проєктування споруд забезпечить високу якість питної води відповідно до вимог гігієни та безпеки; сприятиме підвищенню економічної та технічної стійкості системи водопостачання.

Як вже було зазначено, у багатьох населених пунктах на сьогодні таких очисних споруд або взагалі немає або вони застарілі. Така ситуація не тільки обмежує забезпечення населення якісною водою у достатній кількості але й підсилює ризики захворювань та екологічних проблем.

За результатами проведеного аналізу можна зробити певні висновки, по перше, що система водопостачання в Україні має суттєві технічні та організаційні проблеми, які особливо відчужаються у середніх містах (~125 000 мешканців). По-друге -це те, що значна частина водопровідних мереж зношена, і якість питної води не завжди відповідає нормам санітарної безпеки. Деякі населені пункти взагалі не мають централізованого водопостачання, що потребує планування та впровадження термінових рішень.

Отже проєктування та будівництво сучасних очисних споруд - одне з ключових завдань, що дозволить вирішити проблему забезпечення сталого водопостачання та покращення якості життя в громадах.

У результаті буде зменшення аварій та втрат води, оскільки модернізовані системи мають кращу діагностику та управління, таким чином можна буде швидше виявляти та усувати витоки.

Реконструкція мереж у комбінації з будівництвом нових очисних споруд є важливим ключовим аспектом у забезпеченні стабільного та безпечного водопостачання для середніх міст України. Це дозволить покращити якості питної води, підвищити надійності подачі води, система буде менше залежною від зношеної інфраструктури та енергопостачання, особливо це є важливим при відключеннях.

З метою підвищення безпеки сучасна станція повинна мати: онлайн-датчики каламутності, контроль залишкового хлору, датчики рН, систему SCADA та автоматичне дозування реагентів

Система повинна мати резервування. Для цього повинні бути резервуари запасу чистої води, розраховані не менше ніж на 1–2 добовий запас, дизельні генератори, частотні перетворювачі для насосів. Крім того система повинна мати можливість підключення альтернативних джерел живлення - енергонезалежність.

1.3 Обґрунтування проєктних рішень

1.3.1 Значення модернізації водопровідних мереж

Як же було відзначено у попередньому розділі, більша частина водопровідних мереж в Україні перебуває у незадовільному технічному стані через значний рівень зносу. Це спричиняє низку проблем, серед яких:

- великі обсяги втрат води під час транспортування;
- часті виникнення аварій та пошкоджень мереж;
- погіршення якості питної води внаслідок вторинного забруднення;
- збільшення споживання електроенергії та експлуатаційних витрат.

Для підвищення ефективності функціонування систем водопостачання необхідно реалізовувати такі заходи модернізації:

- заміну застарілих металевих труб на сучасні поліетиленові;
- поділ мережі на окремі гідравлічні зони;
- впровадження засобів оперативного виявлення та контролю витоків;
- використання гідравлічних моделей для оптимізації роботи мереж;
- застосування інтелектуальних систем моніторингу та управління.

Проведення комплексної реконструкції водопровідних систем забезпечує:

- суттєве скорочення втрат водних ресурсів;
- підвищення надійності та безперебійності водопостачання;
- зменшення витрат електроенергії;
- покращення екологічних показників та рівня безпеки навколишнього середовища.

1.3.2 Вибір способу відновлення зношеного трубопроводу

Водопровід, який існує в даному населеному пункті, побудований у 1967 – 1968 роках. Протяжність його становить 15 км.

На сьогодні цей водопровід знаходиться в аварійному стані: головним чином це зношеність трубопроводу, недостатній тиск води, спостерігаються пориви трубопроводу, внаслідок яких значні втрати води. Існуючий водопровід не може забезпечити потреби населення міста в питній воді у повному обсязі.

Основними завданнями кваліфікаційної роботи є:

– вибір найбільш оптимального типу покриття та обґрунтування його використання для відновлення цілісності трубопроводів водопровідної мережі з урахуванням їх експлуатаційних характеристик, довговічності та економічної ефективності;

– модернізація комплексу споруд для підготовки питної води із застосуванням сучасних технологічних рішень та обладнання;

Робота спрямована на забезпечення населення міста якісною питною водою, підвищення рівня надання послуг, а також зменшення споживання води і скорочення експлуатаційних витрат.

У роботі пропонується заміна зношеної та економічно недоцільної сталеві труби водопроводу діаметром 500 мм протяжністю 3,5 км (поточні втрати сягають близько 2/3).

Для підвищення надійності та екологічної безпеки трубопроводних систем, окрім застосування якісних і довговічних труб та арматури, здатних

ефективно протидіяти зовнішній і внутрішній корозії, до ключових практичних заходів належать:

- удосконалення підходів до відновлення мережі, зокрема збільшення обсягів заміни та санації трубопроводів із пріоритетним використанням безтраншейних технологій;
- впровадження комплексної технічної діагностики для визначення фактичного стану труб, прогнозування їх залишкового ресурсу та виявлення найбільш уразливих ділянок із підвищеним ризиком аварій;
- застосування ефективних систем електрохімічного захисту металевих трубопроводів у процесі експлуатації;
- підтримання стабільного рівня тиску в мережі;
- використання сучасних геоінформаційних систем для моніторингу, управління та оптимізації роботи трубопровідної інфраструктури.

Для розв'язання проблеми ремонту та відновлення зношених трубопровідних мереж у кваліфікаційній роботі пропонується використання безтраншейних методів реновації. Ці технології базуються на застосуванні різноманітних внутрішніх захисних покриттів (труб, облицювальних матеріалів, рукавів тощо), які виступають як ефективні ремонтні оболонки. Вони забезпечують ізоляцію численних дефектів трубопроводу (зокрема свищів, тріщин, порушень у з'єднаннях тощо) та запобігають проникненню ґрунтових вод у систему, а також витоку транспортованої рідини.

Серед широкого спектру безтраншейних методів відновлення водопровідних мереж, які зарекомендували себе у світовій практиці, можна виділити такі [4, 5]:

- нанесення цементно-піщаних покриттів на внутрішню поверхню існуючого трубопроводу;
- протаскування нового трубопроводу всередину старого з його частковим або повним руйнуванням за допомогою спеціальних пристроїв, таких як пневмопробійники;
- введення гнучких полімерних труб (попередньо стислих або складених у U-подібну форму) всередину старого трубопроводу;

- протаскування суцільних захисних покриттів з різних полімерних матеріалів;
 - застосування комбінованого гнучкого рукава («панчохи»), який формує нову композитну трубу всередині старої;
 - нанесення локальних (точкових) покриттів у місцях пошкодження.
- Суцільне покриття (метод «Панчохи»).

Технологія передбачає розміщення гнучкого безшовного полімерного рукава всередині наявного трубопроводу на ділянці між двома колодязями. Після введення матеріал розгортають і щільно притискають до внутрішньої поверхні труби, унаслідок чого формується нова захисна оболонка, що відновлює її герметичність та міцність.

У безтраншейній практиці використовують різні способи встановлення та фіксації полімерних рукавів. Зазвичай їх заводять у трубопровід із подальшим розширенням за допомогою повітряного або водяного тиску. Для затвердіння просоченої смолами конструкції застосовують світлове випромінювання, гарячу воду або пару. Під час подачі теплоносія у внутрішню герметичну оболонку рукав розправляється, щільно прилягає до стінок старої труби й після полімеризації перетворюється на нову композитну конструкцію [5].

Існує також метод заміни трубопроводу із паралельним руйнуванням зношеної труби. У цьому випадку нову трубу протягують крізь стару за допомогою пневматичних ударних механізмів або пневмопробійників, оснащених спеціальними руйнівними елементами.

Основним обмеженням технології протягування труб із використанням пневмопробійників є невеликі допустимі параметри ремонтованих ділянок: зазвичай діаметр не перевищує 300 мм, а довжина – близько 100 м. Також слід зважати на можливі негативні наслідки ударного впливу на ґрунт. Хвилі, що виникають під час руху пробійника, здатні передаватися на прилеглі інженерні мережі, а в окремих випадках – спричинити пошкодження підземних комунікацій або конструкцій будівель.

Разом із тим заміну зношених труб можна виконувати й без їх руйнування. У цьому випадку новий полімерний трубопровід, намотаний на барабан, протягують через існуючу трубу за допомогою троса та пневматичної лебідки, вводячи його через колодязі або захисні футляри в межах аварійної ділянки мережі. Оскільки поліетиленові труби чутливі до механічних пошкоджень, зокрема до порізів твердими включеннями всередині каналу, для їх захисту застосовують додаткові елементи. З цією метою на трубопровід із певним кроком встановлюють спеціальні пластикові сегменти або напрямні рейки, які зменшують ризик ушкодження зовнішньої поверхні під час протягування [5].

Під час обрання способу безтраншейного відновлення трубопроводів шляхом протягування та фіксації полімерних оболонок або труб у попередньо зруйнованому колекторі особливу увагу слід приділяти інженерно-геологічним умовам. Перед початком робіт необхідно виконати детальне обстеження стану ґрунтів у зоні ремонту, оскільки їхні фізико-механічні властивості безпосередньо впливають на безпечність і результативність застосування цієї технології.

Таким чином, проведений аналіз показав, що під час реконструкції системи водопостачання із заміною найбільш зношених та аварійних ділянок водопровідних мереж доцільно використовувати безтраншейні технології. На сьогодні вони широко застосовуються під час відновлення (санації) та прокладання нових водопровідних трубопроводів.

Під час вибору оптимального варіанта підвищення надійності трубопроводів у процесі їх експлуатації необхідно враховувати як технічні характеристики, так і економічну доцільність реалізації проекту.

Після впровадження розроблених у роботі рішень мешканці населеного пункту будуть забезпечені безперервним постачанням питної води належної якості, яка відповідатиме встановленим державним санітарно-гігієнічним вимогам і стандартам [6].

1.3.3 Обґрунтування заходів з підготовки питної води

Для підготовки питної води застосовується двоступенева схема очищення із використанням освітлювачів з завислим шаром осаду та швидких фільтрів.

Принцип роботи прояснювача із завислим шаром осаду полягає в очищенні води під час її проходження через спеціально сформований шар шар частинок осаду, які знаходяться у завислому стані. Забруднена вода подається в нижню частину споруди та піднімається вгору, проходячи крізь цей шар. Під час руху через завислий осад дрібні завислі та колоїдні домішки затримуються і приєднуються до частинок осаду, утворюючи більші пластівці. У результаті цього процесу домішки осідають у шарі осаду або опускаються на дно споруди, Таким чином:

- завислий шар осаду затримує і поглинає дрібні домішки;
- відбувається укрупнення частинок і їх осадження;
- у верхній частині прояснювача формується освітлена (очищена) вода, яка відводиться далі на наступні етапи очищення.

Осад, що накопичується в нижній частині споруди, періодично видаляється, щоб підтримувати стабільну роботу прояснювача.

Під час підготовки води з поверхневих джерел застосовуються коагуляційні процеси, а їхня результативність значною мірою визначається якістю технологічного контролю та правильністю регулювання режимів роботи.

Для реалізації коагуляції у практиці підготовки питної води використовують різні реагенти – коагулянти, флокулянти, лужні добавки, хлор та інші речовини. Досягнення належного ефекту можливе лише за умови точного визначення та дотримання оптимальних доз цих компонентів.

Однак присутність гумусових сполук у воді поверхневих джерел питного водопостачання значно ускладнює процеси її очищення та знижує ефективність знезараження із застосуванням хлору чи хлоровмісних реагентів. Через наявність органічних речовин під час хлорування формуються хлорорганічні сполуки, які є токсичними та здатні виявляти мутагенний і

канцерогенний вплив навіть у незначних концентраціях при тривалому вживанні такої води [1, 5].

Важливою складовою підготовки питної води з поверхневих джерел є застосування окисників для усунення органічних забруднень. Наразі в Україні одним із найпоширеніших способів знезараження води залишається хлорування [7-9], оскільки хлор як дезінфікуючий агент має тривалу післядію.

Аналіз підходів до запобігання утворенню токсичних побічних продуктів дезінфекції свідчить, що для цього дедалі частіше використовують альтернативні окисники-дезінфектанти, які не сприяють формуванню тригалогенметанів, зокрема озон і діоксид хлору. Застосування таких речовин дозволяє значно знизити концентрацію хлорорганічних сполук у воді. Після озонування додатково проводять очищення із використанням сорбентів. Така технологічна схема забезпечує отримання води високої якості, що відповідає встановленим нормативам [11-13].

Одним із ефективних і перспективних способів видалення органічних речовин із води є застосування адсорбції на активованому вугіллі. При цьому на поверхні вугілля формується значна кількість мікроорганізмів і утворюється щільна біоплівка, що підвищує ефективність усунення органічних забруднень [11, 12].

Поглиблене вилучення природних органічних сполук у процесі водоочищення дає змогу не лише зменшити утворення токсичних побічних продуктів хлорування на завершальному етапі підготовки питної води, а й запобігти вторинному мікробному забрудненню в системах розподілу. Крім того, це сприяє зниженню вмісту іонів важких металів у питній воді [11, 14].

У даному випадку на існуючих очисних спорудах водопостачання доцільно:

- замінити систему знезараження рідким хлором на комбіновану – озонування + гіпохлорит натрію;
- встановити автоматизований контроль якості;
- побудувати додатковий резервуар чистої води.

- реконструювати існуючі фільтри із заміною трубчастого дренажу на систему з ковпачковими форсунками та впровадженням повітряно-водяного промивання. Встановлення більш ефективної сучасної дренажної системи сприятиме рівномірному розподілу води і забезпечить стабільну роботу споруд);

Дренажна система є одним із ключових конструктивних елементів фільтрів, оскільки забезпечує рівномірне розподілення промивної води по всій площі фільтрувальної споруди, а також ефективний збір і відведення очищеної води в однопоточних фільтрах. Для влаштування дренажу можуть застосовуватися різні конструкції, зокрема щілинні трубопроводи, дренажні ковпачки, перевернуті лійки, системи типу «стакан у стакані», пористі керамічні плити та елементи з пористого бетону.

Серед існуючих рішень найбільшого поширення набули ковпачкові дренажні системи, які відзначаються високою ефективністю роботи та надійністю в експлуатації (рис. 1.1).

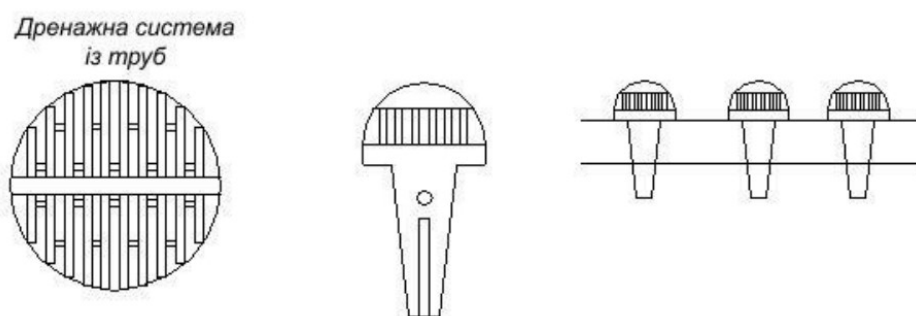


Рисунок 1.1 – Конструктивні рішення дренажних систем фільтрів

Існуючі фільтри мають лише водяне промивання. Реконструкція передбачає:

1. подачу стисненого повітря;
2. спільне повітряно-водяне промивання;
3. завершальне водяне промивання.

Перевагами повітряно-водяного промивання є:

- краща регенерація завантаження;
- економія промивної води;
- збільшення ресурсу фільтра.

На основі аналізу результатів досліджень вихідної води, яка відзначається підвищеним вмістом природних органічних речовин, а також з урахуванням досвіду функціонування існуючих станцій підготовки води, у роботі запропоновано технологічну схему очищення, яка передбачає попереднє озонування, подальше коагулювання, прояснення, фільтрування та знезараження природної води.

Особливістю технологічної схеми підготовки питної води є застосування стадій озонування та подальшого фільтрування через активоване вугілля, що забезпечує більш ефективне сорбційне вилучення органічних сполук. Попередня обробка води озоном підвищує здатність багатьох органічних речовин до біохімічного розкладання, що покращує загальну ефективність очищення.

Очікуваний результат: реалізація проєкту дозволить забезпечити місто стабільною якісною питною водою, відповідно до вимог ДСанПіН [6], зменшити аварійність, а також підвищити енергоефективність та довговічність споруд.

1.3.4 Сучасні технології зневоднення осадів

Одним із найважливіших етапів роботи очисних споруд є обробка та зневоднення осадів. Осади, що утворюються на водопровідних станціях після процесів коагуляції, відстоювання та промивання фільтрів, мають високу вологість і значні об'єми, що ускладнює їх транспортування та утилізацію.

Група ESMIL виробляє сучасне обладнання для механічного зневоднення осадів, серед якого:

- Multi-Disc Screw Press MDQ;
- стрічкові фільтр-преси;
- шнекові згущувачі;
- системи механічного згущення осаду.

Однією з найбільш перспективних технологій є багатодисковий шнековий дегідратор (Multi-Disc Screw Press), принцип роботи якого

базується на повільному механічному стисканні осаду між рухомими та нерухомими дисками.

Основними перевагами таких установок є:

- низьке енергоспоживання;
- мінімальні витрати промивної води;
- автоматичний режим роботи;
- компактність;
- низький рівень шуму;
- можливість роботи з осадами малої концентрації.

Порівняно з центрифугами та камерними фільтр-пресами шнекові дегідратори характеризуються нижчими експлуатаційними витратами та спрощеним технічним обслуговуванням.

Для сучасних водопровідних станцій впровадження обладнання для зневоднення осаду є важливим елементом екологічної модернізації, оскільки дозволяє:

- зменшити об'єм осаду у 4–6 разів;
- скоротити витрати на вивезення;
- знизити негативний вплив на навколишнє середовище;
- забезпечити можливість подальшої утилізації осадів.

Мультидискові шнекові дегідратори серії MDQ/MDC використовуються для ефективного видалення вологи з осадів міських очисних споруд та промислових стічних вод різного походження.

Технологія мультидискового зневоднення дозволяє суттєво скоротити експлуатаційні витрати у порівнянні з традиційними системами. Зменшується споживання флокулянтів і промивної води, відсутня необхідність у регулярній заміні деталей, що зношуються, а енергоспоживання залишається на низькому рівні. При цьому обладнання не потребує складного сервісного обслуговування та постійного нагляду операторів.

Після обробки у дегідраторі осад досягає рівня залишкової вологості близько 60–82%. Середня витрата флокулянта при цьому складає орієнтовно 1,5–3,5 кг на 1 тону сухої речовини осаду.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Обчислення розрахункових витрат води. Побудова графіка споживання води за годинами доби

Визначення обсягів водоспоживання населенням

Середньодобовий об'єм води, необхідний для забезпечення господарсько-питних потреб населення, визначається за формулою, м³/добу.

$$Q_{\text{доб.}} = \frac{q_{\text{жс}} \cdot N_{\text{жс}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.1)$$

У розрахунку використовуються такі показники:

$q_{\text{ж}}$ – норма споживання води на одну особу для господарсько-питних потреб (приймається 210 л/добу на одного мешканця);

$N_{\text{ж}}$ – кількість населення, що приймається для розрахунку.

$$Q_{\text{доб.}} = \frac{210 \cdot 126000}{1000} = 27246,15 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Визначення витрати води в період максимального добового споживання

Розрахунковий обсяг води за добу з найбільшим споживанням визначається за формулою (2.2), м³/добу, з урахуванням коефіцієнта добової нерівномірності $K_{\text{доб.макс}}$, який приймається відповідно до нормативного джерела [15].

Максимальна добова витрата води становить:

$$Q_{\text{доб.макс}} = K_{\text{доб.макс}} \cdot Q_{\text{доб}}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.2)$$

$$Q_{\text{доб.макс}} = 1,2 \cdot 27246,15 = 32695,38 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Витрата води населенням з урахуванням додаткових (неврахованих) витрат

$$Q_{\text{Н}} = K_{\text{Н}} \cdot Q_{\text{доб.макс}}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.3)$$

де $K_{\text{Н}}$ – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати води, для малих та середніх міст обираємо $K_{\text{Н}} = 1,1$ [15].

$$Q_{\text{Н}} = 1,1 \cdot 32695,38 = 35\,964,92 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Витрати води, необхідні для поливу

Обсяг води, необхідний для поливу та миття вулиць і площ, а також для зрошення зелених насаджень, визначається з урахуванням площі територій та встановлених норм водоспоживання для відповідних категорій робіт.

$$Q_{\text{полив}} = \frac{q_{\text{полив}} \cdot N_{\text{жс}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.4)$$

$$Q_{\text{полив}} = \frac{50 \cdot 126000}{1000} = 6300 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

$$Q_{\text{полив}}^{\text{ручн}} = 0,3 \cdot Q_{\text{полив}} = 0,3 \cdot 6300 = 1890 \text{ м}^3/\text{добу},$$

$$Q_{\text{полив}}^{\text{маш}} = 0,7 \cdot Q_{\text{полив}} = 0,7 \cdot 6300 = 4410 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Водоспоживання на промислових підприємствах

На промислових об'єктах вода використовується для забезпечення господарсько-питних потреб персоналу ($Q_{\text{г-п}}$), приймання душу працівниками ($Q_{\text{душ}}$), а також для виконання виробничих процесів ($Q_{\text{техн}}$). Загальний добовий обсяг водоспоживання підприємства визначається як сума зазначених складових та розраховується за формулою, $\text{м}^3/\text{добу}$.

$$Q_{\text{пп}} = Q_{\text{г-п}} + Q_{\text{душ}} + Q_{\text{техн}}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.5)$$

Витрати води на господарсько-питні потреби працівників

Обсяг води, необхідний для задоволення господарсько-питних потреб персоналу, встановлюється відповідно до чисельності працівників і діючих норм водоспоживання.

$$Q_{\text{г-п}} = Q_{\text{г.ц.}} + Q_{\text{х.ц.}}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.6)$$

$$\text{де } Q_{\text{г.ц.}} = \frac{45 \cdot N_{\text{г.ц.}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{добу} - \text{витрата води в гарячих цехах}; \quad (2.7)$$

$$Q_{\text{х.ц.}} = \frac{25 \cdot N_{\text{х.ц.}}}{1000}, \text{ м}^3/\text{добу} - \text{витрата води в холодних цехах}, \quad (2.8)$$

$N_{\text{г.ц.}}$ та $N_{\text{х.ц.}}$ – це загальна кількість працівників (у всіх змінах), які працюють відповідно в гарячих і холодних цехах.

Витрати води на приймання душу

Обсяг води, що витрачається на користування душовими, визначається з урахуванням чисельності працівників, які користуються душем після зміни, а також встановлених норм водоспоживання на одну особу.

$$Q_{душ} = \frac{500 \cdot 45 \cdot N_c}{1000 \cdot 60}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.9)$$

Розрахункова кількість душових сіток, що експлуатуються протягом доби (з урахуванням усіх змін), визначається відповідно до чисельності працівників і пропускної спроможності обладнання - однієї душової сітки (n).

$$N_c = \frac{N_{душ}}{n} \quad (2.10)$$

де $N_{душ}$ – кількість працівників, які користуються душовими;

Витрати води на виробничі потреби

Добовий обсяг води, необхідний для забезпечення технологічних процесів, визначається за формулою, $\text{м}^3/\text{добу}$

$$Q_{техн} = 3,6 \cdot q_{техн} \cdot T \cdot K, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.11)$$

Результати розрахунків водоспоживання для промислових підприємств узагальнено та наведено в таблиці 2.1.

Розрахунковий обсяг водоспоживання міста

Загальне розрахункове водоспоживання населеного пункту включає:

- витрати води на господарсько-питні потреби в добу максимального споживання з урахуванням неврахованих втрат;
- обсяги води на полив територій;
- водоспоживання промислових підприємств.

Сумарний добовий обсяг визначається за формулою, $\text{м}^3/\text{добу}$:

$$Q_{міста} = Q_H + Q_{полив} + Q_{пт}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (2.12)$$

$$Q_{міста} = 35\,964,92 + 6300 + 1390,52 = 43655,44 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Таблиця 2.1 - Визначення розрахункових витрат води на промпідприємствах

Підприємства	Змена	Кількість працівників								Пропускна здатність душової сітки (п) (в гар.ц./в хол.ц.)	Розрахункова кількість душових сіток (N _с)(в гар.ц.+в хол.ц.)	Розрахункові витрати води (м ³ /добу)						
		загальна		в гарячих цехах		в холодних цехах		що користуються душем				на госп-питні потреби працівників			на користування душем (Q _{душ})	на технологічні потреби		Загальна витрата (Q _{пн})
		%	прац.	%	чел (N _{г.ц.})	%	чел (N _{х.ц.})	% (в гор.ц./в хол.ц.)	чел (N _{душ}) (в гор.ц./в хол.ц.)			в гар.цеху (Q _{г.ц.})	в хол.цеху (Q _{х.ц.})	Всього (Q _{х-п})		Q _{техн} (л/с)	Q _{техн} (м ³ /змін)	
1.	I	35	2135	30	640	70	1495	65/50	416/748	9/12	46+62=108	28,8	37,37	66,17	40,5	2,3	66,24	172,91
	II	35	2135	35	748	65	1387	65/50	487/693	9/12	54+58=112	33,66	36,06	69,72	42	2,3	66,24	177,96
	III	30	1830	35	640	65	1190	65/50	416/595	9/12	46+50=96	28,8	29,75	58,55	36	2,3	66,24	160,79
	Σ	100	6100	-	2028	-	4072	-	-	-	316	91,26	103,18	194,44	118,5	-	198,72	511,66
2.	I	30	282	70	198	30	84	70	198	12	16	8,91	2,1	11,01	6	6,8	195,84	211,85
	II	30	282	70	198	30	84	70	198	12	16	8,91	2,1	11,01	6	6,8	195,84	211,85
	III	40	376	60	226	40	150	70	263	12	22	10,17	3,75	13,92	8,25	6,8	195,84	218,01
	Σ	100	940	-	622	-	318	-	-	-	54	27,99	7,95	35,94	20,25	-	587,52	641,74
3.	I	50	440	40	176	60	264	65	286	12	24	7,92	6,6	14,52	9	3,2	92,16	119,68
	II	50	440	60	264	40	176	65	286	12	24	11,88	4,4	16,28	9	3,2	92,16	117,44
	Σ	100	880	-	440	-	440	-	-	-	48	19,8	11,0	30,8	18	-	184,32	237,12

Σ 1390,52

Нерівномірність водоспоживання протягом доби

Споживання води в місті змінюється залежно від часу доби. Розподіл витрат за годинами наведено в таблиці 1.2.

Коефіцієнти годинної нерівномірності для господарсько-питних потреб населення визначаються з урахуванням коефіцієнта максимальної годинної нерівномірності $K_{\text{год.мах}}$.

$$K_{\text{год.мах}} = \alpha_{\text{мах}} \cdot \beta_{\text{мах}}, \quad (2.13)$$

При цьому:

$\alpha_{\text{мах}}$ – коефіцієнт, що враховує рівень благоустрою території, режим роботи промислових підприємств та інші місцеві чинники (приймається 1,3 згідно з [15]);

$\beta_{\text{мах}}$ – коефіцієнт, який залежить від чисельності населення, прийнятий 1,14 згідно з рекомендаціями [15].

З урахуванням зазначених параметрів визначається значення $K_{\text{год.мах}}$.

$$K_{\text{год.мах}} = 1,3 \cdot 1,14 = 1,48 \approx 1,5$$

Годинна витрата води

Годинний обсяг води, що використовується населенням на господарсько-питні потреби, обчислюється за формулою, м³/год.

$$Q_n^{\text{час}} = a_n \cdot \frac{Q_n}{100}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.14)$$

Коефіцієнти годинної нерівномірності водоспоживання для працівників гарячих ($\alpha_{\text{г.ц}}$) і холодних цехів ($\alpha_{\text{х.ц}}$) приймаються відповідно до рекомендацій [15]. Розрахунок здійснюється з урахуванням тривалості робочої зміни (8 годин), а також коефіцієнтів максимальної годинної нерівномірності:

- для гарячих цехів – $K_{\text{г.ц}} = 2,5$;
- для холодних цехів – $K_{\text{х.ц}} = 3,0$.

Таблиця 2.2 - Водоспоживання міста за годинами доби

Години доби	Водоспоживання на госп-питні потреби населення		Водоспоживання на поливку		Водоспоживання на потреби промпідприємств									
	% (а _н)	м ³ /год	ручну, м ³ /год	машин-ну м ³ /год	Підприємство 1					Підприємство 2				
					на госп-питні потреби працівників				душові витрати, м ³ /год	витрата води на технологічні потреби, м ³ /год	на госп-питні потреби працівників			
					в гарячих цехах		в холодних цехах				в гарячих цехах		в холодних цехах	
					%	м ³ /год	%	м ³ /год			%	м ³ /ч	%	м ³ /ч
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0-1	2,5	899,12		275,625	15,65	4,51	18,75	5,578	42	8,28	12,05	1,225	6,25	0,234
1-2	2,5	899,12		275,625	12,05	3,47	6,25	1,859	-	8,28	12,05	1,225	12,5	0,469
2-3	2,5	899,12		275,625	12,05	3,47	12,5	3,719	-	8,28	12,05	1,225	12,5	0,469
3-4	2,5	899,12		275,625	12,05	3,47	12,5	3,719	-	8,28	12,05	1,225	18,75	0,703
4-5	2,5	899,12			12,05	3,47	18,75	5,578	-	8,28	12,05	1,225	6,25	0,234
5-6	4,3	1546,50	315		12,05	3,47	6,25	1,859	-	8,28	12,05	1,225	12,5	0,469
6-7	5,5	1978,07	315		12,05	3,47	12,5	3,719	-	8,28	12,05	1,225	12,5	0,469
7-8	5,5	1978,07	315		12,05	3,47	12,5	3,719	-	8,28	15,65	1,595	18,75	0,703
8-9	6,7	2409,65			15,65	4,51	18,75	7,007	36	8,28	12,05	1,074	6,25	0,132
9-10	6,7	2409,65			12,05	3,47	6,25	2,336	-	8,28	12,05	1,074	12,5	0,262
10-11	6,7	2409,65			12,05	3,47	12,5	4,671	-	8,28	12,05	1,074	12,5	0,262
11-12	4,5	1618,42			12,05	3,47	12,5	4,671	-	8,28	12,05	1,074	18,75	0,394
12-13	3,9	1402,64		275,625	12,05	3,47	18,75	7,007	-	8,28	12,05	1,074	6,25	0,132
13-14	3,5	1258,77		275,625	12,05	3,47	6,25	2,336	-	8,28	12,05	1,074	12,5	0,262
14-15	5,5	1978,07		275,625	12,05	3,47	12,5	4,671	-	8,28	12,05	1,074	12,5	0,262
15-16	5,5	1978,07		275,625	12,05	3,47	12,5	4,671	-	8,28	15,65	1,392	18,75	0,394
16-17	5,3	1906,14		275,625	15,65	5,268	18,75	6,761	40,5	8,28	12,05	1,074	6,25	0,132
17-18	5,3	1906,14	315	275,625	12,05	4,056	6,25	2,253	-	8,28	12,05	1,074	12,5	0,262
18-19	4,1	1474,56	315	275,625	12,05	4,056	12,5	4,508	-	8,28	12,05	1,074	12,5	0,262
19-20	3,5	1258,77	315	275,625	12,05	4,056	12,5	4,508	-	8,28	12,05	1,074	18,75	0,394
20-21	3,5	1258,77		275,625	12,05	4,056	18,75	6,761	-	8,28	12,05	1,074	6,25	0,132
21-22	2,5	899,12		275,625	12,05	4,056	6,25	2,253	-	8,28	12,05	1,074	12,5	0,262
22-23	2,5	899,12		275,625	12,05	4,056	12,5	4,508	-	8,28	12,05	1,074	12,5	0,262
23-24	2,5	899,12		275,625	12,05	4,056	12,5	4,508	-	8,28	15,65	1,392	18,75	0,394
	100,0	35 964,92	1890	4410	-	91,26	-	103,18	118,5	198,72	-	27,99	-	7,95

Продовження табл. 2.2

Години доби	Водоспоживання на потреби пром підприємств								Сумарне водоспоживання	
	Підприємство 2		Підприємство 3							
	душові витрати, м ³ /год	витрата води на технологічні потреби, м ³ /год	на госп.-питні потреби працівників				душові витрати, м ³ /год	витрата води на технологічні потреби, м ³ /год	%	м ³ /год
			в гарячих цехах		в холодних цехах					
		%	м ³ /год	%	м ³ /год					
0-1	6	24,48	15,65	1,242	18,75	0,825	9	-	2,933271	1280,619
1-2	-	24,48	-	-	-	-	-	-	2,781889	1214,528
2-3	-	24,48	-	-	-	-	-	-	2,786149	1216,388
3-4	-	24,48	-	-	-	-	-	-	2,786685	1216,622
4-5	-	24,48	-	-	-	-	-	-	2,158547	942,387
5-6	-	24,48	-	-	-	-	-	-	3,633398	1586,283
6-7	-	24,48	-	-	-	-	-	-	5,347685	2334,713
7-8	-	24,48	-	-	-	-	-	-	5,349068	2335,317
8-9	6	24,48	0	0	0	0	-	11,52	6,467607	2823,653
9-10	-	24,48	12,05	1,431	6,25	0,413	-	11,52	5,641335	2462,916
10-11	-	24,48	12,05	1,431	12,5	0,825	-	11,52	5,647627	2465,663
11-12	-	24,48	12,05	1,431	12,5	0,825	-	11,52	3,835609	1674,565
12-13	-	24,48	12,05	1,431	18,75	1,237	-	11,52	3,978378	1736,896
13-14	-	24,48	12,05	1,431	6,25	0,413	-	11,52	3,636554	1587,661
14-15	-	24,48	12,05	1,431	12,5	0,825	-	11,52	5,29041	2309,708
15-16	-	24,48	12,05	1,431	12,5	0,825	-	11,52	5,291441	2310,158
16-17	8,25	24,48	15,65	1,863	18,75	1,237	9	11,52	5,268472	2300,13
17-18	-	24,48	12,05	0,954	6,25	0,275	-	11,52	5,840616	2549,919
18-19	-	24,48	12,05	0,954	12,5	0,55	-	11,52	4,857873	2120,869
19-20	-	24,48	12,05	0,954	12,5	0,55	-	11,52	4,363906	1905,211
20-21	-	24,48	12,05	0,954	18,75	0,825	-	11,52	3,647585	1592,477
21-22	-	24,48	12,05	0,954	6,25	0,275	-	11,52	2,812516	1227,899
22-23	-	24,48	12,05	0,954	12,5	0,55	-	11,52	2,824037	1232,929
23-24	-	24,48	12,05	0,954	12,5	0,55	-	11,52	2,819341	1230,879
	20,25	587,52	-	19,8	-	11,0	18	184,32	100	43655,44

Годинний обсяг води, що витрачається на господарсько-питні потреби працівників гарячих цехів, визначається за формулою, м³/год

$$Q_{г.ц.}^{год} = a_{г.ц.} \cdot \frac{Q_{г.ц.}^{зм}}{8}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.15)$$

Аналогічно розраховується погодинна витрата для працівників холодних цехів, м³/год

$$Q_{х.ц.}^{год} = a_{х.ц.} \cdot \frac{Q_{х.ц.}^{зм}}{8}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.16)$$

У цих розрахунках використовуються показники водоспоживання на господарсько-питні потреби працівників гарячих і холодних цехів відповідно по змінах (див. табл. 2.1).

Витрати води на користування душовими на промислових підприємствах враховуються в годину, що настає після завершення відповідної робочої зміни.

Обсяг води, необхідний для технологічних процесів, приймається рівномірним протягом усього робочого періоду та залишається сталим у межах зміни.

$$Q_{техн}^{год} = 3,6 \cdot q_{техн}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.17)$$

Витрати води на зрошення територій приймаються рівномірними протягом установленого періоду поливу, який становить:

- для ручного поливання – 6 годин (по 3 години вранці та ввечері);
- для механізованого (машинного) поливу – 16 годин.

Годинний обсяг води при ручному поливанні становить

$$Q_{год}^{ручн.} = \frac{Q_{полив}^{ручн.}}{6} = \frac{900}{6} = 150 \text{ м}^3/\text{год},$$

а при машинному способі

$$Q_{год}^{маш.} = \frac{Q_{полив}^{маш.}}{16} = \frac{2100}{16} = 131,25 \text{ м}^3/\text{год}.$$

На підставі розрахункових даних, наведених у таблиці 2.2, побудовано добовий графік водоспоживання міста, який подано на рисунку 2.1.

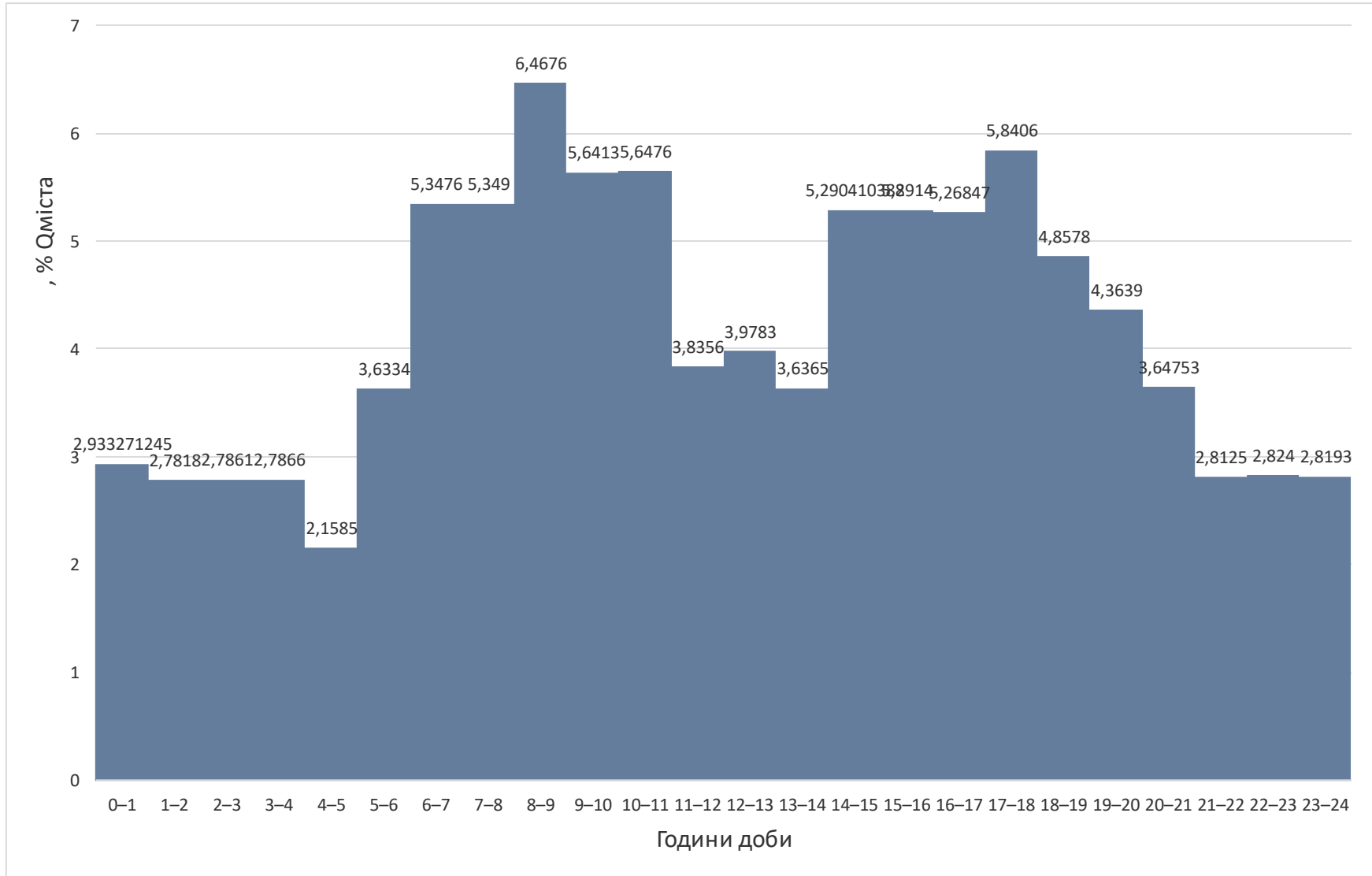


Рисунок 2.1 – Водоспоживання міста за годинами доби

Визначення витрат води на пожежогасіння

Обсяг води, необхідний для забезпечення зовнішнього пожежогасіння в межах міста, визначається за формулою, м³/добу

$$Q_{\text{пож}} = 3,6 \cdot q_{\text{пож}} \cdot n_{\text{пож}} \cdot 3, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (2.18)$$

У розрахунку враховуються такі показники:

$q_{\text{пож}}$ – нормативна витрата води на ліквідацію однієї пожежі, що встановлюється залежно від чисельності населення та поверховості забудови (приймається 40 л/с згідно з [15]);

$n_{\text{пож}}$ – розрахункова кількість пожеж, які можуть виникнути одночасно, визначається залежно від кількості мешканців (приймається 3 відповідно до [15]).

$$Q_{\text{пож}} = 3,6 \cdot 40 \cdot 3 \cdot 3 = 1296 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Згідно з вимогами нормативного документа [15], розрахунковий обсяг води для пожежогасіння має бути гарантовано забезпечений у період найбільшого водоспоживання на інші потреби, тобто в годину максимального навантаження системи.

$$43655,44 + 1296 = 44951,44 \text{ м}^3/\text{добу} \text{ або } 1872,98 \text{ м}^3/\text{год}$$

2.2 Відновлення аварійного трубопроводу за допомогою рукавного покриття «Санлайн»

Для вирішення проблем водопостачання міста, розташованого у Черкаській області у роботі пропонується використання інноваційних технологій та сучасного устаткування. Передбачається відновлення зношеної сталеві труби діаметром 500 мм з додатковим влаштуванням колодязів з вузлами технологічного обліку в критичних секторах водоспоживання. Запропоновані рішення сприятимуть зменшенню надходження частинок іржі у питну воду та забезпечать нормативний вміст заліза на відміну від старих сталевих труб й тим самим покращиться якість питної води. Крім того, планується прокласти нову гілку полімерної труби діаметром 300,0 мм (протяжністю 0,18 км), що забезпечить можливість підключення до

центрального водопроводу жителів, що проживають в кварталах індивідуальної забудови (270 житлових будинків з населенням близько 1 000 осіб), за рахунок чого значно покращаться умови проживання мешканців кварталу.

В умовах щільної забудови міських територій найбільш раціональним і економічно виправданим підходом є застосування безрозкопних технологій ремонту та реконструкції трубопроводних систем.

Беручи до уваги національний і міжнародний досвід їх використання, а також результати аналізу сучасних методів безтраншейної санації, їх технічні характеристики, сильні сторони та обмеження, у даному випадку до впровадження доцільно рекомендувати технологію рукавної реконструкції «Санлайн».

Запропонований у роботі інноваційний метод рукавного покриття «Санлайн» дозволить повернути в експлуатацію трубопровід, який втратив свою працездатність, забезпечити стабільну пропускну здатність протягом тривалого терміну експлуатації.

Використання запропонованої технології дасть змогу істотно знизити рівень питомої аварійності, що відображає надійність функціонування розподільчої мережі. Цей показник має велике значення як з економічної точки зору (витрати на усунення аварійних ситуацій), так і з соціальної (вплив на кількість відключень споживачів).

Цей спосіб передбачає відновлення трубопроводу шляхом інсталяції гнучкого рукава з нетканого синтетичного полотна, просоченого епоксидною композицією, який після монтажу проходить процес твердіння [16].

У результаті всередині зношеної або аварійної труби утворюється нова самонесуча склопластикова оболонка, що характеризується високими показниками хімічної стійкості, міцності та зносостійкості до абразивного впливу.

Запропонована технологія Sanline належить до групи безтраншейних методів релайнінгу (внутрішньої санації), які дозволяють відновлювати зношені або пошкоджені трубопроводи без їх повного демонтажу. Метод

полягає у формуванні нової самонесучої труби всередині існуючого трубопроводу за рахунок введення спеціального армованого рукава, який потім перетворюється на нову внутрішню трубу [16].

Застосування технології «Санлайн» дає можливість реконструювати аварійний трубопровід шляхом створення усередині старого аварійного трубопроводу нову самонесучу склопластикову трубу, що характеризується підвищеною механічною та хімічною стійкістю, а також стійку до абразивного зношування [16].

Основні стадії виконання робіт

1. Підготовчі заходи

Спочатку здійснюється очищення внутрішньої поверхні існуючого трубопроводу від продуктів корозії, нашарувань і забруднень. Після цього проводиться телеінспекційне обстеження для детальної оцінки технічного стану ділянки.

2. Монтаж рукава

Гнучкий композитний рукав Sanline, виготовлений із високоміцних матеріалів вводиться в трубопровід через оглядові колодязі або камери.

3. Розгортання та фіксація рукава

Усередині старої труби рукав розправляється та притискається до стінок під дією надлишкового тиску – повітряного або водяного. Це забезпечує щільне прилягання матеріалу по всій довжині ділянки.

4. Твердіння та утворення нового трубопроводу

Під впливом тиску та відповідних умов полімеризації відбувається затвердіння композитної труби. У результаті формується нова самонесуча труба з високими показниками герметичності, яка може функціонувати незалежно від технічного стану старого трубопроводу.

5. Контроль якості та запуск системи

Після завершення формування трубопроводу виконуються гідравлічні випробування й повторна відеодіагностика. За позитивних результатів ділянку вводять в експлуатацію.

Особливості та основні переваги запропонованої технології відновлення трубопроводу:

- технологія відноситься до безтраншейних – це технології, за яких немає необхідності розкопувати старий трубопровід, для яких характерні мінімальні обсяги земляних робіт і вплив на інфраструктуру;
- швидкість виконання значно більша, ніж у випадку традиційної заміни труби;
- технологія характеризується мінімальним впливом на довкілля, практично немає відкритих робіт, менше порушення доріг і благоустрою;
- довговічність сформованої всередині труби та висока стійкість до корозії та гідравлічного навантаження;
- гнучкість – рукав здатний проходити повороти та ділянки зі змінами профілю без значної втрати герметичності.

2.3 Технологічна схема очищення води

Технологічна схему очищення води розроблена з урахуванням підвищеного вмісту органічних домішок. При цьому враховано результати досліджень дніпровської води, яка відзначається значною кількістю природних органічних речовин, а також практичний досвід функціонування сучасних станцій водопідготовки. Запропонована технологія передбачає послідовне застосування таких процесів: попереднє озонування, коагуляція, освітлення, фільтрування та знезараження води.

Особливістю даної схеми є використання стадії озонування та подальшого фільтрування через активоване вугілля. Це забезпечує більш ефективне видалення органічних сполук завдяки покращенню сорбційних властивостей матеріалу. Попередня обробка озоном сприяє трансформації складних органічних речовин у більш доступні для біохімічного розкладання форми. Окрім цього, озон позитивно впливає на розвиток біологічної активності у шарі активованого вугілля, що додатково підвищує ефективність очищення води.

Згідно із запропонованою технологічною схемою, вода з поверхневого джерела на початковому етапі піддається механічному очищенню за допомогою решіток і сіток, після чого спрямовується до барботажної колони, де відбувається її обробка озоном. Озон подається в колону з генератора, у якому він попередньо утворюється.

Після завершення процесу озонування вода переходить на стадію коагуляції. Для цього до неї додають коагулянт – сульфат алюмінію ($Al_2(SO_4)_3$), а рівномірне змішування реагенту з водою забезпечується у змішувачі. У результаті формуються пластівці, які далі видаляються в прояснювачі із завислим шаром осаду.

Наступним етапом є фільтрування води через піщане завантаження у швидкому фільтрі. Для підтримання ефективності роботи такі фільтри періодично очищаються шляхом зворотного промивання водою. Після цього вода додатково проходить адсорбційне очищення у фільтрі з активованим вугіллям. Завершальною стадією є знезараження води перед подачею споживачам.

Після завершення процесів очищення та знезараження вода надходить до резервуара чистої води (РЧВ), з яких далі подається споживачам. У якості фільтрувального матеріалу для адсорбційного етапу обрано активоване вугілля марки КАУ, яке характеризується розвиненою мезопористою структурою, що забезпечує ефективне вилучення органічних домішок.

Для знезараження використовується гіпохлорит натрію ($NaClO$). Його отримання передбачено безпосередньо на станції шляхом електролізу розчину кухонної солі ($NaCl$), для чого технологічною схемою передбачено встановлення електролізера.

З метою відновлення сорбційних властивостей активованого вугілля передбачено його періодичну регенерацію після часткового вичерпання ресурсу. Регенерація здійснюється шляхом промивки завантаження розчином гідроксиду натрію ($NaOH$), який подається з бака приготування регенераційного розчину. Після цього вугілля додатково промивається

зворотним потоком води для повного видалення залишків луку. Відпрацьований регенераційний розчин підлягає подальшому відведенню та утилізації.

Застосування попереднього озонування у поєднанні з коагуляцією та подальшим фільтруванням через вугільні фільтри сприяє трансформації органічних речовин у більш біодоступні форми. Це, у свою чергу, підвищує ефективність їх біологічного розкладання у шарі завантаження, зменшує навантаження на активоване вугілля та подовжує термін його експлуатації.

Проведений аналіз досліджень свідчить, що попереднє озонування води забезпечує її ефективне знезараження. Водночас через певний час після обробки можливе відновлення життєдіяльності частини мікроорганізмів. Така здатність бактерій до реактивації у воді після озонування може розглядатися як позитивний фактор при подальшому очищенні.

Зокрема, під час фільтрування через шар активованого вугілля це сприяє формуванню біоплівки на поверхні завантаження, що підвищує ефективність біологічного очищення. Додатково, інтенсивне видалення органічних речовин на попередніх етапах обробки дозволяє суттєво зменшити ризик утворення хлорорганічних сполук на завершальній стадії знезараження води.

2.4 Розрахунок ключових елементів технологічної схеми

2.4.1 Вузол готування коагулянтів і флокулянтів

Вибрано реагентний спосіб очищення води. Як реагенти використовуються сульфат алюмінію ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) та кремнієва кислота.

У складі реагентного господарства проєктуємо розчинні та витратні резервуари, склади для зберігання реагентів, приміщення для встановлення змішувачів, а також службові кімнати.

Вузол приготування реагентів проєктуємо відповідно до встановлених нормативів [15]. Розрахункову дозу коагулянту визначаємо з урахуванням якісних показників води.

$$D_k = 4\sqrt{3} \quad (2.19)$$

$$D_k = 4\sqrt{60} = 30 \text{ мг/л},$$

З урахуванням величини каламутності води доза коагулянту дорівнює [15]: $D_k = 30 \text{ мг/л}$.

Остаточню приймаємо дозу коагулянту $D_k = 30 \text{ мг/л}$.

Відповідно до вимог [15] кількість витратних баків приймається не менше двох.

Визначаємо дозу підлужувальних реагентів, зокрема вапна.

$$D_{\epsilon} = K_{\epsilon} \cdot \left(\frac{D_k}{e_k} - L_0 \right) + 1, \quad (2.20)$$

де $K_{\epsilon} = 28$, коефіцієнт, приймається для вапна;

$e_k = 57$ – еквівалентна маса безводного коагулянту $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$;

$L_0 = 2,2 \text{ мг-екв/л}$ – лужність води поверхневого джерела

$$D_{\epsilon} = 28 \cdot \left(\frac{30}{57} - 2,2 \right) + 1 = -36 < 0$$

Оскільки величина негативна, робимо висновок, що не потрібно підлужувати воду.

Середньодобове споживання реагенту $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (товарний продукт):

$$G_{\text{коаг}} = \frac{D_k \cdot Q_p \cdot 100}{1000 \cdot 1000 \cdot p} \quad (2.21)$$

$$G_{\text{коаг}} = \frac{30 \cdot 44951,44 \cdot 100}{1000 \cdot 1000 \cdot 33,5} = 4 \text{ т/добу.}$$

де P становить 33,5 % і відповідає частці активної речовини в товарному продукті.

При врахуванні запасу на 30 діб кількість коагулянту дорівнює:

$$W_{\text{коаг}} = G_{\text{коаг}} \cdot t_{\text{скл}} \quad (2.22)$$

$$W_{\text{коаг}} = 4 \cdot 30 = 120 \text{ т}$$

Зберігання коагулянту передбачається у мокрому вигляді. Ємність баків приймається виходячи з норми $1,5 \text{ м}^3$ на 1 т коагулянту.

$$W_{\epsilon} = 1,5 \cdot W_{\text{коаг}} \quad (2.23)$$

$$W_{\epsilon} = 1,5 \cdot 120 = 180 \text{ м}^3$$

Для зберігання коагулянту прийнято чотири баки об'ємом 44,4 м³ кожний. Розміри ємностей у плані становлять 4 × 4 м, висота – 2,8 м.

Із розчинних баків приготований розчин коагулянту подається до витратних баків, де його концентрацію знижують до 10 % шляхом додавання води. Необхідний об'єм витратних баків визначається за розрахунком:

$$W_p = \frac{q_p \cdot n \cdot D_k}{10000 \cdot b \cdot \rho} \quad (\text{м}^3) \quad (2.24)$$

де $q_p = 1872,98 \text{ м}^3/\text{год}$ – розрахункова годинна продуктивність станції за водою;

$n = 10 \text{ год}$ – тривалість періоду, на який здійснюється приготування запасу розчину коагулянту;

$D_k = 30 \text{ мг/л}$ – прийнята доза коагулянту для обробки води;

$b = 5 \%$ – концентрація приготовленого розчину коагулянту;

$\rho = 1 \text{ т/м}^3$ – густина розчину коагулянту

$$W_p = \frac{1872,98 \cdot 10 \cdot 30}{10000 \cdot 5 \cdot 1} = 11,2 \text{ м}^3.$$

Вузол приготування флокулянту

Для інтенсифікації процесів коагуляції та пластівцеутворення застосовується активована кремнієва кислота. Її розрахункова доза приймається 5 % від масової концентрації коагулянту, що відповідає приблизно 3 мг/л. Залежно від температури води та умов очищення величина дози може змінюватися: у теплий період року її допускається зменшувати до 3,5 % (близько 2 мг/л), а в холодний період збільшувати до 7,5 % (приблизно 4,3 мг/л).

Активовану кремнієву кислоту вводять у воду після подачі коагулянту. Для забезпечення ефективної взаємодії реагентів необхідно витримувати певний проміжок часу між їх введенням. У літній період мінімальний інтервал становить 1 хвил, а взимку — не менше 3 хвил.

Подачу флокулянту доцільно здійснювати в трубопровід відведення води зі змішувача перед надходженням її до освітлювача. Таке розташування точки введення сприяє рівномірному розподілу реагенту та покращує процес утворення пластівців.

Витратні баки передбачаються з розрахунку безперервної роботи протягом 12 годин. Концентрація розчину в розчинних баках приймається 2 %, тоді як у витратних баках робочий розчин має концентрацію 0,5 %.

Необхідна годинна витрата активованої кремнієвої кислоти для обробки води визначається за розрахунком:

$$m = D_{\phi} \cdot Q_{\text{год}}; \quad (2.25)$$

$$W_p = 3 \cdot 1872,98 = 5618,94 \text{ г/год} = 5,62 \text{ кг/год.}$$

Добова витрата АК:

$$Q_{\text{доб}}^{AK} = D_{\phi} \cdot Q_{\text{доб}} \quad (2.26)$$

$$Q_{\text{доб}}^{AK} = 3 \cdot 44951,44 = 134854,3 \text{ г/доб} = 134,8 \text{ кг/доб}$$

Річна витрата АК складає:

$$Q_{\text{річн}}^{AK} = Q_{\text{доб}}^{AK} \cdot 365 \quad (2.27)$$

$$Q_{\text{річн}}^{AK} = 134,8 \cdot 365 = 49202 \text{ кг/рік} = 49,2 \text{ т/рік}$$

2.4.2 Розрахунок вертикального вихрового змішувача

Розрахунок змішувачів виконується відповідно до чинних нормативних вимог [15], при цьому враховується тривалість контакту води в змішувачі, яка приймається в межах 1,0–1,5 хвил.

$$q_p = \frac{44951,44}{24} = 1872,98 \text{ м}^3/\text{год} - \text{розрахункова витрата води;}$$

На підставі рекомендацій, наведених у джерелі [15], доцільно передбачити встановлення двох вертикальних змішувачів.

Площу горизонтального перерізу одного змішувача у верхній частині визначають за умови швидкості руху води 30 мм/с (або 108 м/год). Її значення дорівнює:

$$F_{\text{зм}} = \frac{Q_{\text{ч1}}}{V_B}, \quad (2.28)$$

$$F_{\text{зм}} = \frac{936,39}{108} = 8,67 \text{ м}^2.$$

Передбачено змішувач із квадратною конфігурацією в плані, при цьому розмір кожної сторони дорівнює:

$$B_6 = \sqrt{F} ; \quad (2.29)$$

$$B_6 = \sqrt{8,67} = 2,94 \approx 3 \text{ м.}$$

Діаметр підвідного трубопроводу, через який вода надходить до змішувача, приймається 400 мм.

Висоту пірамідальної частини змішувача визначаємо за умови, що кут нахилу його стінок становить 45° . Її значення дорівнює:

$$H_{\text{пир}} = \frac{B_{\text{верх}} - d_{\text{пир}}}{2 \cdot \text{tg} \alpha / 2} \quad (2.30)$$

$$H_{\text{пир}} = \frac{3 - 0,4}{2 \cdot \text{tg} 45 / 2} = 3,14 \text{ м.}$$

Розрахунок об'єму пірамідальної частини змішувача виконується за формулою:

$$W_{\text{пир}} = 1/3 H_{\text{пир}} (B_{\text{в}}^2 + d_{\text{пир}}^2 + B_{\text{в}} \cdot d_{\text{пир}}) \quad (2.31)$$

$$W_{\text{пир}} = 1/3 \cdot 3,14 \cdot (3^2 + 0,4^2 + 3 \cdot 0,4) = 10,84$$

Загальний об'єм змішувача розраховуємо, виходячи з прийнятого часу перебування води в апараті, який дорівнює 2 хв

$$W_{\text{заг}} = Q_1 \cdot t_{\text{зм}}, \quad (2.32)$$

$$W_{\text{заг}} = \frac{936,39}{3600} \cdot 120 = 31,2 \text{ м}^3$$

Далі обчислюємо об'єм верхньої призматичної частини змішувача:

$$W_{\text{приз}} = W_{\text{заг}} - W_{\text{пир}}, \quad (2.33)$$

$$W_{\text{приз}} = 31,2 - 10,84 = 20,36 \text{ м}^3$$

Величину висоти призматичної частини змішувача встановлюємо на підставі отриманого об'єму:

$$H_{\text{приз}} = W_{\text{приз}} / B^2 \text{ м}, \quad (2.34)$$

$$H_{\text{приз}} = 20,36/3^2 = 2,26 \text{ м}$$

2.4.3 Розрахунок освітлювачів із завислим осадом коридорного типу

Визначення параметрів освітлювачів із завислим осадом коридорної конструкції виконують з урахуванням сезонних та річних змін продуктивності станції підготовки води.

Вихідна вода характеризується максимальною концентрацією завислих речовин $M=16,0$ мг/дм³. Рух води в зоні освітлення приймається зі швидкістю $0,8$ мм/с, що відповідає умовам ефективного утворення та утримання завислого шару осаду.

Розподіл потоку між зоною освітлення та зоною накопичення і видалення осаду враховують через коефіцієнт $0,75$.

Середнє річне дозування коагулянту (у перерахунку на безводну речовину) становить $D_k=30$ мг/л. Забарвленість води $Z=55$ град, а її лужність – $2,3$ мг-екв/л.

Максимальну концентрацію завислих речовин у воді, що надходить до освітлювача, визначають розрахунковим шляхом за відповідною формулою:

$$C = M + K \cdot D_k + 0,25 \cdot Z, \text{ мг/л} \quad (2.50)$$

$$C = 16 + 1 \cdot 30 + 0,25 \cdot 55 = 59,75 \text{ мг/л};$$

де K – коефіцієнт, що приймається 1 у випадку використання неочищеного коагулянту $Al_2(SO_4)_3$.

Площа освітлювача розраховується окремо для зимового та літнього періодів року, щоб врахувати сезонні зміни продуктивності та фізико-хімічних властивостей води:

$$F_{\text{осв}} = \frac{q_{\text{год}} \cdot K_p}{3,6 \cdot V_{\text{осв}}}, \quad (2.51)$$

де K_p – коефіцієнт розподілу води, який приймається відповідно до [15, табл. 5.3].

Швидкість вихідного потоку у зоні освітлення ($V_{осв}$) визначається залежно від каламутності води. Для зимового періоду приймаємо $V_{осв} = 0,6$ мм/с, а для літнього – $0,7$ мм/с.

$$F_{осв}^z = \frac{1872,98 \cdot 0,75}{3,6 \cdot 0,6} = 650,34 \text{ м}^2.$$

$$F_{осв}^л = \frac{1872,98 \cdot 0,75}{3,6 \cdot 0,7} = 557,43$$

Визначимо площу зони виділення осаду:

$$F_{від} = \frac{q_{год} \cdot (1 - K_p)}{3,6 \cdot V_{осв}}, \quad (2.52)$$

$$F_{від}^z = \frac{1872,98 \cdot (1 - 0,75)}{3,6 \cdot 0,6} = 216,78$$

$$F_{від}^л = \frac{1872,98 \cdot (1 - 0,75)}{3,6 \cdot 0,7} = 185,81 \text{ м}^2.$$

Беручи до уваги визначену площу одного елемента, сумарна площа буде становити:

$$F = F_{осв} + F_{від} \quad (2.53)$$

$$F = 650,34 + 216,78 = 867,12 \text{ м}^2.$$

Для забезпечення ефективного освітлення кількість освітлювачів розраховують виходячи з максимально допустимої площі одного пристрою ($100\text{--}150 \text{ м}^2$). При попередньо визначеній площі освітлення $F_1 = 100 \text{ м}^2$ отримуємо:

$$N = \frac{F}{F_1}, \text{ шт} \quad (2.54)$$

$$N = \frac{867,12}{150} = 5,8 \text{ шт. Приймаємо } 6 \text{ шт.}$$

Визначаємо площу одного робочого коридору освітлювача:

$$F_{рк} = \frac{F_{осв}}{2 \cdot N}; \quad (2.55)$$

$$F_{рк} = \frac{650,34}{2 \cdot 6} = 54,2 \text{ м}^2.$$

Визначаємо площу одного осадощільнювача:

$$F_{o.y} = \frac{F_{від}}{N}; \quad (2.56)$$

$$F_{o.y} = \frac{216,78}{6} = 36,1 \text{ м}^2.$$

Відповідно до норм [15], ширина робочого коридору освітлювача не повинна перевищувати 3 м, тому приймаємо $B_k = 3$ м. Довжина коридору визначається розрахунком і дорівнює:

$$L = \frac{F_{рк}}{B_k} \text{ м}; \quad (2.57)$$

$$L = \frac{54,2}{3} = 18 \text{ м}.$$

Ширина одного осадощільнювача визначається як:

$$B_{oy} = \frac{F_{oy}}{L_k}, \text{ м}; \quad (2.58)$$

$$B_{o.y} = \frac{36,1}{18} = 2,0 \text{ м}.$$

З метою уніфікації конструкцій приймаємо розміри споруд, кратні 3 м. Відповідно, розміри одного освітлювача визначаються як 18×9 м.

Беручи до уваги товщини стінок $B_{ст} = 0,2$ м фактичні габарити робочого коридору становлять $17,8 \times 2,8$ м, а осадощільнювача – $17,8 \times 2,0$ м. Виходячи з цих розмірів, обчислимо реальну робочу площу освітлювача, що проектується:

$$F_{р.к} = 17,8 \cdot 2,8 = 49,84 \cdot 2 = 99,68 \text{ м}^2$$

$$F_{o.y} = 17,8 \cdot 2,0 = 35,6 \text{ м}^2$$

Загальна робоча площа освітлювача визначається на основі фактичних розмірів його конструктивних елементів

$$F_{заг} = F_{р.к} + F_{o.y} = 99,68 + 35,6 = 135,28 \text{ м}^2$$

При куті нахилу стінок 60° висота пірамідальної ділянки робочого коридору освітлювача становить:

$$H_{\text{нп}} = \frac{b_k - a}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha / 2} \quad (2.59)$$

$$H_{\text{нп}} = \frac{2,8 - 0,4}{2 \cdot \operatorname{tg} 60 / 2} = 2,08 \text{ м.}$$

Робочу висоту освітлювача визначаємо на основі конструктивних параметрів споруди

$$H_{\text{осв.}} = h_{\text{зр}} + h_{\text{зав.ш}} + h'_{\text{ок}} + h_{\text{зо}} + h_{\text{стр}}, \quad (2.60)$$

де $h_{\text{зав.ш}}$ – загальна висота шару завислого осаду, визначається за формулою:

$$H_{\text{зав.ш.}} = h'_{\text{ок}} + H_0 = 1,3 + 1,1 = 2,4 \text{ м.}$$

де $h'_{\text{ок}}$ – відстань від нижнього краю осадоприймальних вікон до місця переходу вертикальних стінок у похилі. Її значення приймають у межах 1–1,5 м.

$$H_{\text{осв}} = 1 + 2,4 + 0,2 + 2,0 + 0,3 = 5,9 \text{ м.}$$

Об'єм осадощільнювача (до рівня нижньої частини перепускних вікон) визначається для конструкції, що має дві труби для відведення осаду

$$W_{\text{o.y}} = l_k \cdot (b_{\text{o.y}} \cdot h_{\text{верт}} + (\frac{1}{2} b_{\text{o.y}} + b) \cdot h_{\text{o.y}}^{\text{нп}}) \quad (2.61)$$

де $b = 0,3\text{--}0,5$ м – значення ширини дна пірамідальної частини осадощільнювача,

$$W_{\text{o.y}} = 17,8 \cdot (2 \cdot 1,2 + (\frac{1}{2} 2 + 0,5) \cdot 2,1) = 98,8 \text{ м}^3.$$

Система водорозподілу в робочих коридорах забезпечує подачу води до кожного колектора. Об'єм води, що проходить через кожний водорозподільний колектор, визначається за формулою:

$$q = \frac{Q_{\text{год}}}{3600 \cdot 2 \cdot N} \text{ л/с}, \quad (2.62)$$

$$q = \frac{1872,98}{3600 \cdot 2 \cdot 6} = 0,043 \text{ м}^3/\text{с} = 43 \text{ л/с}$$

Приймаємо дірчастий колектор із діаметром 300 мм, при цьому швидкість входу води $V = 0,454$ м/с, $1000i = 1,18$ м.

Діаметр отворів у колекторі приймаємо 25 мм, відповідно площа одного отвору дорівнюватиме

$$f_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (2.63)$$

$$f_0 = \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} = 0,00049 \text{ м.}$$

Визначимо кількість отворів користуючись наступною формулою

$$m = \frac{q_k}{f_0 \cdot V_{отв}} \quad (2.64)$$

$$m = \frac{0,06}{0,00049 \cdot 1,5} = 44 \text{ шт.}$$

Кожну секцію освітлювача перегородками поділяється на три осередки розміром 3×4 м. У центрі кожного осередку розташовується сопло рециркулятора з конусною насадкою для підсмоктування завислого осаду. Діаметр сопел приймаємо 150 мм.

Об'єм води, що надходить до осадощільнювача разом із надлишковим осадом, визначається таким чином

$$Q_{ос} = \frac{(1-0,75) \cdot Q_{год}}{n}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.65)$$

$$Q_{ос} = \frac{(1-0,75) \cdot 1872,98}{6} = 78 \text{ м}^3/\text{год}$$

Витрата води з кожної сторони дорівнює:

$$Q_{ос} = \frac{Q_{ос}}{2}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.66)$$

$$Q_{ос} = \frac{78}{2} = 39 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Визначимо площу осадоприймальних вікон з одного боку

$$F = \frac{Q_{ос1}}{V_{вік}}, \text{ м}^2 \quad (2.67)$$

При цьому швидкість руху води з осадом у вікнах приймається $V_{вік} = 10\text{--}15 \text{ мм/с}$.

$$F = \frac{39}{0,01 \cdot 3600} = 1,1 \text{ м}^2.$$

Приймаємо висоту одного вікна 160 мм та його довжину 800 мм, тоді площа перетину одного вікна становитиме:

$$F_{\text{вік}} = 0,16 \cdot 0,8 = 0,128 \text{ м}^2.$$

Встановлюємо по 12 вікон з кожної сторони. Тоді загальна площа вікон дорівнює

$$F_{\text{вік}} = 0,128 \cdot 12 = 1,536 \text{ м}^2.$$

Швидкість руху води:

$$V_{\text{вік}} = 39 / 1,536 \cdot 3,6 = 7 \text{ мм/с}.$$

Кількість води, що витрачається на видалення осаду з осадощільнювача, визначається за формулою:

$$Q_{\text{ос}} = \frac{K_p (C_p - M)}{\delta_{\text{сер}}}, \quad (2.68)$$

де K_p – коефіцієнт розведення осаду під час його видалення, рівний 2;

M – кількість завислих речовин у воді на виході з освітлювача і яка поступає на швидкий фільтр, дорівнює 10 мг/л.

$\delta_{\text{сер}}$ – середня концентрація завислих речовин у осадощільнювачі, мг/л

$$Q_{\text{ос}} = \frac{2 \cdot (170 - 10)}{25000} = 1,28\%$$

Система відведення освітленої води з робочих коридорів

Об'єм витрати води, що припадає на один водозбірний жолоб, визначається як:

$$q_{\text{ж}} = \frac{K \cdot Q_{\text{год}}}{3600 \cdot 4 \cdot N}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.69)$$

$$q_{\text{жс}} = \frac{0,75 \cdot 1872,98}{3600 \cdot 4 \cdot 4} = 0,024 \text{ м}^3/\text{с} = 24 \text{ л/с}.$$

Значення ширини жолоба при прямокутному поперечному перерізі обчислюється за виразом:

$$B_{\text{жс}} = 0,9 \cdot q_{\text{жс}}^{0,4}; \quad (2.70)$$

$$B_{\text{жс}} = 0,9 \cdot 0,024^{0,4} = 0,2 \text{ м}$$

Прямокутні водозливи, що працюють у затопленому режимі, встановлюються на 5 см нижче верхнього краю жолоба. Глибина жолоба визначається виходячи з цього розташування:

$$h_{\text{ж}} = 5 + \frac{1,5 \cdot 20}{2} = 20 \text{ см} = 200 \text{ мм}$$

Для ефективного відводу осаду осадоприймальну частину розділяють на три відділення, кожне з яких обладнане бункером. Така конструкція дозволяє покращити відтік осаду та зменшити ймовірність прориву води. Діаметр труб для відводу осаду приймається рівним 150 мм.

2.4.4 Швидкі фільтри

Швидкі фільтри використовують для остаточного освітлення води та видалення завислих частинок. Каламутність води, що надходить на фільтрування, становить приблизно 8–12 мг/дм³. Після проходження через фільтри мутність очищеної води не повинна перевищувати 1,5 мг/дм³.

Площа швидкого фільтра визначається з урахуванням його корисної продуктивності, яка забезпечує пропуск максимальної добової витрати води. Загальна площа фільтрів становить [15]:

$$\sum F_{\phi} = \frac{Q_{\text{кор}}}{T \cdot V_n - n_{\text{пр}} \cdot q_{\text{пр}} - n_{\text{пр}} \cdot \tau \cdot V_n}; \quad (2.71)$$

де $Q_{\text{кор}}$ – корисна продуктивність станції, $Q_{\text{кор}} = 44951,44 \text{ м}^3/\text{добу}$;

T – час роботи станції протягом доби, приймається $T = 24 \text{ год}$;

$n_{\text{пр}}$ – кількість промивань одного фільтра за добу в нормальному режимі експлуатації, $n_{\text{пр}} = 2_{\text{пр}}$

V_n – швидкість фільтрування під час нормальної роботи фільтра, $V_n = 7 \text{ м/год}$;

$q_{\text{пр}}$ – питома витрата води на одне промивання фільтра, віднесена до одиниці площі фільтра за одну годину.;

$$q_{\text{пр}} = 3,6 \cdot W \cdot t \quad (2.72)$$

де W - інтенсивність промивання на 1 м^2 площі фільтра. Її значення приймають відповідно до рекомендацій [15] залежно від діаметра фракцій фільтрувального завантаження; у даному випадку, $W=16 \text{ л/с}\cdot\text{м}$;

t - тривалість процесу промивання, $t=0,1 \text{ год}$.

τ - час простою фільтра під час промивання, $\tau=0,33 \text{ год}$;

Витрата води на промивання визначається за формулою:

$$q_{np} = 3,6 \cdot 16 \cdot 0,1 = 5,76 \text{ м}^3/\text{год}.$$

$$\sum F_{\text{фільтр}} = \frac{41534}{24 \cdot 7 - 3 \cdot 5,76 - 3 \cdot 0,33 \cdot 7} = 288,85 \text{ м}^2.$$

$$\sum F = \frac{44951,44}{24 \cdot 7 - 3 \cdot 5,76 - 3 \cdot 0,33 \cdot 7} = 312,6 \text{ м}^2.$$

Попереднє число фільтрів розраховується таким чином:

$$N_{\phi} = 0,5 \cdot \sqrt{\sum F_{\phi}}, \quad (2.73)$$

$$N_{\phi} = 0,5 \cdot \sqrt{312,6} = 8,8 \text{ шт.}$$

Визначимо значення площі одного фільтра:

$$F_{\phi} = \frac{\sum F_{\phi}}{N_{\phi}} \quad (2.74)$$

$$F_{\phi} = \frac{312,6}{9} = 34,7 \text{ м}^2.$$

У проєкті передбачається фільтр із центральним розподільчим каналом шириною 1 м . Конструктивні розміри фільтра становлять $6 \times 6 \text{ м}$.

Значення робочої ширини фільтра складає

$$B_p = B_{np} - B_k - 0,6 = 6,0 - 1,0 - 0,6 = 4,4 \text{ м}$$

а величина робочої довжини дорівнює

$$L_p = L_{np} - 0,6 = 6,0 - 0,2 = 5,8 \text{ м}.$$

Знайдемо далі робочу площу фільтру

$$F_p = B_p \cdot L_p \quad (2.75)$$

$$F_p = 4,4 \cdot 5,8 = 25,52 \text{ м}^2.$$

Проводимо уточнений розрахунок кількості фільтрів.

$$N = \frac{\sum F_{\phi}}{F_1}; \quad (2.76)$$

$$N = \frac{312,6}{25,52} = 12 \text{ шт.}$$

Після визначення загальної площі обчислюємо реальну швидкість фільтрації під час нормальної експлуатації, що дорівнює:

$$V_n = \frac{Q_{\text{год}}}{F_l \cdot N_l}; \quad (2.77)$$

$$V_n = \frac{1872,98}{25,52 \cdot 12} = 6,1 \text{ м/год.}$$

Швидкість фільтрування в умовах форсованого режиму становить:

$$V_{\phi} = \frac{V_n \cdot N}{N - N_1}; \quad (2.78)$$

де N_1 - Кількість фільтрів, які одночасно виводяться на промивку і технічне обслуговування, позначається N_1 і становить 1 шт.

$$V_n = \frac{6,1 \cdot 12}{12 - 1} = 6,65 \text{ м/год.}$$

Загальна висота фільтра визначається як сума висот його складових шарів:

$$H_{\phi} = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6; \quad (2.79)$$

де H_1 - товщина самого фільтрувального елемента, $H_1 = 0,3$ м;

H_2 - шар гравію, $H_2 = 0,45$ м;

H_3 - шар піску, $H_3 = 1,5$ м;

H_4 - товщина водяного шару над фільтром, $H_4 = 2$ м;

H_5 - додаткова висота, що враховує промивання фільтра;

$$H_5 = \frac{W_0}{\sum F}; \quad (2.80)$$

H_6 - будівельна висота, $H_6 = 0,5$ м;

$$Q_{\text{сер}} = \frac{Q_{\text{год}}}{N}, \text{ м}^3/\text{ГОД} \quad (2.81)$$

$$Q_{\text{сер}} = \frac{1872,98}{12} = 156 \text{ м}^3/\text{ГОД.}$$

$$W_0 = Q_{\text{сер}} \cdot \tau, \quad (2.82)$$

де τ - час простою фільтра, $\tau = 0,33$ год;

$$W_0 = 156 \cdot 0,33 = 51,5 \text{ м}^3.$$

$$H_5 = \frac{51,5}{312,6} = 0,16$$

$$H_{\phi} = 0,3 + 0,45 + 1,5 + 2 + 0,16 + 0,5 = 4,9 \text{ м};$$

Розподільча система фільтрів

Для відведення очищеної води та проведення промивки фільтрів у проєкті пропонується замінити існуючу трубчасту розподільну систему великого опору на ковпачкову дренажну систему з повітряно-водяним промиванням.

Витрата води, необхідна для промивання одного фільтра, визначається наступним чином:

$$q_{\phi}^{np} = F_{\phi} \cdot \omega \quad (2.83)$$

Для існуючого режиму - інтенсивність промивання становить $\omega = 16 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$

$$q_{\phi}^{np} = 25,52 \cdot 16 = 408,32 \text{ л/с або } 0,408 \text{ м}^3/\text{с}$$

Якщо прийняти тривалість промивки, наприклад, 6 хв ($t=360$ с), тоді об'єм води на одну промивку:

$$W = q_{\phi}^{np} \cdot t \quad (2.84)$$

$$W = 0,408 \cdot 360 = 146,9 \approx 147 \text{ м}^3.$$

Якщо ж після реконструкції перейти на водо-повітряне промивання і знизити інтенсивність водяної промивки до $12 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$:

$$q_{\phi}^{np} = 25,52 \cdot 12 = 306,24 \text{ л/с або } 0,306 \text{ м}^3/\text{с}$$

Розрахунок витрати повітря

Приймаємо інтенсивність подачі повітря: $q_{нов} = 18 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$. Тоді:

$$Q_{нов} = 25,52 \cdot 18 = 459,36 \text{ л/с або } 0,459 \text{ м}^3/\text{с}$$

Розрахуємо об'єм води на одну промивку. При тривалості водяної промивки 6 хв ($t=360 \text{ с}$):

$$W = 0,306 \cdot 360 = 110,2 \text{ м}^3.$$

Економія на одній промивці становитиме приблизно:

$$146,9 - 110,2 = 36,7 \text{ м}^3 \text{ або близько } 25 \text{ \%}.$$

Для підвищення ефективності роботи швидких фільтрів пропонується заміна існуючої трубчастої дренажної системи на сучасну ковпачкову дренажно-розподільну систему, яка забезпечує рівномірний розподіл промивної води та повітря по площі фільтра. Як фільтруюче завантаження приймається кварцовий пісок. Для регенерації завантаження передбачається повітряно-водяне промивання. Інтенсивність подачі води прийнята $12 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$, інтенсивність подачі повітря — $18 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$. При площі фільтра $25,52 \text{ м}^2$ витрата промивної води становить $306,24 \text{ л/с}$, а витрата повітря — $459,36 \text{ л/с}$. Застосування повітряно-водяного промивання дозволяє підвищити якість очищення завантаження та зменшити витрати промивної води порівняно з традиційним водяним промиванням.

Для надійної роботи водоочисних споруд приймаємо запас на дві послідовні промивки:

$$V_{рез} = 2 \cdot 110,2 = 220,4 \text{ м}^3.$$

З урахуванням експлуатаційного запасу $10\text{--}15 \text{ \%}$ об'єм промивного резервуару становитиме: $V_{рез} \approx 250 \text{ м}^3$.

Обираємо діаметри трубопроводів для подачі та відведення промивної води.

1. Для подачі води на промивку фільтрів передбачаємо трубу, діаметр якої визначаємо за таблицями гідравлічного розрахунку.

Маємо витрату води: $q_{\phi}^{np} = 306,24 \text{ л/с або } 0,306 \text{ м}^3/\text{с}$

Для промивних водоводів приймаємо швидкість $v = 1,8$ м/с (зазвичай приймається в межах 1,5-2,0 м/с).

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad (2.85)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,306}{\pi \cdot 1,8}} = 0,465 \text{ м}$$

Для подачі промивної води до фільтра прийнято сталевий трубопровід діаметром 500 мм. Швидкість руху води становить 1,56 м/с, що відповідає рекомендованим значенням для промивних водоводів.

Трубопровід відведення промивної води.

Приймаємо швидкість $v = 1,2$ м/с (зазвичай приймається в межах 1,0-1,5 м/с).

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,306}{\pi \cdot 1,2}} = 0,57 \text{ м}$$

Для відведення промивної води передбачено трубопровід діаметром 600 мм зі швидкістю руху води 1,08 м/с.

Дренажна система всередині фільтра

Існуюча дренажна система представлена трубчастим дренажем великого опору, що складається з центрального колектора та бічних перфорованих труб.

Через отвори:

- під час фільтрування збирається очищена вода;
- під час промивки рівномірно подається вода вгору через завантаження.

У процесі реконструкції пропонується її заміна на ковпачкову дренажно-розподільну систему, яка забезпечує рівномірний розподіл промивної води та повітря по всій площі фільтра.

За варіантом з сучасним ковпачковим дренажем перфорованих труб практично не має. У такому разі проєктуються піддон або плита та пластмасові ковпачки (форсунки).

Через ковпачки подаються: вода, повітря, водоповітряна суміш.

Розрахунок системи відведення промивних вод

Існуючі промивні жолоби прямокутного перерізу зберігаються. Їх пропускна здатність забезпечує відведення промивної води при реконструйованій системі фільтрів. Реконструкція передбачає заміну лише дренажно-розподільної системи.

Для збору та відведення води, що утворюється під час промивання фільтрів передбачено жолоби прямокутного перерізу. Відстань між ними за нормами не повинна перевищувати 2,2 м. У розрахунках прийнято відстань між осями жолобів 2 м.

Виходячи із ширини фільтра, кількість жолобів визначаємо за формулою:

$$N_{\text{ж}} = \frac{B}{2}; \quad (2.86)$$

$$N_{\text{ж}} = \frac{5,8}{2} \approx 3 \text{ шт};$$

Витрата води, що припадає на один жолоб, визначається за формулою:

$$q_{\text{ж}} = \frac{q_{\text{пр}}}{N_{\text{ж}}}, \quad (2.87)$$

$$q_{\text{ж}} = \frac{408,32}{3} = 136 \text{ л/с} = 0,136 \text{ м}^3/\text{с}$$

Значення ширини жолоба обчислюється за виразом:

$$B_{\text{ж}} = K_{\text{жс}} \cdot \sqrt[5]{\frac{q_{\text{ж}}^2}{(1,57+1)^2}}; \quad (2.88)$$

де $K_{\text{ж}}$ - коефіцієнт, , що для жолобів прямокутного перерізу приймається рівним 2;

A - розрахунковий коефіцієнт, значення якого приймається 1.

$$B_{\text{ж}} = 2 \cdot \sqrt[5]{\frac{0,136^2}{(1,57+1)^2}} = 0,62 \text{ м}$$

Значення висоти жолоба обчислюється наступним чином:

$$h_{\text{пр}} = 0,5 \cdot B_{\text{жс}}, \text{ м}; \quad (2.89)$$

$$h_{\text{пр}} = 0,5 \cdot 0,62 = 0,31 \text{ м.}$$

Конструктивна висота жолоба становить:

$$H_{\text{к}} = 0,31 + 0,31 + 0,08 = 0,7 \text{ м;}$$

Висота жолобів у кінцевій частині становить:

$$H_{\text{к}} = 0,7 + \Delta K, \text{ м;} \quad (2.90)$$

$$H_{\text{к}} = 0,7 + 0,04 = 0,74 \text{ м;}$$

Відстань від кромки жолоба до поверхні піщаного шару становить:

$$H = \frac{H_3 \cdot a_3}{100} + 0,3; \quad (2.91)$$

$$H = \frac{1,5 \cdot 25}{100} + 0,3 = 0,68 \text{ м;}$$

де H_3 – висота фільтруючого шару, $H_3 = 1,5$ м;

A_3 – відносне розширення піску прийняте за таблицею 23 [15], $a_3 = 25$ %;

Відстань від дна жолоба до рівня дна каналу визначається як:

$$H_{\text{кан}} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_{\text{ж}}^2}{g \cdot B_{\text{кан}}}} + 0,2 \quad (2.92)$$

де $q_{\text{ж}}$ - витрата води, що припадає на всі жолоби, $q_{\text{ж}} = 0,408$ м³/л;

$B_{\text{кан}}$ - ширина каналу, $B_{\text{кан}} = 1$ м;

$$H_{\text{кан}} = 1,73 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,408^2}{9,8 \cdot 1}} + 0,2 = 0,64 \text{ м;}$$

Значення площі перерізу каналу обчислюється наступним чином:

$$F_{\text{кан}} = H_{\text{кан}} \cdot B_{\text{кан}}, \text{ м}^2; \quad (2.93)$$

$$F_{\text{кан}} = 0,64 \cdot 1 = 0,64 \text{ м}^2;$$

Значення швидкості руху води в каналі обчислюється за формулою:

$$V_{\text{кан}} = q_{\text{кан}} / F_{\text{кан}}, \text{ м/с;} \quad (2.94)$$

$$V_{\text{кан}} = 0,408 / 0,64 = 0,63 \text{ м/с}$$

Розрахунок втрат напору під час промивки фільтрів

Загальні втрати напору при промиванні фільтрів складаються з:

- втрат у розподільчій та дренажній системі фільтра;
- втрат у фільтруючому піщаному завантаженні;
- втрат у шарі гравію;
- втрат у напірному та всмоктуючому трубопроводах;
- втрат у трубопроводі;
- втрат у насосній станції другого підйому.

Величина втрат напору у дренажній системі визначається за формулою

$$h_{\text{д.с.}} = \zeta \cdot \frac{V_1^2}{2g} + \frac{V_2^2}{2g}; \quad (2.95)$$

де ζ - коефіцієнт гідравлічного опору, який обчислюється за виразом::

$$\zeta = \frac{2,2}{K_n^2} + 1; \quad (2.96)$$

де K_n - коефіцієнт перфорації, що розраховується за формулою:

$$K_n = \frac{\sum F_{\text{кан}}}{F_{\text{кан}}}; \quad (2.97)$$

де $F_{\text{отв}}$ - загальна площа отворів перфорованих труб, $F_{\text{отв}} = 0,07 \text{ м}^2$;

$$K_n = \frac{0,07}{0,64} = 0,2;$$

$$\zeta = \frac{2,2}{0,2^2} + 1 = 56.$$

V_1 - швидкість води на початковій ділянці колектору, $V_1 = 1,96 \text{ м/с}$;

V_2 - швидкість потоку води на вході у відповідний трубопровід, $V_2 = 1,89 \text{ м/с}$;

$$h_{\text{д.с.}} = 56 \cdot \frac{1,96^2}{2 \cdot 9,8} + \frac{1,89^2}{2 \cdot 9,8} = 11,16 \text{ м.}$$

Висота фільтруючого шару прийнята $H_{\text{ф.з.}} = 1,5 \text{ м}$.

Величина втрат напору у фільтруючому шарі розраховується за формулою:

$$H_{\text{ф.з.}} = (a + bW)H_{\text{ф.з.}}; \quad (2.98)$$

де a - коефіцієнт, який прийнятий 0,85;

b - коефіцієнт, значення якого дорівнює 0,004;

W - інтенсивність промивання фільтра, л/с·м²;

$$H_{\text{ф.з.}} = (0,85 + 0,004 \cdot 16) \cdot 1,5 = 1,371 \text{ м.}$$

Висота підтримуючого шару гравію прийнята 0,45 м;

Величина втрат напору у гравійному шарі розраховується за формулою:

$$h_{\text{гр}} = 0,022 \cdot H_{\text{грав}} \cdot W; \quad (2.99)$$

$$H_{\text{грав}} = 0,022 \cdot 0,45 \cdot 16 = 0,16 \text{ м.}$$

2.4.5 Визначення місткості резервуарів чистої води

У системах водопостачання резервуари повинні враховувати регулюючий, пожежний та аварійний об'єми води, а також обсяг води, необхідний для промивки фільтрів.

$$W_{\text{рез}} = W_{\text{рег}} + W_{\text{пож}} + W_{\text{пром}} \quad (2.100)$$

де $W_{\text{рег}}$ – регулюючий об'єм води, який визначається на основі графіка надходження та відбору води (рис. 2.1).

$W_{\text{пож}}$ – запас води для пожежних потреб.

Надходження води в резервуари чистої води (РЧВ) відбувається рівномірно протягом доби, тоді як відбір води з РЧВ здійснюється ступінчасто.

Регулюючий об'єм води в РЧВ визначається за формулою:

$$W_{\text{рег}} = \frac{a_{\text{рег}} \cdot Q_{\text{міста}}}{100}, \text{ М}^3 \quad (2.101)$$

$$W_{\text{рег}} = \frac{5,1 \cdot 43655,44}{100} = 2226,4 \text{ М}^3$$

Недоторканий запас води для протипожежних потреб визначається, виходячи з необхідності забезпечення подачі води для гасіння пожежі протягом трьох годин у період максимального водоспоживання, і розраховується за відповідною формулою:

$$W_{\text{пож}} = \frac{q_{\text{пож}} \cdot n_{\text{пож}} \cdot T_{\text{пож}} \cdot 3600}{1000} + \frac{q_{\text{пож}}^{\text{вн}} \cdot n_{\text{пож}}^{\text{вн}} \cdot t_{\text{пож}} \cdot 60}{1000} + 3Q_{\text{год}}^{\text{max}} - 3Q_{\text{год}}^{\text{сее}} \quad (2.102)$$

де $q_{\text{пож}} = 40$ л/с – нормативна витрата води для гасіння однієї зовнішньої пожежі;

$n_{\text{пож}} = 3$ – число одночасних зовнішніх пожеж;

$q_{\text{пож}}^{\text{вн}} = 2,5$ л/с – витрата води на один струмінь при гасіння внутрішньої пожежі;

$n_{\text{пож}}^{\text{вн}} = 2$ – кількість струменів для гасіння внутрішньої пожежі;

$t_{\text{пож}} = 10$ хв - тривалість гасіння внутрішньої пожежі

$3Q_{\text{год}}^{\text{max}} = 3 \cdot 2823,65 = 8467,95$ м³ – обсяг води, який витрачається протягом

трьох годин у період максимального водоспоживання, визначається відповідно до даних таблиці 2.2.

$$3Q_{\text{год}}^{\text{сер}} = \frac{3 \cdot 43655,44}{24} = 5456,93 \text{ м}^3$$

$$W_{\text{пож}} = \frac{40 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3600}{1000} + \frac{2,5 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 60}{1000} + 8467,95 - 5456,93 = 4310 \text{ м}^3$$

Крім того, у резервуарі чистої води слід передбачити додатковий об'єм, необхідний для промивання розрахункової кількості фільтрів:

$$W = \frac{\omega \cdot F \cdot n \cdot t \cdot 60}{1000}, \text{ м}^3 \quad (2.103)$$

де n - кількість промивок, $n = 2$;

F - площа фільтру, що підлягає промиванню, $F = 25,52$ м²;

ω - інтенсивність промивки, $\omega = 16$ л/с·м²;

t - час промивки, хв.

$$W_{\text{пож}} = \frac{16 \cdot 25,52 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 60}{1000} = 294 \text{ м}^3.$$

Сумарний об'єм резервуарів чистої води визначається як:

$$W_{\text{рез}} = 2226,4 + 4310 + 294 = 6830,4 \text{ м}^3.$$

Передбачається встановлення двох резервуарів чистої води об'ємом по 3500 м³ кожен. Габарити кожного резервуара в плані становлять 24 × 36 м, а висота – 4,0 м.

Максимальний рівень води в РЧВ $Z_{\text{max.ур.РЧВ}} = 134,50$ м,

Мінімальний розрахунковий рівень води в РЧВ (для подачі води на госп.-питні потреби) $Z_{\text{min.ур.РЧВ}} = 131,20$ м.

2.4.6 Первинне знезараження води озоном

Передбачаємо двоетапне знезараження води: первинне – перед подачею на очисні споруди, та вторинне – перед надходженням води до резервуара чистої води.

Озон для первинного знезараження води отримують в озонаторах безпосередньо на водоочисній станції із кисню, що міститься в атмосферному повітрі. Перед подачею в озонатори повітря необхідно попередньо підготувати.

Процес підготовки повітря включає кілька послідовних і взаємопов'язаних етапів: спочатку здійснюється його очищення від пилу та дрібнодисперсних аерозолів, які завжди присутні в атмосфері; далі повітря піддається стисненню; після цього його охолоджують до температури близько 5 °С. Наступним кроком є осушення шляхом пропускання через адсорбенти (такі як силікагель або алюмогель) до досягнення вологості приблизно 0,05 г/м³; на завершальному етапі повітря додатково фільтрують через тканинні фільтри для видалення залишків масел та інших можливих домішок.

Лише після такої підготовки повітря надходить до озонатора, де з кисню, що міститься в ньому, утворюється озон. На виході формується озоно-повітряна суміш із концентрацією озону приблизно 10–12 мг/л.

Витрати електроенергії на підготовку повітря та утворення озону становлять приблизно 16,5–18 кВт·год на 1 кг озону. Для роботи озонатора та створення необхідного електричного розряду використовується струм високої напруги в межах 15–18 кВ.

Усе обладнання, що забезпечує кондиціонування повітря, генерацію озону та електроживлення, розміщують у спеціальному приміщенні - озонаторній. У цьому приміщенні обов'язково передбачаються відповідні заходи безпеки при роботі з токсичними газами, оскільки озон є високотоксичною речовиною.

Важливою складовою озонаторної є контактна камера, в якій відбувається змішування озоно-повітряної суміші з водою, що підлягає обробці. Як правило, застосовують камери барботажного типу (барботажні контактні камери).

Процес контакту озono-повітряної суміші з водою є ключовим етапом озонування. У цей момент має забезпечуватися максимально швидке та ефективне використання озону. Для цього суміш подають у вигляді дрібних бульбашок через пористі або перфоровані дифузори, розміщені в нижній частині камери, у потік води, що рухається зверху вниз.

Розрахункова витрата води, що надходить до змішувача та підлягає попередньому озонуванню відповідно до прийнятої технологічної схеми проєктованої станції водоочисних споруд, становить $Q = 1872,98 \text{ м}^3/\text{год}$.

Доза озону для попереднього озонування приймається в межах $2\text{--}3 \text{ г}/\text{м}^3$.

Відповідно, погодинна витрата озону визначається як:

$$G = Q \times D \quad (2.104)$$

тобто:

$$G = 1872,98 \cdot 3 = 5618,94 \text{ г/год або } G = 5,6 \text{ кг/год.}$$

До встановлення приймаємо чотири трубчасті озонатори типу «П-160».

Площу озонаторної, призначеної для розміщення цього обладнання, а також систем підготовки повітря, що подається в озонатори, приймаємо рівною 108 м^2 . Габарити приміщення в плані становлять $12 \times 9 \text{ м}$, висота – 6 м .

Контакт озono-повітряної суміші з водою при попередньому озонуванні передбачається здійснювати у змішувачах, а для знезараження проєктуємо дві барботажно-контактні камери.

Площа однієї барботажно-контактної камери визначається за розрахунком:

$$F_{\text{БКК}} = \frac{Q_{\text{оз.2}} \cdot T}{n \cdot H_{\text{БКК}}} \quad (2.105)$$

де T – тривалість контакту озonoповітряної суміші з водою, що підлягає знезараженню; зазвичай приймається в межах $5\text{--}10 \text{ хв}$.

n – кількість барботажних контактних колон (БКК).

$H_{\text{БКК}}$ – глибина шару води в барботажній контактній колоні; як правило, становить $4,5\text{--}5 \text{ м}$.

$$F_{\text{БКК}} = \frac{1297 \cdot 0,16}{2 \cdot 4,5} = 23 \text{ м}^2;$$

Для забезпечення рівномірного розподілу озоноповітряної суміші в об'ємі води на дні контактної камери встановлюють перфоровані трубопроводи. У даному випадку в якості розподільчих елементів прийнято використовувати пористі керамічні труби.

2.4.7 Знезараження гіпохлоритом натрію

Застосування газоподібного хлору для знезараження питної води вимагає особливої уваги до питань безпеки на всіх етапах – від транспортування до зберігання і подачі реагенту.

Постачання хлору на водоочисні об'єкти здійснюється у зрідженому стані в металевих балонах, що зумовлює необхідність використання спеціальних засобів захисту та чіткого дотримання встановлених технологічних норм. Недотримання цих вимог може спричинити серйозні аварійні ситуації. Водночас у процесі обробки води хлором утворюються хлорорганічні речовини з потенційно канцерогенними властивостями, які можуть становити загрозу для здоров'я людей.

З огляду на викладене, у кваліфікаційній роботі як більш безпечну альтернативу газоподібному хлору для знезараження води пропонується застосування гіпохлориту натрію. Практичний досвід свідчить, що при його використанні зберігаються основні ефекти, притаманні хлоруванню рідким хлором. Водночас необхідний рівень знезараження досягається за аналогічної дози активного хлору.

Подібно до обробки води рідким хлором, при використанні гіпохлориту натрію показник вільного залишкового хлору в межах 0,3–0,5 мг/дм³ для питної води забезпечує належну бактеріологічну безпеку.

Гіпохлорит натрію отримують шляхом електролізу водного розчину хлориду натрію (кухонної солі) у спеціальних установках – електролізерах. У процесі дії електричного струму хлорид-іони на аноді окиснюються до хлору,

який, розчиняючись у воді, утворює гіпохлорит натрію. Отриманий розчин накопичується в контактній ємності та використовується для подальшого знезараження води.

Такий спосіб знезараження є відносно простим у впровадженні та має низку переваг. Зокрема, гіпохлорит натрію виробляється безпосередньо на місці застосування в потрібному обсязі; кухонна сіль, що використовується як сировина, може тривалий час зберігатися без втрати властивостей; крім того, відпадає необхідність у складних спеціальних заходах безпеки.

Подача розчину гіпохлориту натрію в оброблювану воду здійснюється за допомогою насосів-дозаторів із витратних ємностей.

Для досліджуваної річкової води загальна доза гіпохлориту натрію становить до 5 мг/л у перерахунку на активний хлор, що є достатнім для забезпечення нормативних показників: вміст вільного залишкового хлору на рівні 0,3–0,5 мг/л та зв'язаного хлору – 0,8–1,2 мг/л у питній воді.

2.4.8 Зневоднення осадів водопровідної станції

Вихідні дані для розрахунку зневоднення осадів водопровідної станції:

- витрата води: $Q = 44951,44 \text{ м}^3/\text{добу}$
- вміст завислих речовин: 110 мг/л
- ступінь вилучення: 92%
- осад після відстійників: вологість $P_1 = 96\%$
- після механічного зневоднення: $P_2 = 75\%$

Розрахунок матеріального балансу осадів

Визначимо масу завислих речовин у воді

$$m_{\text{зав}} = 44951,44 \cdot 0,11 = 4\,944,66 \text{ кг/добу}$$

Маса утвореного осаду з урахуванням, що вилучено 92 %:

$$m_{\text{осад}} = 4944,66 \cdot 0,92 = 4\,549,1 \text{ кг/добу}$$

Маса сухої речовини:

$$m_s = 4\,549,1 \text{ кг/добу}$$

Маса осаду (96% вологи):

$$m_1 = \frac{4549,1}{0,04} = 113727 \text{ кг/добу.}$$

Маса осаду після зневоднення (75 % вологи):

$$m_1 = \frac{4549,1}{0,25} = 18196,4 \text{ кг/добу.}$$

Визначимо коефіцієнт зменшення маси:

$$K = \frac{113727}{18196,4} = 6,25.$$

Визначимо об'єм осаду. Для переходу від маси осаду (кг/добу) до об'єму ($\text{м}^3/\text{добу}$), використовуємо формулу:

$$V = \frac{M}{\rho} \quad (2.106)$$

де V- об'єм осаду, $\text{м}^3/\text{добу}$;

M - маса осаду, кг/добу;

ρ - густина осаду, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для водопровідних осадів зазвичай приймають:

- для сирого осаду (96 % вологості): $\rho \approx 1000 - 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$.
- для механічно зневодненого осаду (75 % вологості): $\rho \approx 1050 - 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Приймаємо $\rho \approx 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Тоді об'єм осаду після відстійників становитиме

$$V_1 = \frac{113727}{1000} = 113,7 \text{ м}^3/\text{добу};$$

При витраті осадів, що подаються на зневоднення, $113,7 \text{ м}^3/\text{добу}$ або $4,73 \text{ м}^3/\text{год}$ приймаємо установку одного робочого і одного резервного мультидискового дегідратора виробництва ESMIL Group (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Продуктивність дегідраторів виробництва ESMIL Group

Модель	Продуктивність за сухою речовиною, кгСР/год	Продуктивність за рідким осадом (не більше), $\text{м}^3/\text{год}$
MDQ-101 ... MDQ-103	3 – 72	1,5 – 6,0

Визначимо об'єм зневодненого осаду (кека), що утворюється при зневодненні:

$$W_{\kappa} = \frac{113,7 \cdot (100 - 96)}{(100 - 75)} = 18,2 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Кількість фільтрату:

$$Q_{\phi} = 113,7 - 18,2 = 95,5 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Площа майданчика для зберігання кека, м²:

$$F_k = \frac{18,2 \cdot 120}{2} = 1092 \text{ м}^2.$$

Площа аварійних мулових майданчиків, м²:

$$F_i = \frac{113,7 \cdot 73 \cdot 1,3}{1,2 \cdot 0,9} = 9990,8 \text{ м}^2.$$

До будівництва приймаємо 5 карт розміром в плані 35 × 60 м. Майданчики прийняті на природній основі без дренажу.

2.5 Розрахунок насосної станції II підйому

Насосна станція другого підйому забезпечує транспортування води від резервуарів чистої води, що розміщені після водоочисних споруд, безпосередньо до споживачів.

Підбір насосного обладнання здійснюється відповідно до розрахункової подачі води та необхідного напору в системі.

Обсяг води, що подається станцією, становить 44951,44 м³/добу або 1872,98 м³/год

До насосної станції другого підйому вода надходить через два сталеві всмоктувальні трубопроводи діаметром 900 мм. За швидкості руху води 1,45 м/с вона подається до насосів першої групи. Втрати напору у всмоктувальному трубопроводі визначаються за такою формулою:

$$h_{\text{вв}} = 1000i \cdot L_{\text{вв}} + \sum \zeta \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (2.107)$$

де 1000i – питомі втрати напору на 1 км трубопроводу, які становлять 2,56 м;

$L_{\text{вв}}$ – довжина всмоктувального трубопроводу, що дорівнює 0,16 км;

$\sum \zeta$ - сумарне значення коефіцієнтів місцевих гідравлічних опорів, $\sum \zeta = 2$;

$$h_{\text{гг}} = 2,56 \cdot 0,16 + 2 \cdot \frac{1,45^2}{2 \cdot 9,81} = 0,62 \text{ м.}$$

Після проходження через насосну станцію вода транспортується до споживачів двома напірними водоводами діаметром 700 мм. Швидкість руху води в трубопроводах становить 1,41 м/с.

Втрати напору в напірному водоводі визначаються за формулою:

$$h_{\text{нв}} = 1,1 \cdot 1000i \cdot L_{\text{нв}} \quad (2.108)$$

де 1000i – питомі втрати напору на 1 км довжини трубопроводу, які становлять 3,65;

$L_{\text{нв}}$ – довжина напірного водоводу, що дорівнює 2,2 км.

$$h_{\text{гг}} = 1,1 \cdot 3,65 \cdot 2,2 = 8,8 \text{ м.}$$

Необхідний напір насосного обладнання складається з суми втрат напору в елементах насосної станції, водовимірювальних пристроях, всмоктувальних та напірних водоводах, а також геометричної висоти підйому води. Його величину визначають за такою формулою:

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{вв}} + h_{\text{нс}} + h_e + H_{\text{в}} \quad (2.109)$$

де H_{Γ} - різниця геодезичних відміток між початковою та кінцевою точками подачі води (геометрична висота підйому);

$h_{\text{вв}}$ - сумарні втрати напору у всмоктувальних водоводах;

$h_{\text{нс}}$ - втрати напору на елементах насосної станції;

$H_{\text{в}}$ – величина вільного напору, яку необхідно забезпечити у споживача.

$$H = 22 + 0,62 + 2,5 + 1,5 + 45 = 71,62 \text{ м.}$$

На основі отриманих розрахункових параметрів, а саме напору $H = 71,62$ м та витрати $Q=1872,98 \text{ м}^3/\text{год}$ вибір насосного агрегату здійснюється за зведеними графіками характеристик насосного обладнання.

Для забезпечення необхідного режиму роботи приймається встановлення п'яти насосів типу 1Д630-90, з яких три є робочими, а два – резервними.

Основні технічні характеристики обраного насоса: частота обертання робочого колеса $n=1450 \text{ об/хв}$, діаметр робочого колеса $D_k=464 \text{ мм}$, коефіцієнт корисної дії $\eta=78 \%$.

3 ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМИ

3.1 Загальні положення

Експлуатація очисних споруд питного водопостачання включає:

1. Контроль технологічних процесів: підготовка води, коагуляція, флотація, фільтрування, знезараження;
2. Моніторинг якості води на виході з очисних споруд (визначення каламутності, забарвленості, окислюваності, залишкового хлору та мікробіологічних показників на всіх етапах очищення);
3. Обслуговування обладнання: насосів, змішувачів, дозаторів;
4. Ведення технологічного обліку, журналів дозування реагентів та хімічного контролю;
5. Проведення планово-попереджувальних ремонтів (очищення, регенерація фільтрувальних завантажень, перевірка насосів і трубопроводів тощо).
6. Забезпечення охорони праці та безпеки персоналу.

Дотримання цих вимог щодо організації експлуатації системи гарантує стабільну роботу станції та якість питної води згідно ДБН В.2.5-74 і ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Експлуатація очисних споруд потребує висококваліфікованого персоналу, тому необхідно проводити підготовку персоналу:

- навчання роботі з реагентами, озоном і обладнанням,
- знання технологічних режимів і аварійних процедур,
- регулярний інструктаж з охорони праці та безпеки.

Підготовка до експлуатації

Перед запуском очисних споруд виконуються такі дії:

1. Перевірка обладнання: стан насосів, мікрофільтрів, змішувачів, камер знезараження;
2. Перевірка трубопроводів і арматури на герметичність;
3. Заповнення резервуарів реагентів (коагулянт, хлор/NaOCl);
4. Пускова промивка фільтрів та контроль гідравлічних параметрів;

5. Калібрування дозаторів і насосів на відповідні витрати.

3.2 Особливості експлуатації та обслуговування очисних споруд водопідготовки

Надійна та ефективна робота очисних споруд системи водопостачання забезпечується шляхом регулярного технічного обслуговування, контролю технологічних параметрів і своєчасного проведення профілактичних заходів на всіх етапах очищення води.

Експлуатація очисних споруд систем водопостачання повинна забезпечувати стабільне отримання води нормативної якості при змінних характеристиках вихідної води. Для цього необхідні дотримання технологічних режимів, постійного контролю параметрів процесу, своєчасного технічного обслуговування обладнання та оперативного реагування на відхилення в роботі окремих споруд.

Важливим елементом експлуатації є ведення виробничого контролю, що включає регулярний відбір проб води на різних стадіях очищення, визначення фізико-хімічних і мікробіологічних показників, а також аналіз ефективності роботи окремих споруд.

3.2.1 Експлуатація змішувачів

Змішувачі забезпечують інтенсивне перемішування води з реагентами протягом короткого часу та створення умов для ефективного протікання процесів коагуляції.

У процесі їх роботи контролюється інтенсивність перемішування та коректність подачі коагулянту. Інтенсивність перемішування, яка повинна бути достатньою для рівномірного розподілу коагулянту, але не надмірною, щоб не руйнувати утворені мікропластівці. Необхідно регулярно перевіряти технічний стан елементів змішування, а також здійснювати очищення внутрішніх поверхонь від накопичених відкладень. Важливим аспектом є забезпечення відсутності застійних зон, які можуть знижувати ефективність процесу.

Оператор повинен слідкувати за стабільністю подачі реагентів, роботою дозувальних пристроїв та відсутністю засмічень у трубопроводах. Періодично проводиться очищення змішувачів від осаду та відкладень, а також перевірка їх конструктивних елементів. У випадку порушення режиму змішування можливе погіршення подальших процесів освітлення води.

Типові несправності у процесі експлуатації змішувачів:

- нерівномірне змішування, причиною якого може бути несправність змішувального пристрою або неправильна доза реагенту;
- утворення відкладень, що може статися внаслідок недостатнього очищення.

Заходи щодо усунення несправностей:

- регулювання подачі реагентів;
- очищення та промивка змішувача;
- перевірка механічних елементів.

3.2.2 Експлуатація освітлювачів із завислим шаром осаду

Освітлювачі є ключовими спорудами для видалення завислих і колоїдних речовин.

Робота освітлювачів базується на підтриманні стабільного завислого шару осаду, який забезпечує ефективне вилучення домішок. Завислий шар осаду виконує роль контактної середовища. У ході експлуатації здійснюється контроль його висоти, гідравлічного режиму та показників якості освітленої води. Надлишковий осад періодично видаляється, при цьому важливо не порушувати структуру шару. У процесі роботи необхідно контролювати швидкість висхідного потоку води та рівномірність її розподілу, а також перевіряти справність водозбірних пристроїв.

Особливу увагу приділяють видаленню надлишкового осаду, яке здійснюється періодично або безперервно. Порушення цього процесу може призвести до винесення осаду у наступні споруди. Також здійснюється контроль якості освітленої води за показниками мутності та кольоровості. У

разі погіршення показників проводиться коригування дози коагулянту або гідравлічного режиму роботи.

Освітлювачі працюють при швидкості висхідного потоку води 0,5–1,2 мм/с. Висота завислого шару зазвичай підтримується в межах 1,5–2,5 м.

При роботі освітлювачів необхідно контролювати:

- каламутність освітленої води (зазвичай до 1,5–2 мг/дм³);
- стабільність завислого шару;
- рівномірність розподілу води.

Типові несправності, що найчастіше виникають під час роботи освітлювачів:

- винесення осаду, причиною чого може бути перевищення швидкості потоку;
- руйнування завислого шару, спричинене гідравлічними коливаннями;
- погіршення якості води, що може статися внаслідок неправильної дози коагулянту.

Заходи щодо усунення несправностей:

- регулювання витрати води;
- коригування дози коагулянту;
- своєчасне видалення надлишкового осаду.

3.2.3 Експлуатація швидких фільтрів

Швидкі фільтри призначені для доочищення води після освітлення.

Під час роботи швидких фільтрів контролюють швидкість фільтрації, величину втрат напору та якість очищеної води. Зі збільшенням забруднення завантаження зростають втрати напору, що є сигналом для проведення промивки. Промивання фільтра проводиться у разі досягнення критичних значень втрат напору або погіршення якості фільтрату. Окрім цього, здійснюється нагляд за станом фільтрувального матеріалу та систем розподілу води.

Швидкість фільтрування становить 5–10 м/год, допустимі втрати напору – до 2–3 м вод. ст.

Промивання здійснюється зворотним потоком води, інколи із застосуванням повітря для підвищення ефективності очищення завантаження. Важливо забезпечити рівномірність промивки по всій площі фільтра. Після промивки фільтр вводиться в роботу поступово, щоб уникнути винесення фільтрувального матеріалу. Також контролюється стан дренажної системи та рівномірність розподілу потоку.

Промивання фільтрів здійснюється у випадках досягнення допустимих втрат напору або погіршення показників якості очищеної води. Для забезпечення ефективного відновлення фільтрувальної здатності завантаження застосовують промивку водою з інтенсивністю 10–15 л/(с·м²) протягом 5–10 хвил.

У процесі експлуатації фільтрувальних споруд можуть виникати різні порушення їхньої роботи, зокрема:

- проникнення забруднень у фільтрат внаслідок нерівномірного розподілу промивної води;
- ущільнення та злежування фільтрувального матеріалу, що призводить до зниження ефективності очищення;
- пошкодження елементів дренажної системи, які забезпечують збір фільтрату та рівномірний розподіл промивної води.

Для відновлення нормального режиму роботи фільтрів застосовують такі заходи:

- коригування параметрів та режимів промивання;
- часткову або повну заміну фільтрувального завантаження у разі втрати його експлуатаційних властивостей;
- проведення ремонтних робіт або заміну пошкоджених елементів дренажної системи.

Періодичне повітряно-водяне промивання:

- Частота: 1 раз/добу або при падінні напору на 10–15 % від номіналу;

- Об'єм промивної води: 2–5 % від добового витрату;
- Перевірка клапанів та трубопроводів промивки.

Реалізація зазначених заходів сприяє підтриманню стабільної роботи фільтрів, підвищенню ефективності очищення води та продовженню терміну служби обладнання.

3.2.4 Експлуатація системи попереднього озонування

Попереднє озонування є важливою стадією обробки води, що забезпечує окиснення органічних речовин, зниження забарвленості та сприяє покращенню подальших процесів очищення.

У процесі експлуатації системи озонування контролюють концентрацію озону в газовій суміші, ефективність його розчинення та тривалість контакту з водою.

Необхідно регулярно перевіряти роботу генераторів озону, стан компресорного обладнання та герметичність системи подачі. Важливим є контроль залишкового озону та запобігання його потраплянню в робочу зону, оскільки він є шкідливим для обслуговуючого персоналу. Також здійснюється контроль ефективності озонування за показниками окиснюваності води.

Тривалість контакту озону з водою становить 5–10 хв, концентрація озону – 1–3 мг/дм³ (залежно від якості води).

У процесі експлуатації системи озонування здійснюється постійний контроль таких параметрів:

- ступеня розчинення озону у воді;
- концентрації залишкового озону;
- показників окиснюваності води.

Під час роботи обладнання можуть виникати такі несправності:

- недостатня ефективність процесу озонування, що часто пов'язана з неякісним розподілом газу в об'ємі води;
- витоки озону внаслідок втрати герметичності окремих елементів системи;

- зменшення продуктивності озонаторної установки.

Для усунення зазначених недоліків виконують такі заходи:

- діагностику та очищення барботажних пристроїв;
- відновлення герметичності з'єднань і трубопроводів;
- технічне обслуговування та налаштування генератора озону.

До переліку планових профілактичних робіт належать:

- регулярна перевірка герметичності трубопровідної системи;
- проведення технічного обслуговування озонаторів;
- контроль витрати та стабільності подачі озоноповітряної суміші.

У процесі експлуатації системи озонування можливе виникнення аварійних ситуацій, що потребують оперативного реагування. До найбільш поширених належать:

- витік озону внаслідок порушення герметичності обладнання або трубопроводів. У такому випадку необхідно негайно припинити роботу установки, ізолювати пошкоджену ділянку та забезпечити інтенсивне провітрювання приміщення;

- зниження концентрації озону у воді, що може бути спричинене недостатньою подачею газу або погіршенням роботи барботажної системи. Для відновлення нормального режиму роботи виконують регулювання подачі озону та перевірку стану барботажних елементів з їх подальшим очищенням за потреби.

3.2.5 Експлуатація системи знезараження гіпохлоритом натрію

На завершальному етапі очищення проводиться знезараження води із застосуванням гіпохлориту натрію. Основним завданням є забезпечення необхідного бактерицидного ефекту при мінімальному утворенні побічних продуктів.

У процесі експлуатації контролюється доза введеного реагенту, контактний час та залишкова концентрація активного хлору у воді. При

недостатній дозі можливе погіршення якості знезараження, а при надмірній – утворення небажаних хлорорганічних сполук.

У разі використання електролізних установок необхідно контролювати параметри електролізу, концентрацію отриманого розчину та технічний стан обладнання. Також здійснюється регулярне обслуговування ємностей для зберігання реагентів і систем їх дозування.

Для забезпечення ефективного знезараження води гіпохлорит натрію зазвичай вводять у дозі 1–3 мг/дм³ у перерахунку на активний хлор. Після завершення контактного періоду тривалістю не менше 30 хвилин концентрація залишкового хлору повинна перебувати в межах 0,3–0,5 мг/дм³.

У процесі експлуатації системи хлорування можуть виникати такі порушення роботи:

- недостатня ефективність знезараження води, що може бути пов'язана з подачею недостатньої кількості реагенту або скороченням часу контакту води з хлором;
- перевищення допустимої концентрації залишкового хлору, що негативно впливає на смакові та запахові характеристики води;
- утворення побічних продуктів хлорування внаслідок взаємодії активного хлору з органічними речовинами, присутніми у воді.

Усунення виявлених порушень роботи системи досягається шляхом коригування дозування реагенту, постійного контролю показників якості вихідної води, а також удосконалення режимів роботи попередніх етапів водоочищення.

До комплексу регламентних робіт належать:

- перевірка технічного стану та працездатності електролізної установки;
- контроль концентрації отриманого реагенту;
- проведення технічного обслуговування обладнання для зберігання та дозування гіпохлориту натрію.

У процесі експлуатації водоочисної станції можуть виникати аварійні ситуації, пов'язані з порушенням режиму знезараження води. Зокрема,

недостатня ефективність знезараження потребує збільшення дози реагенту та коригування технологічних параметрів процесу. У разі перевищення допустимого вмісту залишкового хлору необхідно зменшити подачу реагенту та здійснювати посилений контроль органолептичних показників очищеної води.

3.3 Загальні експлуатаційні вимоги та експлуатаційні заходи

Загальні вимоги до експлуатації споруд

Надійне та ефективне функціонування водоочисних споруд забезпечується за умови виконання комплексу організаційних і технічних заходів, до яких належать:

- систематичне ведення експлуатаційної документації;
- регулярне проведення лабораторного контролю якості води на різних стадіях очищення;
- своєчасне виконання планово-профілактичних ремонтів обладнання;
- неухильне дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки, особливо під час роботи з озоном і хімічними реагентами.

У разі зміни фізико-хімічних або мікробіологічних показників вихідної води необхідно оперативно вносити корективи до режимів роботи технологічного обладнання та параметрів процесу очищення.

Ведення документації та виробничий контроль

Експлуатація очисних споруд водопостачання супроводжується постійним веденням технічної документації, яка забезпечує контроль за роботою споруд і обладнання. До основних документів належать:

- журнали щоденного спостереження за технологічними показниками процесу очищення води;
- протоколи результатів лабораторних досліджень та аналізів;
- документація щодо проведення промивання, регенерації та технічного обслуговування фільтрувальних споруд.

Планово-попереджувальні роботи

1. Щомісяця: перевірка насосів, клапанів, арматури, рівня реагентів.
2. Щокварталу: промивка та регенерація фільтрів.
3. Щорічно: капітальна перевірка насосного обладнання, змішувачів та камер знезараження.
4. Розрахунок ресурсів на наступний рік (витрата реагентів, води на промивку, електроенергія).

Дозування реагентів

- Контроль витрати коагулянту та хлору по технологічній карті;
- Калібрування насосів 1 раз/тиждень;
- Ведення журналу дозування: добова, тижнева та місячна статистика

Контроль якості води

1. Характеристики води на вході: каламутність, забарвленість, хімічний склад;
2. Після змішування: контроль мутності, рН, коагулянту;
3. Після фільтрів: мутність ≤ 1 НОК, контроль залишкового хлору;
4. Після камери знезараження: залишковий хлор 0,3–0,5 мг/л, відсутність патогенних мікроорганізмів;
5. Періодичність лабораторного контролю: щодня (оперативний контроль) та щотижня (поглиблений контроль).

Загальні експлуатаційні заходи

До загальних заходів належать ведення журналів експлуатації, планово-попереджувальні ремонти, контроль енергоспоживання та дотримання вимог техніки безпеки. Персонал повинен бути забезпечений відповідною кваліфікацією та проходити регулярний інструктаж.

У разі зміни якості вихідної води або виникнення аварійних ситуацій здійснюється оперативне коригування режимів роботи споруд.

Таким чином, ефективна експлуатація очисних споруд базується на комплексному підході, що включає технічний контроль, своєчасне обслуговування обладнання та оптимізацію технологічних процесів, що в

цілому забезпечує отримання води, яка відповідає встановленим нормативним вимогам.

Енергетичне та ресурсне спостереження

- Моніторинг витрати електроенергії насосами та змішувачами;
- Контроль води на промивку фільтрів: зменшення витрат за рахунок оптимізації часу промивки;
- Використання частотно-регульованих приводів для насосів дозволяє економити до 15–20 % електроенергії;
- Ведення журналу енергоспоживання та втрат води.

Підсумовуючи викладене вище, можна відмітити, що експлуатація очисних споруд – комплексна задача, що включає технічне обслуговування, контроль технології, дозування реагентів та контроль якості води. Регулярне проведення планово-попереджувальних робіт зменшує аварійність та підвищує ефективність очисних споруд.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Головні завдання в області охорони праці

Одним із ключових напрямів у сфері охорони праці є створення безпечних умов роботи та збереження здоров'я працівників безпосередньо на робочому місці. Нормативно-правову основу в Україні формують Кодекс законів про працю, Закон «Про охорону праці», а також положення Конституції, які визначають вимоги до організації безпечного виробничого середовища та попередження потенційних загроз для працівників.

Не менш важливим аспектом є забезпечення належного виконання вимог з охорони праці як роботодавцями, так і працівниками, а також дотримання встановленої трудової дисципліни. Для цього передбачено систематичний контроль і перевірку дотримання встановлених норм і правил. У разі їх порушення застосовуються відповідні заходи впливу. Українське законодавство чітко визначає відповідальність за недотримання вимог охорони праці та передбачає механізми контролю за їх виконанням.

Суттєвим завданням є запобігання нещасним випадкам на виробництві та виникненню професійних захворювань шляхом впровадження спеціальних заходів і ефективної системи управління охороною праці. Відповідно до законодавства України, обов'язковим є створення на підприємствах комісій з питань охорони праці, а також організація навчання та підвищення рівня підготовки працівників у цій сфері.

У цьому розділі кваліфікаційної роботи буде здійснено аналіз умов праці та розглянуто комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпечного робочого середовища з урахуванням вимог чинних норм, стандартів охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

4.2 Виявлення та аналіз шкідливих і небезпечних виробничих чинників

У цьому випадку до шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища належать:

- фізичні фактори, зокрема параметри мікроклімату робочої зони; освітлення – як природне (його відсутність або недостатній рівень), так і штучне (недостатня освітленість, сліпучий ефект, пульсація світлового потоку);
- хімічні фактори, пов'язані з використанням або наявністю речовин хімічного походження;
- небезпека ураження електричним струмом;
- чинники трудового процесу, серед яких особливе місце займає напруженість праці.

На очисних спорудах водопостачання, що розглядаються у кваліфікаційній роботі можливий вплив:

- електричного струму (насосні агрегати, щити керування) ;
- рухомих частин механізмів;
- хімічних реагентів (коагулянт, гіпохлорит натрію) ;
- підвищеної вологості;
- шуму від насосного та компресорного обладнання;
- слизьких поверхонь.

Таким чином, на працівника можуть впливати різноманітні небезпечні та шкідливі фактори, зокрема ризик ураження електричним струмом, нераціональна організація робочого місця, наявність шкідливих речовин, недостатній рівень освітлення тощо. Усі ці чинники здатні негативно позначатися на стані здоров'я працівника.

Мікроклімат робочої зони

До основних параметрів, що визначають мікроклімат виробничих приміщень, належать температура повітря, його відносна вологість, швидкість руху повітряних потоків, а також температура поверхонь. Тривалий вплив несприятливих метеорологічних умов може негативно позначатися на стані

працівника: погіршується самопочуття, знижується працездатність, послаблюється імунна система та підвищується ризик виникнення захворювань.

Шкідливі речовини в повітрі робочої зони

Шкідливі речовини за характером їх впливу на організм людини класифікують на чотири групи небезпеки: від надзвичайно небезпечних до малонебезпечних.

Особливістю технологічної схеми підготовки питної води є включення етапу адсорбції. Активоване вугілля належить до IV класу небезпеки. Під час його пересипання у подрібненому вигляді утворюється вугільний пил, який не є токсичним, однак у разі потрапляння значної кількості в дихальні шляхи може викликати захворювання. Гранично допустима концентрація такого пилу в повітрі робочої зони становить 10 мг/м³. Під час виконання робіт, що супроводжуються утворенням пилу, у випадку перевищення цієї норми необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту, зокрема респіратори, спеціальний одяг і захисні окуляри.

Природне та штучне освітлення

Раціонально організоване освітлення робочої зони та робочих місць є одним із ключових чинників забезпечення комфортних і безпечних умов праці. Освітлення виробничих приміщень повинно бути правильно розраховане й підібране таким чином, щоб зір працівника протягом тривалого часу зберігав здатність чітко розрізняти об'єкти роботи. За таких умов знижується ризик виробничого травматизму та виникнення професійних захворювань органів зору.

Електробезпека

Тяжкість ураження електричним струмом залежить від умов і характеру контакту з провідниками та може суттєво відрізнятися. Сила струму, що проходить через тіло людини, визначається напругою мережі, станом ізоляції струмопровідних елементів, режимом нейтралі, ємнісними характеристиками проводів відносно землі, шляхом проходження струму через організм та іншими чинниками. У зв'язку з цим необхідно забезпечити належний стан

ізоляції струмоведучих частин обладнання, щоб запобігти їх пошкодженню та підвищити рівень безпеки.

4.3 Розробка заходів з охорони праці

У роботі передбачено такі заходи електробезпеки

- заземлення всього електрообладнання;
- застосування пристроїв захисного вимкнення та автоматичних вимикачів;
- ступінь захисту обладнання не нижче IP54;
- використання пониженої напруги (36 В) для переносного освітлення;
- блокування доступу до розподільчих щитів.
- проведення додаткової ізоляції струмовідних частин для попередження ураження електричним струмом; перевірка захисного заземлення та занулення.

Безпека при роботі з реагентами

Передбачено:

- окреме приміщення реагентного господарства;
- вентиляція (кратність повітрообміну не менше 3–5 раз/год);
- герметичні ємності для зберігання;
- автоматичне дозування реагентів;
- аварійний душ та пункт промивання очей;
- використання індивідуальних засобів захисту (рукавиці, окуляри, респіратори).

Вентиляція та мікроклімат

У виробничих приміщеннях передбачено:

- припливно-витяжну вентиляцію;
- підтримання температури 16–22 °С;
- відносну вологість не більше 75 %;
- рівень шуму не більше 80 дБ.

Пожежна безпека

- автоматична пожежна сигналізація;

- вогнегасники ВП-5 та ВВК-5;
- блискавкозахист будівлі;
- протипожежний водопровід;
- евакуаційні виходи відповідно до ДБН.

Організаційні заходи

- інструктажі з охорони праці;
- медичні огляди персоналу;
- допуск до роботи з електрообладнанням тільки атестованих працівників;
- розробка плану ліквідації аварійних ситуацій.

1) Розрахунок штучного освітлення

Вихідні дані

- Приміщення: відділення швидких фільтрів
- Загальна площа приміщення (з урахуванням проходів і обладнання):

$$S = 600 \text{ м}^2$$

- Висота приміщення: $h = 4,5 \text{ м}$
- Висота робочої поверхні: $h_p = 0,8 \text{ м}$
- Тип освітлення: загальне рівномірне, LED

З урахуванням прийнятої висоти приміщення, висота підвісу світильників буде дорівнювати:

$$h = H - h_p = 4,5 - 0,8 = 3,7 \text{ м}$$

Нормована освітленість: $E = 200 \text{ лк}$

Коефіцієнти:

- коефіцієнт запасу: $k = 1,5$
- коефіцієнт нерівномірності: $Z = 1,1$
- коефіцієнт використання світлового потоку: $\eta = 0,5$

Вибір світильників

Приймаємо LED світильники:

Світловий потік: $\Phi = 20\,000 \text{ лм}$

Метод розрахунку освітленості (метод коефіцієнта використання)

Визначимо кількість світильників, користуючись формулою:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot Z}{\Phi \cdot \eta}, \text{ шт.} \quad (4.1)$$

$$N = \frac{200 \cdot 600 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{20000 \cdot 0,5} = 19,8 \text{ шт.}$$

Приймаємо: $N = 20$ світильників

Розміщення світильників

Можна прийняти: 2 ряди по 10 світильників або 4 ряди по 5 світильників.

Крок між світильниками $\approx 3-5$ м (допустимий для висоти 3,7 м).

Висновок: запропоновані світильники забезпечують нормативну освітленість згідно ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення [24]

2) Розрахунок заземлення

Вихідні дані

- Тип заземлення: контурне заземлення
- Система електропостачання: 380/220 В
- Опір заземлення для виробничих приміщень: $R_z \leq 4$ Ом
- Довжина смуг: $L = 42$ м
- Діаметр смуг: $d = 25 \times 4$ мм (сталь/мідь)

Контурне заземлення

Для вертикальних електродів опір заземлення визначимо за формулою:

$$R_{\text{нотр}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h_m + 3l}{4h_m - 3l} \right) \quad (4.2)$$

де $\rho_{\text{розр}}$ - розрахунковий опір ґрунту;

l - довжина труби (вертикального заземлювача), становить 2,65 м;

d - діаметр труби, $d = 6$ см;

$$\rho_{\text{розр}} = \rho_{\text{табл}} \cdot K_n \quad (4.3)$$

де ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м (ґрунти глинисті)

K – коефіцієнт взаємного впливу, приймаємо 1,6

$$\rho_{\text{розр}} = 0,5 \cdot 10^4 \cdot 1,6 = 0,8 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см};$$

$$R_{номр} = \frac{0,8 \cdot 10^4}{2 \cdot \pi \cdot 265} \left(\ln \frac{2 \cdot 265}{6} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 0,5 + 3 \cdot 265}{4 \cdot 0,5 - 3 \cdot 265} \right) = 24,2 \text{ Ом}$$

Визначимо кількість одиночних вертикальних заземлювачів:

$$n_3 = \frac{R_{номр}}{R_3} \quad (4.4)$$

де R_3 – допустимий за нормами опір заземлюючого пристрою, $R_{доп} = 4 \text{ Ом}$

$$n_3 = \frac{24,2}{4} = 6$$

Визначимо коефіцієнт використання заземлення, за яким проведемо уточнення кількості заземлювачів. Коефіцієнт використання заземлювача визначається відповідно до положень Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) [23], що регламентують розрахунок заземлювальних пристроїв та розтікання струму в ґрунті.

Відношення відстані між вертикальними електродами до довжини електродів дорівнює

$$5/2,65=1,9, \text{ приймаємо } 2, \text{ отже } \eta_e = 0,75 \text{ [23].}$$

$$n = \frac{R_{номр}}{R_3 \cdot \eta_e} \quad (4.5)$$

$$n_3 = \frac{24,2}{4 \cdot 0,75} = 8$$

Обчислимо загальний опір вертикальних заземлювачів

$$R_{потр.розр} = \frac{R_{номр}}{n_3} \quad (4.6)$$

$$R_{потр.розр} = \frac{24,2}{8} = 3 \text{ Ом}$$

За розрахунком довжина смуги L , см, що з'єднує труби-заземлювачі, розташовані по контуру становитиме

$$L = 1,05 a n_3 \quad (4.7)$$

$$L = 1,05 \cdot 5 \cdot 8 = 42 \text{ м} = 4200 \text{ см},$$

Визначимо опір смуги, покладеної на глибину

$$R_{cm} = \frac{\rho'_{розр}}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L^2}{d \cdot h_m} \quad (4.8)$$

$$R_{cm} = \frac{0,8 \cdot 10^4}{2 \cdot 3,14 \cdot 4200} \cdot \ln \frac{4 \cdot 4200^2}{6 \cdot 265} = 3,24 \text{ Ом}$$

$$R'_{cm} = \frac{3,24}{0,5} = 6,48 \text{ Ом}$$

Визначимо величину опору розтіканню струму за формулою

$$R_{розт.} = \frac{1}{\frac{1}{R_{нотр.розр}} + \frac{1}{R'_{cm}}} \quad (4.9)$$

$$R_{розт.} = \frac{1}{\frac{1}{3,24} + \frac{1}{6,48}} = 2,17 \text{ Ом.}$$

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку

Кількість заземлювачів, шт.	Довжина смуги, см	Опір одного заземлювача, Ом	Коефіцієнт використання заземлювача	Опір смуги, Ом	Коефіцієнт використання смуги	Загальний опір, Ом
8	42	3,0	0,75	6,48	0,5	2,17

Отримана за результатами розрахунку величина опору розтіканню контуру заземлення менше за нормативне значення ($2,17 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$), отже, розрахунок виконано вірно, заземлення буде ефективно. Таким чином, встановлюємо 8 вертикальних електродів по 2,65 м, сполучених горизонтальними смугами $42 \times 4 \text{ мм}$, щоб забезпечити нормативний опір.

Розрахунок блискавкозахисту

Розрахунок блискавкозахисту виконується за рекомендаціями ДСТУ EN 62305-1:2012 Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи, ДСТУ ІЕС 62305-2:2012 Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками, ДСТУ EN 62305-3:2012 Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей, ДСТУ EN 62305-4:2012 Захист від

блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах.

Визначаємо категорію блискавкозахисту:

З урахуванням невеликих розмірів будівлі (10×10×4 м) та оскільки будівля приготування розчину гіпохлориту натрію не належить до вибухонебезпечних об'єктів, однак містить хімічно активні речовини, відповідно до вимог ДСТУ ІЕС 62305 будівлю відносимо до III категорії блискавкозахисту (середній рівень, через хімічну небезпеку).

Для забезпечення необхідного рівня надійності прийнято зону захисту типу Б, за якого забезпечення перехоплення на шляху до захисного об'єкта - не менше 95 %.

Оцінку ризику здійснюємо згідно з ДСТУ ІЕС 62305-2:

Ризик визначається таким чином:

$$R = N \cdot P \cdot L \quad (4.10)$$

де N – кількість небезпечних подій (ударів блискавки)

P – ймовірність пошкодження

L – втрати (люди, обладнання, екологія)

Кількість ударів у будівлю без улаштування блискавкозахисту:

$$N = (B + 6 \cdot h) \cdot (L + 6 \cdot h) \cdot n \cdot 10^{-6} \quad (4.11)$$

У проєкті прийнято такі розміри будівлі, що захищається: ширина B=10 м, довжина L=10 м; h – найбільша висота будівлі дорівнює h = 4 м;

n – середнє за рік число ударів блискавки на 1 км² земної поверхні (щільність блискавок).

$$N = (10 + 6 \cdot 4) \cdot (10 + 6 \cdot 4) \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 0,0034 \leq 1$$

Зона захисту одиночного стрижневого блискавковідводу висотою $h \leq 150$ м являє собою круговий конус з вершиною на висоті $h_0 < h$, а підстава утворює коло радіусом R_x [25].

Знайдемо висоту одиночного блискавковідводу за формулою [25]:

$$h_m = \frac{R_x + 1,63 \cdot h_x}{1,5} \quad (4.12)$$

де h_x - висота об'єкта, що захищається, м;

R_x - радіус зони захисту на висоті h_x , м, визначається за формулою

$$R_x = \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 + (B+l)^2} \quad (4.13)$$

тут L – довжина будівлі, що захищається, м;

B – ширина будівлі, що захищається, м;

l – відстань від стінки будівлі до блискавковідводу, м.

$$R_x = \sqrt{5^2 + (10+6)^2} = 16,76 \approx 17 \text{ м.}$$

$$h_m = \left(\frac{17+1,63 \cdot 4}{1,5}\right) = 15,68 \text{ м}$$

$$h_0 = 0,92 \cdot h_m \quad (4.14)$$

$$h_0 = 0,92 \cdot 15,68 = 14,4 \text{ м}$$

$$R_0 = 1,5 \cdot h_m \quad (4.15)$$

$$R_0 = 1,5 \cdot 15,68 = 23,52 \text{ м}$$

Висновки до розділу 4

У розділі з охорони праці здійснено аналіз умов праці на виробництві. Для забезпечення нормативного рівня освітленості 200 лк у відділенні швидких фільтрів площею 600 м² було виконано розрахунок методом коефіцієнта використання світлового потоку. В якості джерел світла прийнято світлодіодні світильники зі світловим потоком 20000 лм. У результаті розрахунку встановлено, що необхідна кількість світильників становить 20 шт. Прийнята система загального рівномірного освітлення забезпечує нормативні умови праці та відповідає вимогам безпеки і енергоефективності. Передбачено заходи для забезпечення електробезпеки. Заземлення: контур з 8 вертикальних електродів по 2,65 м, сполучених горизонтальними смугами 42×4 мм, що забезпечує нормативний опір (≤ 4 Ом). Виконано розрахунок блискавкозахисту за рекомендаціями ДСТУ EN 62305-1:2012.

Усі заходи охорони праці відповідають чинним нормативним документам України та забезпечують безпечну експлуатацію станції.

ВИСНОВКИ

1. У процесі виконання роботи було проаналізовано сучасний стан водопровідних мереж і виявлено основні проблеми, зокрема значний знос трубопроводів, підвищену аварійність та невідповідність якості води нормативним вимогам. Обґрунтовано доцільність модернізації об'єкта та впровадження сучасних технологічних рішень.

2. Обрано оптимальний спосіб відновлення зношеного трубопроводу із застосуванням безтраншейної технології «Санлайн», що дозволяє зменшити обсяги земляних робіт, скоротити терміни виконання та підвищити надійність системи.

3. Запропоновано технологічну схему очищення води, яка включає процеси коагуляції, флокуляції, змішування, освітлення, фільтрування та двоступеневого знезараження (озонування та обробка гіпохлоритом натрію).

4. У технологічній частині виконано розрахунок розрахункових витрат води, що забезпечує надійне функціонування системи водопостачання.

5. Проведено інженерні розрахунки основних споруд та обладнання, зокрема вузла приготування реагентів, вертикального вихрового змішувача, прояснювачів із завислим осадом, швидких фільтрів та резервуарів чистої води.

6. Визначено параметри процесів знезараження води із застосуванням озону та гіпохлориту натрію, що забезпечують досягнення необхідних санітарно-гігієнічних показників якості питної води.

7. У розділі з охорони праці здійснено аналіз умов праці на виробництві. Для забезпечення нормативного рівня освітленості виконано розрахунок штучного освітлення. Прийнята система загального рівномірного освітлення забезпечує нормативні умови праці та відповідає вимогам безпеки і енергоефективності. Передбачено заходи для забезпечення електробезпеки. Виконано розрахунок блискавкозахисту за рекомендаціями ДСТУ EN 62305-1:2012. Усі заходи охорони праці відповідають чинним нормативним документам України та забезпечують безпечну експлуатацію станції.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Черкаській області у 2023 році / Управління екології та природних ресурсів Черкаської обласної адміністрації. – Черкаси, 2024. - 227 с.
2. Благодарна Г. І. Вплив якості Дніпровської води на безпеку питного водопостачання // Вода. Екологія. Суспільство: тези доповідей та інформаційні матеріали V Міжнар. наук.-техн. конференції, Харків, 1–2 жовтня 2020 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. - Харків, 2020. - С. 49-53.
3. Корінько І. В. Контроль якості води: монографія / І. В. Корінько, В. Я. Кобилянський, Ю. О. Панасенко : Харків. нац. акад. міськ. госп-ва. – Харків : ХНАМГ, 2013. – 288 с.
4. Сердюк В. Р., Дишкант Н. О. Сучасні технології відновлення інженерних мереж. – Вінниця, 2016
5. Алейнікова А.І., Аніщенко А.І. Безтраншейне відновлення трубопроводів: навчальні та наукові матеріали // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2021, т. 106, №4. – С.83-91.
6. ДержСанПіН 2.2.4-171-10 (ДСанПіН 2.2.4-400-10). Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною, 2010. – 25 с.
7. Мешкова-Клименко Н. А. Шляхи забезпечення нормативної якості питної води залежно від стану джерел централізованого водопостачання / Н. А. Мешкова-Клименко, І. С. Єзловецька, В. Ф. Вакуленко // Наукові доповіді НАУ. – 2007. – № 3 (8).
8. Корінько І. В. Інноваційні технології водопідготовки : монографія / І. В. Корінько, Ю. О. Панасенко. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 208 с.
9. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А. К. Запольський. – Київ : Вища школа, 2005. – 671 с.
10. Мицук О.А. Сучасні технології підготовки питної води / О.А. Мицук, С.В. Мідяний, О.Т. Мазурак // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, 2008. - Том 10 № 2(37).- Ч. 4. – С.130-137.

11. Juhna T. Ozonation and biofiltration in water treatment – operational status and optimization issues / T. Juhna, E. Melin. – Techneau: Integrated Project Funded by the European Commission, 2006. – 80 p.

12. Самсоні-Тодорова О. О. Обґрунтування технології одержання біологічно стабільної води із джерел з підвищеним вмістом природних органічних речовин / Автореф. дисс. канд. техн. наук. - Київ, 2017. – 25 с

13. Бабієнко В. В. Гігієна води та водопостачання населених місць : навч. посібн. / Бабієнко В. В., Мокієнко А. В. – Одеса : Прес-кур'єр, 2021, 372 с.

14. Кобилянський В. Я. Тенденції покращення мікробіології питної води в ЄС // Збірка доповідей Міжнародного конгресу та технічної виставки «ЕТЕВК – 2019», м. Чорноморськ, 10-14 червня 2019 р. – Київ: ТОВ «ПРАЙМ-ПРИНТ», 2019. - С. 56–59.

15. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5–75:2013. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 214 с.

16. SaniLine® – Trenchless Rehabilitation System for Pressure Pipelines (Technical Documentation). – 2024. <https://sanivar.co.uk/saniline/>

17. Толстопалова Н. М. Теоретичні основи хімії та технології водопідготовки [Електр. ресурс] : підручник для здоувачів ступеня бакалавра за спец. 161 Хімічні технології та інженерія / Н. М. Толстопалова, Т. І. Обушенко, О. В. Сангінова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 256 с. – Назва з екрана.

18. Гідроекологічні аспекти водопостачання та водовідведення / В. К. Хільчевський, М. Р. Забокрицька, В. Ю. Стельмах. – Київ : ДІА, 2023. – 228 с

19. Експлуатація систем водопостачання та водовідведення: навч.т посіб.: у 2-х ч. – Ч. 1 / В.П. Хоружий та ін. – Київ: КНУБА, 2019. – 232 с.

20. Добровольська О.Г. Експлуатація водопровідно-каналізаційного господарства : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Водопостачання та водовідведення». Запоріжжя : ЗНУ, 2022. 193 с.

21. Закон України «Про охорону праці». - Київ, 2002. – 52 с.
22. Гіроль М. М. Охорона праці у водопровідно-каналізаційному господарстві : навч. посіб. / М. М. Гіроль, М. В. Бернацький, В. Є. Хомко ; за ред. М. М. Гіроля. - Рівне : НУВГП, 2010. - 351 с.
23. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), 6-те вид., перероб. і допов. – Харків: Форт, 2017. – 760 с.
24. ДБН В.2.5-28:2018 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. – Київ: «Укрархбудінформ», 2018. – 133 с.
25. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. – Чинний від 01.01.2009. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. – 65 с.
26. Пожежна безпека. Загальні положення: ДСТУ 8828:2019. - Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 87 с.