МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему: «**РОЗРОБКА ІНЖЕНЕРНОЇ СИСТЕМИ ВОДОПІДГОТОВКИ**»

Виконав: студент 4 курсу, група 6.1921-мім
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі»

ЛЕЛЮК МИКИТА СЕРГІЙОВИЧ

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і архітектури, канд. техн. наук В.О.Савін

Рецензент: професор кафедри промислового та цивільного будівництва, докт. техн. наук В.А. Банах

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма міські інженерні мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
«26» 12 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лелюку Микиті Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка інженерної системи водопідготовки
2. Строк подання роботи: *15.06.2025*
затверджено наказом ЗНУ від «26» грудня 2024 року № 2028-с
3. Вихідні дані до роботи: *продуктивність очисних споруд 47400 м^3/доб.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Сучасні технології водопідготовки. 1.1 Інноваційні методи та технології у водопідготовці. 1.2Системи очищення та їх ефективність у сучасних умовах. 1.3 Перспективи розвитку водопідготовки: екологічні та енергоефективні рішенн. 2. Розробка технології водопідготовки. 2.1 Аналіз вихідної води та визначення вимог до водопідготовки. 2.2 Проєктування та вибір технологічних рішень для системи водопідготовки. 2.3 Визначення розрахункових витрат води. 3. Розрахунок очисних споруд. 3.1 Реагентне господарство. 3.2 Розрахунок змішувачів. 3.3 Розрахунок горизонтальних відстійників. 3.4 Розрахунок камер пластівцеутворення. 3.5 Розрахунок швидких фільтрів. 3.6 Розрахунок резервуарів чистої води. 3.7 Піскове господарство. 3.8 Знезараження води. 3.9 Розрахунок висотної схеми розташування очисних споруд. 4. Екологічне обґрунтування технології водопідготовки. 4.1 Розрахунок споруд для обробки промивних вод. 4.2 Екологічне обґрунтування інженерної системи водопідготовки. ВИСНОВКИ.

5. *Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)*
1.Висотна схема. 2.Генплан станції. 3,4. Очисні споруди. 5.Функціональна схема автоматизації промивки фільтрів. Споруди для обробки промивних вод.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Савін В.О.,к.т.н., доцент		
2	Савін В.О.,к.т.н., доцент		
3	Савін В.О.,к.т.н., доцент		
4	Савін В.О.,к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 01.04.2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Примітка
1	Розділ 1. Сучасні технології водопідготовки.	20.04.25	
2	Листи 1-2.	10.05.25	
3	Розділ 2. Розробка технології водопідготовки.	15.05.25	
4	Листи 3,4.	20.05.25	
5	Розділ 3. Розрахунок очисних споруд	25.05.25	
	Розділ 4. Екологічне обґрунтування технології водопідготовки.	1.06.25	
6	Листи 5-6.	06.06.25	
7	Презентація підготовка доповіді.	10.06.25	
8	Попередній захист	15.06.25	

Студент _____ М.С. Лелюк
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ В.О. Савін
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер _____ О.В. Гребенюк
(підпис) (ініціали та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП 5
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ 7
1.1 Інноваційні методи та технології у водопідготовці 8
1.2 Системи очищення та їх ефективність у сучасних умовах 11
1.3 Перспективи розвитку водопідготовки: екологічні та енергоефективні рішення 21
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ
2.1 Аналіз вихідної води та визначення вимог до водопідготовки 23
2.2 Проєктування та вибір технологічних рішень для системи водопідготовки 25
2.3 Визначення розрахункових витрат води 26
РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОЧИСНИХ СПОРУД 28
3.1 Реагентне господарство. 28
3.2 Розрахунок змішувачів 34
3.3 Розрахунок горизонтальних відстійників 37
3.4 Розрахунок камер пластівцеутворення 42
3.5 Розрахунок швидких фільтрів 45
3.6 Розрахунок резервуарів чистої води 55
3.7 Піскове господарство 57
3.8 Знезараження води 59
3.9 Розрахунок висотної схеми розташування очисних споруд 60
РОЗДІЛ 4 ЕКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ 62
4.1 Розрахунок споруд для обробки промивних вод 62
4.1.1 Визначення об'єму промивних вод 62
4.1.2 Розрахунок приймальних камер 63
4.1.3 Розрахунок пісковловлювачів 63
4.1.4 Розрахунок згущувачів 65
4.1.5 Розрахунок накопичувачів 66
4.2 Екологічне обґрунтування інженерної системи водопідготовки 66
ВИСНОВКИ 69
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 70

ВСТУП

У післявоєнний період Україна зіштовхнеться з масштабними викликами у сфері відновлення критичної інфраструктури, зокрема об'єктів водопостачання та водоочищення. Руйнування систем водопідготовки внаслідок бойових дій призвело до погіршення якості питної води, переривання водопостачання в окремих регіонах та зростання загроз для санітарного і епідеміологічного благополуччя населення. У зв’язку з цим виникає нагальна потреба у впровадженні сучасних, технологічно ефективних, швидко реалізованих та екологічно безпечних рішень з проєктування нових або модернізації пошкоджених систем водопідготовки. Розробка інженерної системи водопідготовки в умовах відбудови країни є не лише технічним завданням, а й важливою складовою забезпечення гуманітарної безпеки, сталого розвитку та відновлення нормального життя на звільнених територіях.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка сучасної інженерної системи водопідготовки, яка забезпечуватиме ефективне очищення води відповідно до діючих санітарно-гігієнічних норм, з урахуванням вимог екологічної безпеки, енергоефективності та особливостей відбудови зруйнованої інфраструктури. Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасні технології водопідготовки, включаючи інноваційні методи та їх ефективність;
- визначити вимоги до очищення природної води для заданих умов;
- обґрунтувати вибір технологічної схеми та здійснити проєктування системи водопідготовки;
- виконати гідравлічний та технологічний розрахунок очисних споруд, включаючи змішувачі, відстійники, фільтри, резервуари та обладнання для знезараження води;
- провести екологічне обґрунтування обраної технології, включаючи розрахунок споруд для обробки промивних вод та визначення їх впливу на навколишнє середовище.

Результати роботи можуть бути використані при проєктуванні нових об’єктів водопідготовки у звільнених та постраждалих регіонах України. Запропоновані технологічні рішення сприятимуть не лише підвищенню якості питної води, а й скороченню термінів відновлення водоочисної інфраструктури, зменшенню енергоспоживання та забезпеченню екологічної безпеки. Це особливо актуально в умовах обмежених ресурсів та необхідності швидкого реагування на гуманітарні потреби населення.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ

Забруднення води є однією з найсерйозніших проблем XXI ст. Людство витрачає дедалі більше прісної води, запаси якої обмежені і становлять усього 3 % від загальної кількості вологи на планеті. Забруднена, а отже, зіпсована, вода в природних умовах не може швидко відновлюватися. На одній з останніх нарад у Всесвітній організації охорони здоров'я особливо наголошувалося на тому, що близько 80 % усіх захворювань спричинені саме неякісною питною водою.

Інтенсивний розвиток промисловості, комунального та сільського господарства спричиняє забруднення водного і повітряного середовища шкідливими речовинами різного походження. Погіршення стану водного середовища йде у трьох напрямках: забруднення, засмічення й виснаження. Домінуючим негативним фактором впливу на водні об'єкти є забруднення, якому слід приділяти найбільшу увагу з боку водогосподарських організацій і контролюючих установ. Під забруднення водних ресурсів розуміють будь-які зміни фізичних, хімічних і біологічних властивостей води у водоймах та річках у зв'язку зі скиданням в них рідких, твердих і газоподібних речовин, які запобігають або можуть створити незручності, коли вода даних водойм стає небезпечною для здоров'я населення й виробництва та завдає збитку народному господарству. Це вимагає від відповідних державних органів України прийняття рішень і здійснення заходів щодо збереження водних ресурсів. Для втілення цих рішень в життя в першу чергу слід на підприємствах і системі комунального господарства впроваджувати екологічно – безпечні технології виробництва продукції, системи замкнених технологічних циклів, утримуватись від скиду забруднених або недостатньо очищених стічних вод і повітряних потоків в навколишнє природне середовище.

За останні десятиліття на підприємствах країни побудовано велику кількість очисних споруд і пристроїв. Проте використані технології морально застаріли і малоефективні. Здебільшого проводиться грубе очищення, часто методами нейтралізації шкідливих речовин. Згідно з цими технологіями, один вид забруднень перетворюється на інший, проте не усувається повністю. Забруднення

водного і повітряного середовища не тільки не припиняється, а навпаки, збільшується. Природні біологічні процеси, що відбуваються у водоймах і повітрі не забезпечують їх повного самоочищення.

У даній роботі буде розглянуто сучасні технології водопідготовки, системи очищення та їх ефективність у сучасних умовах. Перспективи розвитку водопідготовки: екологічні та енергоефективні рішення.

1.1 Інноваційні методи та технології у водопідготовці

Водні поверхневі і підземні системи відіграють важливу роль в питаннях водопостачання населення питною водою. Не менш важливо це і для промислових підприємств, транспорту, енергетики, сільського і комунального господарства.

З кожним роком екологічна ситуація стрімко погіршується. Проблема очищення води для жителів міст сьогодні стоїть як не можна гостро. Внаслідок господарської діяльності підприємств таких як металургійні та нафтохімічні, викиди в навколишнє середовище перевищує всі допустимі норми, а проблеми скидання стічних вод не приділяється належної уваги за рахунок чого зменшуються запаси та погіршується якість підземних вод.

Дослідження різних груп вчених показали, що якість підземних вод, які використовуються для пиття, вище якості поверхневих водних об'єктів. Однак, слід зауважити, що в багатьох регіонах країни підземні води забруднені сульфатами, хлоридами, сполуками азоту, нафтопродуктами, фенолами, сполуками заліза, важкими металами. Саме з цієї причини значно зростає вартість водопідготовки. Будівництво нових очисних споруд призведе до поліпшення ситуації в сфері екології та стан водних ресурсів.

За для очищення води використовують різні види сорбентів – поглиначів забруднень. Сорбенти мають властивість вбирати у себе настільки небезпечні речовини, що самі перетворюються на чинник небезпеки для довкілля. Фахівці працюють над розробкою альтернативних водоочисних технологій, зокрема безреагентних методів, що ґрунтуються на застосуванні фізичного впливу на

рідину і не потребують витратних матеріалів, фільтрів, сорбентів. Кілька таких винаходів належать ученим Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища (ІГНС) НАН України».

Застосування безреагентних методів передбачає очищення води шляхом впливу на неї електричним, магнітним та електромагнітним полями. Одна з нових українських технологій очищення рідин базується саме на використанні електричного струму і дає змогу не лише вилучати забруднювач з води, а й дезінфікувати її. Суть зазначеної технології полягає в тому, що в камері певного об'єму крізь воду пропускають потужний електричний розряд (напругою до 10000А) – цілковитий аналог блискавки, – унаслідок чого вода переходить у газоподібний стан, а розчинені в ній забруднювачі (в тому числі й важкі метали) перетворюються на нерозчинні. Для отримання розряду необхідної потужності дослідники використали спеціальні накопичувачі, які виділяючи енергію впродовж кількох мікросекунд, впливають на рідину плазмовими утвореннями. У наступній камері відбувається осідання нерозчинних домішок – і за допомогою магнітних сепараторів їх відокремлюють від води.

Сконструйована українськими науковцями установка, у якій і здійснюються всі етапи очищення рідини, належить до розряду так званих модульних установок. Попри чималі габарити, її досить легко транспортувати (на контейнері), а отже, очищувати рідини практично всюди, де в цьому виникає потреба. Установка оснащена також системою захисту від ураження людини електричним струмом. Винахідники зазначають, що їхня розробка дає змогу очищувати воду від будь-яких шкідливих речовин – навіть радіонуклідів: дана експериментальна установка була вже неодноразово застосована при очищенні вод уранових шахт, міських агломерацій, а також для знесолення води. Як підкреслюють розробники, зважаючи на те що генерування надпотужного електричного розряду створює в реакторі установки, відповідно, надскладні умови – надзвичайно високі температуру й тиск (останній може сягати 100 тис. атмосфер), – мікроорганізми за цих умов гинуть. У такий спосіб відбувається автоматична дезінфекція води.

Продуктивність установки становить 1т/год, але може бути збільшена до показника 10т/год. Учені особливо наголошують на економічності зазначеної

технології: очищення 1м³ води потребує щонайбільше 2кВт електричної енергії. Ці витрати є навіть меншими, ніж витрати на хлорування води, яке, до того ж, на виході дає недостатньо безпечну рідину.

Очищена за допомогою надпотужного електричного струму вода є, однак, придатною лише для технічного використання. Доочистити її, перетворивши на питну рідину, можна за допомогою стандартних засобів (наприклад, полімерних фільтрів). Водночас жоден інший засіб не дасть змоги знезаразити воду на такому високому рівні і, тим більше, вилучити з неї радіоактивні речовини.

Крім того, українські науковці розробили технологію отримання так званої «живої» та «мертвої» води. Живою вчені називають воду з негативним потенціалом, насичену воднем або гідрид-іонами. Для отримання такої води застосовують електроліз: у воду занурюють дві пластинки, подають на них різні заряди – позитивний і негативний, між пластинами розміщують напівпроникну мембрану (аби відокремити одні атоми від інших). На одній із пластин починають накопичуватися іони водню. Залежно від отриманого розряду, така вода може набувати лікувальних властивостей і, за умови щоденного споживання, підвищувати імунний статус людини. Спеціальний апарат Water Life, спроектований і сконструйований фахівцями ІГНС НАН України, дає змогу отримувати чотири типи «живої» води з різними потенціалами (від –100мВ до –450мВ). Якщо воду першого типу можуть без жодних застережень і протипоказань уживати навіть діти, то вода четвертого типу є суто лікувальним засобом. Останні дослідження, здійснені американськими вченими, дають підстави сподіватися на подальше ефективне застосування такої води при лікуванні онкологічних захворювань.

«Живу» воду практично неможливо відшукати в природних умовах, оскільки вона утворюється на великій висоті льодовика чи сніжника під впливом постійного опромінювання потоком сонячної енергії.

Процес іонізації має тривати впродовж лічених секунд, інакше вода, нагріваючись до певної температури, втрачає свій негативний (за електричним зарядом) потенціал і набуває позитивного. Щоправда, вода з позитивним потенціалом (або ж так звана «мертва» вода) теж має низку переваг: її можна

використовувати для промивання ран, обробки овочів, стерилізації медичних інструментів.

Якість і властивості очищеної води українські науковці досліджують у спеціальній лабораторії, обладнання якої дає змогу ідентифікувати будь-які забруднювачі (а також їх обсяг), зокрема важкі метали, неорганічні аніони кислот, сульфати, нітрати, нітрити, органічні забруднювачі тощо. Перевірку здійснюють за допомогою хроматографії (рідинної та газової) – особливого методу аналізу речовин. Вода, що пройшла обробку електричним струмом, справді втрачає всі забруднювальні компоненти – і це доведено численними хроматографічними експертизами.

1.2 Системи очищення та їх ефективність у сучасних умовах

Питання якості питної води в Україні була і є надзвичайно актуальною та гострою. На основі власних запасів води Україна є однією з найменш забезпечених країн Європи.

Близько 80 % водних ресурсів України становлять ресурси басейну Дніпра. Водночас ця річка зазнала і продовжує зазнавати певних змін. З одного боку, вони спричинені природними факторами, а з іншого – людськими. Гідрохімічні характеристики Дніпра залежать від природних умов та господарської діяльності у верхній частині басейну. Цей ефект полягає у перенесенні стічних вод у річках та видаленні забруднюючих речовин у міських районах. Навіть невелике забруднення може багатократно знизити якість води. Ефективність захисту водних та навколишніх водних екосистем значною мірою залежить від екологічного захисту наземних екосистем, не тільки від екологічної доцільності водокористування, але й від екологічної доцільності всієї галузі матеріального виробництва, особливо в сільському господарстві. Існуюча технологія призведе до забруднення ґрунту, підземних та річкових вод.

Слід відзначити, що традиційна технологія очищення води не може глибоко очистити воду від органічних забруднюючих речовин. Навіть після такої обробки близько 30 % органічного вуглецю залишається у воді. При цьому навіть за

найкращих когуаляційних умов з водойми можна видалити не більше 40 % біологічно розкладаємих органічної речовини [п.12].

Загальне забруднення водойми та різні хімічні речовини, що знаходяться у водоймі, призводять до зниження ефективності бар'єрної функції системи водопідготовки. Найчастіше під час повені, коли навантаження на водоочисну станцію збільшується, її бар’єрна функція руйнується.

Органічні компоненти природної води утворюються за участю ґрунтово-торф’яного перегною, планктону, високоякісних водних рослин, тваринних організмів та органічних речовин, що потрапляють у водойму завдяки технічній діяльності людини. У воді вони перебувають у розчиненому, колоїдному та зваженому станах і утворюють динамічну систему, в якій під впливом фізичних, хімічних та біологічних факторів стан безперервно переходить з одного стану в інший.

У процесі розкладання вищих водних рослин у воду потрапляють вуглеводи, органічні кислоти, дубильні речовини, лігнін, геміцелюлоза та смоли.

У той же час багато органічних речовин нестійкі та легко й постійно трансформуються. Безпосереднє визначення його концентрації у питній воді є складним процесом, тому її загальний вміст можна оцінити за допомогою комплексних показників. Індекс окиснення перманганату використовується для аналізу вмісту легко окислюваних органічних речовин у питній воді.

Це значення відображає вміст органічної речовини у воді, окисленій перманганатом калію. Відповідно до чинних санітарних норм [п.6], призначеної для споживання людиною", згідно з положенням, гранично допустима концентрація органічних речовин у питній воді становить 5 мг/л. Середнє значення підземних вод становить від 10 до 100 міліграм на літр.

Органічне забруднення поверхневих вод відбувається під впливом багатьох взаємопов’язаних процесів, що відбуваються під впливом місцевих факторів у водоймі та її водозборі. При аналізі джерел органічних речовин слід враховувати зовнішні та внутрішні фактори забруднення.

Зовнішні забруднювачі в основному включають: скидання стічних вод і приплив водних мас, які містять забруднюючі речовини, що спричинені опадами забруднюючих речовин, що змиваються поверхнею водозбору.

Серед внутрішніх факторів важливу роль відіграють гідрологічні умови та біологічні процеси у водному об’єкті. Склад і вміст органічної речовини в природній воді визначається багатьма процесами з різними характеристиками та різною швидкістю протікання.

Оскільки умови питного водопостачання та постачання води, для господарських потреб деяких водних джерел не відповідають законодавчим вимогам, необхідно вжити заходів щодо запобігання та усунення впливу забруднення.

Вибираючи технологію водопідготовки, необхідно визначити забруднювачі та рівні забруднення води, а також ступінь необхідної очистки. Для кожного типу забруднювачів рекомендуються певні методи очищення. Для знезараження питної води під час її приготування застосовують хімічний (хлорування, озонування), фізичний (киплячий, ультрафіолетовий, ультразвуковий) та фізико-хімічний (адсорбційний) методи (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Методи очищення води при водопідготовці

Методи для підготовки питної води з поверхневих та підземних джерел мають певні відмінності в певних етапах водопідготовки. Водопідготовка

промислова – це комплекс заходів, спрямованих на очищення води. Апарати, що служить для здійснення промислової водопідготовки.

Існують деякі відмінності в способах приготування питної води з поверхневих та підземних джерел на певних етапах очищення води. Промислова водопідготовка – це низка заходів, спрямованих на очищення води, за допомогою наступного обладнання:

− фільтри для глибокого очищення води;
− фільтри для пом'якшення води;
− фільтри для знезалізнення та демінералізації.

Розрізняють наступні етапи підготовки води для промислового використання:

1. Первинна механічна фільтрація, при якій видаляються всі зважені частинки з води та нерозчинний залишок.

2. Сорбція, яка дозволяє усунути навіть найдрібніші домішки, розміри яких можуть не перевищувати 5–10 мкм (до того ж, це дозволяє усунути запах).

3. Знезалізнення.

4. Дезінфекція (використовують озонатор, тому, що кисень гарно очищає воду; ще більш економним способом є застосування реагентів; в харчовій промисловості використовують наразі самий безпечний спосіб очищення води з використання ультрафіолетових ламп).

5. Пом'якшення води (використовуючи іонний обмін).

Творцем технології озонування води є Франція, яка відзначила століття ефективного використання озону для підготування питної води та промислового виробництва обладнання для озонування. Озон – сильний окиснювач, який може вбивати бактерії, спори та віруси (особливо небезпечний вірус поліомієліту), руйнувати складні органічні сполуки, спричиняти зміну кольору води та покращувати смак води. Однак основною метою озонування є окислення та видалення різних специфічних хімічних забруднювачів, таких як фенол, нафтопродукти, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), пестициди тощо. Але використання озону пов’язане з наступними проблемами. На додаток

до високої вартості генератора озону та вартості електроенергії для синтезу озону, технологія характеризується складністю апаратного проектування.

Обладнання станції генератора озону включає: компресори, обладнання для очищення та осушення повітря, генератори озону, електростанції та пристрої для каталітичного розкладання озону. Коли озон (озоно-повітряна суміш) змішується з водою, також можуть виникнути проблеми, оскільки озон важко розчиняється у воді. Контактна камера зазвичай має форму багатоступінчастого змішувача у якому вода рухається зигзагоподібно у вертикальній площині. При цьому може змішувати озоно-повітряну суміш з водою. Нерозчинений озон підіймається до реакційної камери та сепаратора повітря у верхній частині реакційної камери через трубопровідну систему, а озон, що містить адсорбент, каталітично розкладається вентилятором та викидається в атмосферу. Контактна камера може працювати як в протиточному, так і в прямоточному режимах, при цьому за допомогою методу змішування проти струму ступінь використання озону може бути збільшена до 93–98 %.

Оскільки озон є відомим дезінфікуючим засобом, існує непорозуміння, що озонування може уникнути вторинного хлорування. Однак озон швидко розкладається у воді і не надає тривалого стерилізаційного ефекту, тому, хоча кількість хлору можна зменшити, використання озону не виключає використання хлору. Крім того, в процесі озонування води багато органічних забруднювачів руйнуються, що призводить до збільшення кількості біорозкладаних сполук у воді, збільшуючи тим самим концентрацію так званого "асимільованого органічного вуглецю", який мікроорганізми легко поглинають та використовують для життєдіяльності. Це створює сприятливі умови для повторного бактеріального забруднення очищеної води у водопровідній мережі. Тому для надійної роботи водопровідних мереж необхідне остаточне знезараження води проводити хлоровмісними реагентами. З вищевикладеного виходить, що у кожному конкретному випадку для ухвалення рішення про застосування озону необхідне проведення передпроектних технологічних досліджень, в результаті яких можна обгрунтовано робити висновки про доцільність і ефективність озонування і

оцінити його вплив на основні процеси очищення води на даній водоочисній станції.

В ході таких досліджень за їх результатами можна встановити оптимальні дози озону в характерні періоди року, коефіцієнт використання озону, час контакту озоноповітряної суміші з оброблюваною водою. Для вилучення з води продуктів озонолізу рекомендується подальше сорбційне очищення води. Тому, щоб забезпечити надійну роботу водопровідної мережі, воду потрібно остаточно продезінфікувати хлорвмісними реагентами. Підводячи підсумок, у кожному випадку прийняття рішення про використання озону вимагає попередньо розробленого технічного дослідження, тому тільки після цього можна обґрунтовано зробити висновки щодо доцільності та ефективності озонування та оцінити його вплив на воду.

Так можна встановити оптимальні дози озону в характерні періоди року, коефіцієнт використання озону, час контакту озоноповітряної суміші з оброблюваною водою. Для вилучення продуктів розпаду озону з води рекомендується додатково очищати воду адсорбцією.

Разом з цим сорбційний ступінь очищення води підвищує надійність роботи водоочисної станції в цілому і гарантує необхідну якість води (при необхідності із зменшенням подачі води) навіть в періоди аварійних ситуацій і попадання у вододжерело хімічних забруднень: фенолів, нафтопродуктів і ін.

Перевагами методу сорбції є видалення забруднень надзвичайно широкої природи до будь-якої залишкової концентрації, відсутність вторинних забруднень і можливість управління процесом. У той же час сорбційний ступінь очищення води підвищує надійність роботи водоочисної станції в цілому і гарантує необхідну якість води (при необхідності із зменшенням подачі води) навіть в періоди аварійних ситуацій і попадання у вододжерело хімічних забруднень: фенолів, нафтопродуктів та ін. На станції водоочистки рекомендується використовувати активоване вугілля у вигляді завантаження для сорбційного фільтра, який є третьою стадією очищення води (після освітлювального фільтра). З точки зору здоров'я та техніки, цей метод є найбільш надійним. Оскільки на вугілля поступає очищена на піщаних фільтрах вода, що є фактично питною, то

вугілля працює тільки за прямим призначенням, як сорбент для видалення з води в основному органічних забруднень.

При цьому термін служби вугілля залежно від якості води водного джерела може досягати 3 років. Оскільки проектування та будівництво обладнання для сорбційної обробки вимагає тривалого часу та великої суми капітальних витрат, як тимчасовий варіант, можна порекомендувати замінити піщаний фільтр на вугілля. У нинішній ситуації це рішення є більш економічно доцільним. Коли фактична продуктивність фільтрувальної станції набагато нижча від проектної, швидкий фільтр буде недостатньо завантаженим, тому частина його може бути використана як сорбент.

Технологічна схема реконструкції існуючих фільтрувальних станцій, що рекомендується, з впровадженням озоносорбційного очищення представлена на рис. 1.2

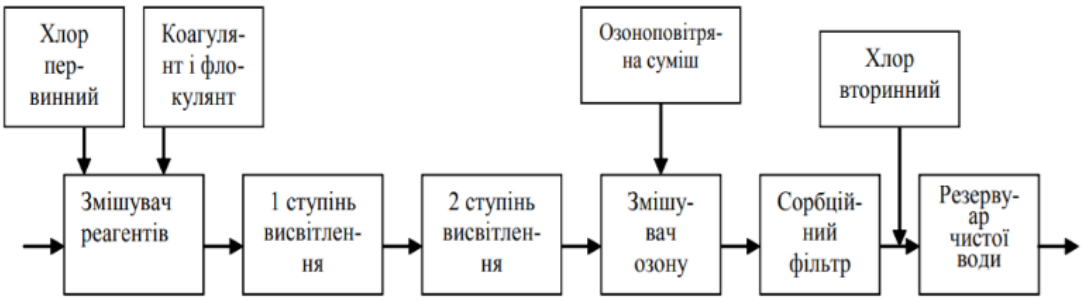


Рисунок 1.2 – Схема озоносорбційного очищення

За останні два десятиліття ультрафіолетові технології знезараження води стали популярними у багатьох країнах світу. Досвід використання такого обладнання в Німеччині, Великобританії, Австрії та інших країнах та регіонах досяг позитивних результатів функціонування променевих технологій: не утворюються побічні небажані речовини та не змінюються хімічний склад корисних (мінеральних та інших) домішок і не змінюється органолептичні властивості води; спосіб і процес відрізняються надійністю, простотою, низькою енергоємністю та собівартістю.

Процес обробки УФ-водою досить швидкий (кілька секунд на літр) і залежить від інтенсивності впливу та концентрації патогенних мікроорганізмів у воді. Установка компактна, не займає великої площі та проста у використанні та обслуговуванні.

Спираючись на досвід аналізування дії ульфіолетового випромінювання на бактерії у воді можемо стверджувати, що дана технологія найбільш ефективно працюватиме при проточному типі установки. В апараті розміщують УФ-лампу для проведення опромінення по оці циліндру апарата. Якщо використовувати УФ-установку вірно бактерицидний ефект може досягати 99,9 % дезінфекції питної води, навіть при мінімальних показниках опромінення.

На показники ефективності знезараження впливають наступні показники: хімічний склад води (наявність домішок, які осідають на зовнішній колбі лампи та ін.), параметри конструкції установки (геометричні розміри та величина променевого потоку, товщина шару води, швидкість її протікання та ін.).

Наведемо наступний приклад, за присутності у питній воді часточок нерозчинних органічних і неорганічних речовин знижує її прозорість для УФ-випромінення, тому що ці частинки можуть в деякій мірі поглинати УФ-випромінення та екранувати мікроорганізми від нього.

Джерелами випромінювання, які мають найкращі показники ефективності в бактерицидній області спектра (205–315 нм), на сьогодні є ртутні розрядні лампи низького тиску. В цих лампах більше 25 % електричної енергії перетворюється у випромінення, довжина хвилі якого становить λ = 253,7 нм (максимальна ефективність бактерицидної дії ультрафіолетового випромінення припадає на λ = 260 нм) (рис. 1.3). На ефективність знезараження води впливає хімічний склад води (наявність домішок, що осідають на зовнішній колбі лампи), та параметри конструкції обладнання (геометричні розміри та потік випромінювання, товщина шару води, швидкість тощо).

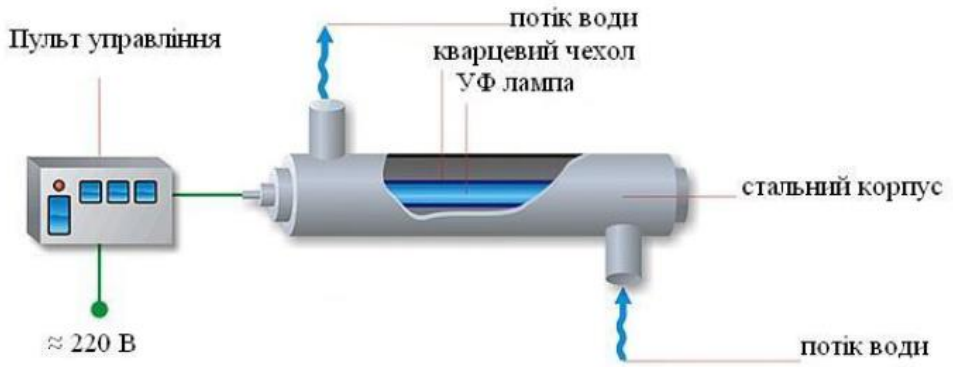


Рисунок 1.3– Схема пристрою для очищення питної води з функцією УФ-стерилізації

Велика кількість дослідників пояснюють бактерицидну дію УЗ-механічним руйнуванням мікроорганізмів в УЗ-полі.

Цитологічне дослідження Saccharomyces cerevisiae, оброблених ультразвуком, показало, що всередині клітин спостерігалися основні зміни: механічна деформація та часткове руйнування ядра клітини під час короткочасної ультразвукової обробки та зміна структури вакуолі. На другій стадії ультразвукової обробки клітинні стінки руйнуються, а вміст клітин змивається. Скупчення активного мулу руйнуються за доволі короткий час і утворюють дрібні частинки, стійкі у воді. Збільшення кількості мікроорганізмів в одиниці об'єму дисперсії посилить утворення метану, коли активний мул або углекислий газ обробляють в аеробних умовах.

Отже, у воді зростає концентрація живих мікроорганізмів протягом їхньої обробки та розчиненого органічного субстрату. Ефективність бактерицидної дії УЗ-коливань залежить від форми мікроорганізмів, міцності і хімічного складу стінки клітини, інтенсивності озвучення, частоти УЗ-коливань і тривалості озвучення. Змінюючи інтенсивність і тривалість озвучення, можна впливати практично на всі види мікроорганізмів. В УЗ-полі піддаються дезінтеграції грампозитивні і грамнегативні, аеробні і анаеробні бактерії, паличкоподібні, кокові та інші форми мікробів. Найбільш чутливими до дії ультразвуку є ниткоподібні форми мікроорганізмів, а найменш чутливі – кулеподібні.

Дослідження вказали на те, що частоти 20, 26, 30 кГц за бактерицидною дією рівноцінні й при цьому основна маса бактерій гине за проміжок часу в 2–5 секунди.

Отримання інформації, щодо закономірностей дії ультразвуку на клітини мікроорганізмів є важливим завданням в процесах вирощування спеціальних штамів мікроорганізмів і очищення води від хімічних та біологічних забруднень.

Методика водопідготовки хлоруванням: через хімічну реакцію між атомом хлору та структурою клітин бактерій проце життєдіяльності клітини паралізується та бактерії гинуть. Ступінь дезінфекції головним чином залежить від концентрації активного хлору, часу контакту, pH та температури води. Вважається, що соляна кислота ефективніша за іон гіпохлориту. Основним знезаражуючим компонентом в якому є активний хлор. Незважаючи на те що, хлорування ефективне проти різноманітних патогенних бактерій, даний метод не забезпечує епідемічну безпеку від вірусів.

Ще одним недоліком вище наведеного способу є утворення хлорорганічних сполук та хлорамінів та те, що з часом у відповідну реакцію на ці сполуки утворюється хлоростійка флора. До цього можна додати й побічні продукти з канцерогеним, тератогеним та мутагеним ефектом, такі як хлорорганічні сполуки (наприклад, трихлорметан). І отримаємо висновок, що метод хлорування не може повністю забезпечити епідемічну та хімічну безпеку питної води. Зменшення тривалості життя, у тому числі за рахунок онкозахворювань, може відбутися в тому числі й через надходження канцерогенів з питною водою.

Цей факт змушує нас розглядати питання якості питної води як надзвичайно актуальне. Всі ці причини обумовлюють необхідність дадавання хлорорганічних сполук до переліку санітарно-токсикологічних показників для постійного моніторингу питної води, які в даний час піддаються ретельному котролю у ряді європейських країн.

1.3 Перспективи розвитку водопідготовки: екологічні та енергоефективні рішення

У XXI столітті водопідготовка стикається з новими викликами — збільшенням забруднення, виснаженням водних ресурсів, енергетичною кризою та потребою зменшити вплив на довкілля. У зв’язку з цим пріоритетними стають екологічність та енергоефективність процесів очищення води.

Традиційні методи водопідготовки, зокрема хлорування, коагуляція та осадження, часто пов’язані з використанням токсичних реагентів і значним обсягом відходів. У майбутньому дедалі більшого значення набуватимуть технології, що: не створюють шкідливих побічних продуктів (наприклад, УФ- або озонова дезінфекція), використовують біосорбенти (торф, цеоліти, активоване вугілля з відходів аграрного виробництва), дозволяють повторно використовувати очищену воду**,** зменшуючи водозабір з природних джерел, передбачають переробку осаду замість його захоронення, зокрема з виробництвом біогазу або добрив.

2. Розвиток мембранних технологій

Мембранні методи (нанофільтрація, ультрафільтрація, зворотний осмос) демонструють високу ефективність очищення від мікрозабруднень, бактерій та солей. Вони мають високу селективність, але й потребують значної енергії. Тому перспективним напрямом є: розробка нових типів мембран, що мають вищу проникність і довший термін служби; застосування енергоощадних насосів **і** енергорекуператорів; інтеграція таких систем у Smart Water Systems.

3. Енергоефективність через цифровізацію

Сучасні технології управління дозволяють суттєво знизити енергоспоживання. Сюди входять: системи онлайн-моніторингу, що дозволяють точно дозувати реагенти та регулювати навантаження; використання алгоритмів оптимізації енергоресурсів у реальному часі; перехід до інтелектуальних мереж водопідготовки (Smart Water Grid), де кожен елемент системи взаємодіє автоматично з урахуванням попиту та якості води.

4. Впровадження відновлюваних джерел енергії

Очисні споруди мають високий потенціал для інтеграції сонячних панелей**,** вітротурбін або навіть біогазових установок (при наявності органічних відходів). Це дозволяє: знизити залежність від дорогих енергоресурсів, зробити систему автономною, особливо в малих населених пунктах, зменшити викиди вуглецю.

5. Інноваційні матеріали та нанотехнології

У перспективі водопідготовка активніше використовуватиме: наночастинки та нанофільтри, що дозволяють видаляти важкі метали, мікропластик і віруси; каталітичні матеріали, які прискорюють розклад шкідливих речовин без хімічних реагентів; самоочищувальні поверхні мембран, що зменшують потребу в заміні фільтрів.

6. Правове та суспільне підґрунтя

Розвиток водопідготовки залежить і від нормативної бази: зростає кількість екологічних стандартів до якості води; держава стимулює підприємства до ресурсозбереження через «зелене» фінансування; громадськість активніше контролює якість питної води, підвищуючи прозорість систем водопостачання.

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ

2.1 Аналіз вихідної води та визначення вимог до водопідготовки

Аналіз вихідної води дозволяє встановити її якість та визначити, які методи водопідготовки потрібні для забезпечення необхідних параметрів води. Для питної води важливо, щоб вона була безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні, мала сприятливі органолептичні властивості та нешкідливий хімічний склад згідно показників щодо якості питної води, яка повинна відповідати Державним санітарним нормам та правилам.

Етапи аналізу вихідної води:

1. Відбір проб:

− правильний відбір проб є ключовим для отримання достовірних результатів аналізу. Для відбору проби для аналізу беруть проточну воду з крана пробовідбірника, та набирають її тонкою цівкою в чисту пляшку.

2. Органолептичний аналіз:

− здійснюється оцінка кольору, запаху, смаку та прозорості води.

3. Хімічний аналіз:

− визначаються такі показники, як загальна твердість, вміст металів та інших хімічних речовин.

4. Бактеріологічний аналіз:

− оцінюється вміст бактерій та інших мікроорганізмів.

5. Радіометричний аналіз:

− визначається рівень радіації.

Вимоги до якості води, що підлягає водопідготовці:

Для питної води:

− безпека в епідемічному та радіаційному відношенні.

Сприятливі органолептичні властивості (прозорість, відсутність запаху та смаку).

Нешкідливий хімічний склад.

Аналіз вихідної води є необхідним етапом для визначення вимог до водопідготовки та вибору оптимальних методів очистки води для конкретних потреб.

Джерелом водопостачання є річка, показники якості води в ній наведені нижче.

Витрата води:	
– максимальна	22м^3/с
– мінімальна	10м^3/с
Швидкість води в річці:	
– максимальна	0,7м/с
– мінімальна	0,5м/с
Рівень води в річці:	
– зимовий	67,6м
– літній	65,2м
– в паводок	69м
Гідравлічна крупність наносів	53мм/с
Товщина льоду	0,6м
Висота хвилі	0,4м
Грунти, що складають берег річки:	
– до 3 м	пісок
– до 6 м	супісь
– більше 6 м	суглінок
Якісний склад води:	
– каламутність	130 мг/л
– кольоровість	80 град
– лужність	3,3 мг-екв/л
– pH	7,8
– вміст Ca^{2+}	4,4мг-екв/л

– вміст Mg^{2+}		2,0мг-екв/л
– вміст $Na^{+}+K^{+}$		0,78мг-екв/л
– вміст Cl^{-}		1,62мг-екв/л
– вміст SO^{2-}_{4}		2,23мг-екв/л
– вміст F^{-}		0,7 мг-екв/л
Солевміст		480 мг/л
Температура води	взимку	0^0C
Температура води	влітку	20^0C
Твердість води		4,0 мг-екв/л

2.2 Проєктування та вибір технологічних рішень для системи водопідготовки

Відповідно до рекомендацій [1, п. 10.2.2, табл.14] вибрано метод та схему обробки води з урахуванням якості води в джерелі водопостачання, призначення водопроводу, продуктивності станції та місцевих умов, техніко-економічного обгрунтування.

Відповідно до основних показників якості вихідної води: вміст завислих речовин 130мг/л, кольоровість 80 град і з огляду на необхідну продуктивність очисних споруд 45564 м^3/доб, до проектування приймається схема з горизонтальними відстійниками та швидкими фільтрами (рис. 2.1), метод обробки води - із застосуванням коагулянту.

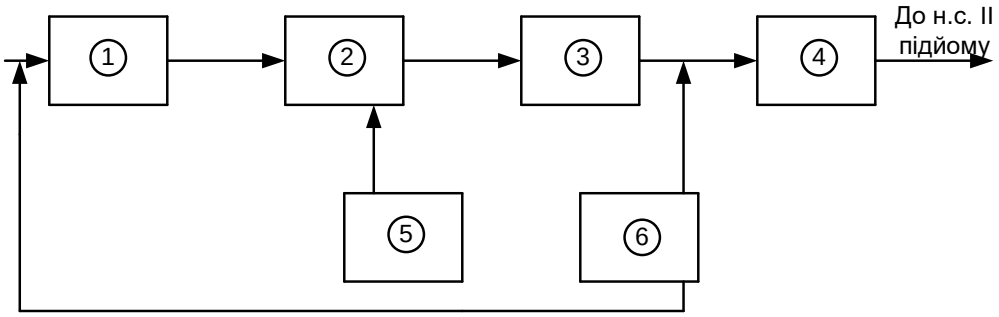


Рисунок 2.1 —Принципова схема очисних споруд: 1—змішувачі; 2—горизонтальні відстійники; 3—швидкі фільтри; 4—резервуари чистої води; 5—реагентне господарство; 6-хлораторна установа

Продуктивність станції з урахуванням витрати води на власні потреби в кількості 4% становить:

$$Q = 45564 \times 1{,}04 = 47386{,}6 м^3 / доб = 1974{,}4 м^3 / год = 548 л / с$$

2.3 Визначення розрахункових витрат води

Розробка технології водопідготовки включає кілька етапів, зокрема визначення розрахункових витрат води. Для цього необхідно враховувати потреби споживачів, які можуть бути пов'язані з житловим фондом, промисловістю, сільським господарством та іншими сферами. Розрахунок витрат води має базуватися на даних про поточний стан, а також на прогнозах щодо майбутнього розвитку.

Основні етапи визначення розрахункових витрат води:

1. Збір інформації, а саме визначення поточного стану споживання води за різними категоріями споживачів (житловий фонд, промисловість, сільське господарство, тощо).

Оцінка прогнозу зростання населення та розвитку різних сфер економіки, що може вплинути на споживання води.

Визначення проблем, пов'язаних із водопостачанням, таких як втрати води в мережах, нераціональне використання та інші.

Визначення різних сценаріїв розвитку споживання води, враховуючи різні фактори.

Вивчення можливих заходів для економії та раціонального використання води.

2. Розрахунок за різними категоріями споживання:

- житловий фонд, де у розрахунок витрат води на душу населення, враховуються норми водопостачання та можливі зниження у зв'язку з економією;

- промисловість, у розрахунок витрат води, приймається виходячи з потреб підприємств, враховуючи їхню специфіку та можливі зміни у виробництві;
- сільське господарство у розрахунок витрат води на зрошення, враховуються площі земель та типи культур;
- інші потреби, приймаються до розрахунку з витрат на інші потреби, такі як громадські установи, пожежогасіння, тощо.

Методи розрахунку бувають як нормативні, так і аналітичні.

Нормативні методи:

- розрахунок на основі норм водопостачання на душу населення та на одиницю виробництва.

Аналітичні методи:

- розрахунок з використанням математичних моделей та розрахунків для визначення витрат води.

Експериментальні методи:

- вимірювання витрат води у конкретних умовах.

Важливо при розрахуванні витрати води враховувати сезонність споживання води, особливо у сільському господарстві; можливі зміни клімату та їхній вплив на водозабезпечення; можливі зміни в економіці та суспільстві.

РОЗДІЛ 3 РОЗРАХУНОК ОЧИСНИХ ПОРУД

3.1 Реагентне господарство

Дозу коагулянту, $Д_{к.}$,мг/л, розраховуючи на $Al_2(SO_4)_3$ по безводній речовині, прийнято за п. 10.4.2, табл. 15 [22]:

$$Д_{к.}=32 \text{ мг/л}$$

Доза коагулянту при обробці кольорових вод визначається за формулою:

$$Д_{к.}=4\sqrt{Ц}\ , \qquad (3.1)$$

де $Ц$ – кольоровість води, град.

$$Д_{к.}=4\sqrt{80}=35{,}8 мг/л,$$

При одночасному вмісті у воді завислих речовин і кольоровості приймається більша із доз - $Д_{к.}=36$мг/л.

Визначення дози підлужнюючих реагентів

Доза підлужнюючого реагенту, $Д_{луг}$,мг/л, що необхідно для поліпшення процесу пластівцеутворення, визначена за формулою:

$$Д_{луг}=К_{луг}(Д_к/е_к-Щ_0+1), \qquad (3.2)$$

де $Д_к$–максимальна в період підлужнення доза безводного коагулянту, мг/л;

$e_к$ – еквівалентна маса коагулянту, мг-екв/л;

$К_{луг}$ – коефіцієнт, прийнятий рівним для вапна (по CaO)-28;

$Щ_0$ – мінімальна лужність води, мг-екв/л.

$$Д_{луг}=28(36/57\ -3{,}3+1)=-46{,}71 мг/л$$

Отримане число зі знаком “-“ вказує на те, що підлуження не потрібне.

Перед визначенням стабільності води перераховуються всі концентрації йонів в одиниці міліграм-еквівалент на літр:

Ca^{2+}-4,4 мг-екв/л, Mg^{2+}-2,0 мг-екв/л, $Na^{+}+K^{+}$-$\frac{18}{23}=0.78$ мг-екв/л, Cl^{-}—1.62 мг-екв/л, $SO^{2-}{}_4$-2.23 мг-екв/л.

$\sum Ca^{2+}+Mg^{2+}+(Na^{+}+K^{+})=\sum Cl^{-}+SO^{2-}{}_4+HCO^{2-}{}_3$

$HCO^{2-}{}_3$=4,4+2,0+0,78-1,62-2,23=3,33 мг-екв/л

$Ca(HCO_3)_2$=33*81=269,73 мг/л

$CaSO_4$=1,07*68=72,76, $MgSO_4$=1,16*60,15=69,77 мг/л,

Mg Cl_2=0,84*47,65=40,03 мг/л, NaCl=0,78*58,5=45,63 мг/л

Сума солей складає 496 мг/л, що відповідає аналітично визначеному значенню.

Визначається вміст двоокису вуглецю у вихідній воді, мг/л:

$$CO_2 = \frac{44 \times Щ}{K_1 \times 10^{pH+\sqrt{\mu}}}, \quad (3.3)$$

де $Щ$ – вихідна лужність, мг-екв/л;

K_1 – константа першого ступеня дисоціації вугільної кислоти,

при $t^0=0^0C$ $K_1=2,61*10^{-7}$

при $t^0=20^0C$ $K_1=4,05*10^{-7}$

μ –іонна сила розчину:

$$\mu = 0,000022P,$$

де P – солевміст, мг/л

$$\mu = 0,000022 \times 496 = 10,9 \times 10^{-3} \quad (3.4)$$

$$CO_2^{зим} = \frac{44 \times 3,3}{2,61 \times 10^{-7} \times 10^{7.7+\sqrt{10,9 \times 10^{-3}}}} = 8,73 мг/л$$

$$CO_2^{літ} = \frac{44 \times 3,3}{4,05 \times 10^{-7} \times 10^{7.7+\sqrt{10,9 \times 10^{-3}}}} = 5,62 мг/л$$

Концентрація у воді вільної вуглекислоти після коагуляції визначається за формулою:

$$(CO_2)_{віл} = CO_2 + 44 * Д_к / e_к, \quad (3.5)$$

$$(CO_2)^{взим}_{віл} = 8,73 + 44*36/57 = 36,5 мг/л$$

$$(CO_2)^{влім}_{віл} = 5,62 + 44*36/57 = 33,4 мг/л$$

Лужність води після коагуляції дорівнює:

$$Щ_к = Щ_0 - Д_к / e_к, \quad (3.6)$$

$$Щ_к = 3,3 - 36/57 = 2,67 мг-екв/л$$

За номограмою рис.Г.2 додатку Г [1] визначається pH_0 - водневий показник після введення у воду коагулянту при солевмісті Р=496мг/л, лужності Щ=2,67мг-екв/л:

$$pH_0^{вліт} = 6{,}95;\ pH_0^{взим} = 7{,}1$$

По номограмі рис.Г.1 додаток Г [22] визначається pH_s - водневий показник в умовах насичення води карбонатом кальцію при, солевмісті Р=496мг/л, лужності Щ=2,67мг-екв/л, вмісті кальцію Ca^{2+}-88мг/л:

$$pH_s^{вліт} = 7{,}45;\ pH_s^{взим} = 7{,}7$$

Визначається індекс насичення карбонатом кальцію:

$$J = pH_0 - pH_s \qquad (3.7)$$

$$J_{влім} = 6{,}95 - 7{,}45 = -0{,}5$$

$$J_{взим} = 7{,}1 - 7{,}7 = -0{,}6$$

Отриманні значення індексу насичення мають знак "-", тобто для одержання стабільної води необхідна її обробка лужними реагентами.

Передбачається обробка води вапном. Доза вапна визначається за формулою:

$$Д_в = 28\beta_{вих} K_t Щ, \qquad (3.8)$$

де $\beta_{вих}$– коефіцієнт, що визначається за номограммою рис.Г.4 [22];

K_t – коефіцієнт, що залежить від температури води: при t=20^{0}C K_t = 0,04 ;

$Щ$ – лужність води до стабілізаційної обробки, мг-екв/л.

$$Д_в = 28 \times 0{,}04 \times 1 \times 2{,}67 = 3 мг/л$$

3.1.1 Розрахунок обладнання реагентного господарства

Добова потреба в технічному коагулянті:

$$G_{доб} = \frac{Д_к \times Q}{10000 \times \rho_k}, \qquad (3.9)$$

де $Д_к$ – розрахункова доза коагулянту, мг/л;

Q-розрахункова добова продуктивність станції, м^3/доб;

$\rho_к$ – відсотковий вміст чистої безводної речовини в технічному продукті, для очищеного коагулянту $\rho_к = 33{,}5\%$.

$$G_{доб} = \frac{36 \times 47387}{10000 \times 33{,}5} = 5{,}1 т/доб$$

Місячна потреба в технічному коагулянті:

$$G_{міс} = G_{доб} \times 30,$$

$$G_{міс} = 5{,}1 \times 30 = 153 т.$$

Приймається мокре зберігання коагулянту. В розчинні баки коагулянт завантажується самоскидами. В баках готується 15%-вий розчин, який перемішується стисненим повітрям за допомогою повітродувок. Потім розчин коагулянту насосами подається по трубопроводах у резервуари-сховища, де зберігається на протязі 15 діб. Звідси 15%-вий розчин коагулянту перекачується у витратні баки, де розбавляється водою до 5%-ї концентрації. Перемішування здійснюється повітродувками. З витратних баків 5%-ий розчин подається у змішувачі.

Ємність розчинних баків визначається за формулою:

$$W_{розч} = \frac{Д_к \times Q_{год} \times n_k}{10 \times b_р \times \rho_k} \quad (3.10)$$

де $Q_{год}$ – годинна продуктивність очисних споруд, м^3/год;

n_k – час, на який заготовлюється розчин коагулянту, год;

$b_р$ – концентрація робочого розчину коагулянту, %;

ρ_k – густина розчину коагулянту, кг/м^3.

$$W_{розч} = \frac{36 \times 1974{,}4 \times 12}{10 \times 15 \times 1000} = 5{,}7 м^3$$

Згідно із [22, п.10.4.9] приймається три баки повною ємністю 2,0 м^3 кожний. Розміри баку у плані-1,0м*1,0м*2,0м (для висоти шару розчину -1,9м).

Ємність видаткових баків:

$$W_{витр} = \frac{W_{розч} \times b_р}{b}, \quad (3.11)$$

де b – концентрація розчину коагулянту у видатковому баці, %.

$$W_{витр} = \frac{5,7 \times 15}{5} = 17,1 м^3$$

Згідно із [22, п.10.4.9] приймається два видаткових баки ємністю 8,8м^3 кожний. Розміри в плані 2,0м*2,0м*2,2м (при висоті шару розчину -2,14м).

Необхідний 15-ти добовий запас розчину коагулянту зберігається в резервуарах-сховищах:

$$W_{сх} = \frac{Д_к \times Q \times 15}{10 \times b_р \times \rho_k} \quad (3.12)$$

$$W_{сх} = \frac{36 \times 47387 \times 15}{10 \times 15 \times 1000} = 170,6 м^3$$

На станції водопідготовки встановлюються три резервуари-сховища об'ємом 59,9м^3 кожний з розмірами в плані – 4,8м*4,8м*2,6м (при висоті шару розчину – 2,46 м).

Для інтенсифікації процесів розчинення коагулянту та перемішування розчину передбачається подача стисненого повітря.

Розрахункова витрата стисненого повітря, що подається в бак, визначається за формулою:

$$Q_{in к} = 0,06 \times i_{in} \times F_{iп}, \quad (3.13)$$

де i_{in} –інтенсивність подачі повітря для розчинення, л/(с*м^2), [22, п.10.4.10];

$F_{iп}$ – площа відповідних баків у плані, м^2 .

Розрахункова витрата стисненого повітря, що подається в розчинні баки:

$$Q_{1пк} = 0,06 \times 10 \times (1,0 \times 1,0 \times 3) = 1,8 м^3 / хв$$

Розрахункова витрата стисненого повітря, що подається в баки-сховища:

$$Q_{2пк} = 0,06 \times 3 \times (4,8 \times 4,8 \times 3) = 12,44 м^3 / хв$$

Розрахункова витрата стисненого повітря, що подається у витратні баки:

$$Q_{3пк} = 0,06 \times 5 \times (2,0 \times 2,0 \times 2) = 2,4 м^3 / хв$$

Загальна витрата стисненого повітря:

$$Q_{пк} = Q_{1пк} + Q_{2пк} + Q_{3пк},$$

$$Q_{пк} = 1,8+12,44+2,4=16,64 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

На станції встановлюється 3 повітродувки (2 робочих,1 резервна) марки ВК-12 продуктивністю 12м^3/хв кожна з електродвигунами типу А72-4 потужністю 28 кВт і частотою обертання 1450 об/хв.

Для дозування розчину коагулянту приймаються насоси-дозатори марки НД. Годинна продуктивність насоса-дозатора:

$$Q_{н.д.} = \frac{\text{W}_{\text{витр}} \times 1000}{\text{n}_\text{k}} \qquad (3.14)$$

де $W_{витр}$ – корисний об'єм видаткового баку, м^3;

n_k –час приготування розчину коагулянту, год.

$$Q_{н.д.} = \frac{8,8 \times 1000}{12} = 733,3/год$$

До установки приймаються 3 насоси (два робочих та один резервний) марки НД 500/10 з двигуном потужністю 3 кВт.

Розчин коагулянту забирається з верхнього рівня витратних баків за допомогою поплавців.

Визначається необхідний об'єм вапна, що містить 78% безводного продукту:

$$\text{W} = \frac{\text{Д}_{\text{вап}} \times \text{Q}}{78 \times 10000} \qquad (3.15)$$

де $Д_{вап}$ – доза вапна, мг/л;

Q – добова продуктивність станції, м^3/доб.

$$\text{W} = \frac{3,0 \times 47387}{78 \times 10000} = 0,18т \ \ /доб$$

При висоті шару негашеного вапна -1м з урахуванням необхідних проходів та проїздів розміри складу в плані складуть 10м*10 м.

Для гасіння вапна передбачається апарат Сб-29 продуктивністю 0,5 т/год (розмір в плані 1,4м*1,9м*1,59м) з електродвигуном АО-5114 потужністю 4,5кВт. Після гасіння розчин подається в бак вапняного молока, обладнаний мішалкою, де концентрація вапна знижується до 5 %.

Ємність видаткових баків:

$$W_{вап} = \frac{Д_{вап} \times q \times n}{10000 \times b_{вап} \times \rho_{вап}}, \quad (3.16)$$

де q – годинна продуктивність станції, м^3/год;

n – час, на який заготовлюється продукт, 6-12 год;

$b_{вап}$– концентрація вапна,%;

$\rho_{вап}$– густина розчину відповідної концентрації, т/м^3

$$W_{вап} = \frac{3{,}0 \times 1974{,}4 \times 12}{10000 \times 5 \times 1} = 1{,}42 м^3$$

Приймається два баки ємністю W=0,8 м^3 кожний. Відношення діаметра D баку до його висоти H приймається рівним 1, тоді:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times W_{/}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0{,}8}{3{,}14}} = 1{,}0 м \quad (3.17)$$

Для дозування розчину вапна приймаються насоси-дозатори марки НД. Годинна продуктивність насоса-дозатора:

$$Q_{н.д.} = \frac{W_{вап} \times 1000}{n} \quad (3.18)$$

$$Q_{н.д.} = \frac{1{,}6 \times 1000}{12} = 133{,}3 л/год$$

До установки приймаються два насоси-дозатори марки НД 500/10 (один робочий та один резервний).

3.2 Розрахунок змішувачів

Процес інтенсивного перемішування реагентів з водою здійснюється у вертикальних змішувачах. Враховуючи продуктивність станції та необхідний ступінь змішування реагентів з водою, до розрахунку приймаються три вертикальних змішувача вихрового типу.

Продуктивність одного змішувача визначається за формулою:

$$Q_{зм} = \frac{Q_{доб}}{24 \times n} \quad (3.19)$$

де n – кількість змішувачів, $n=3$.

$$Q_{зм} = \frac{47387}{24 \times 3} = 658,2 м^3 / год = 182,8 л / с = 0,18\ м^3/с$$

Площа горизонтального перерізу в верхній частині змішувача, м^2 визначається за формулою:

$$F_B = \frac{Q_{зм}}{V_B}, \tag{3.20}$$

де V_B – швидкість висхідного потоку в верхній частині, V_B = 30мм/с=108м/год [22, п.10.5.6];

$$F_B = \frac{658,2}{108} = 6,1 м^2$$

Для квадратного змішувача в плані ширина у верхній частині, м:

$$b_B = \sqrt{F_B}\ ; \tag{3.21}$$

$$b_B = \sqrt{6,1} = 2,5 м\ .$$

Розміри нижньої частини змішувача приймаються в залежності від діаметра трубопроводу, що підводить воду. Діаметр приймається виходячи зі швидкості руху 1,2-1,5м/с [22, п.10.5.6]. За [3] приймається трубопровід діаметр 400мм при швидкості 1,37м/с.

Висота нижньої, пірамідальної частини змішувача визначається за формулою:

$$h_H = \frac{1}{2}(b_B - b_H) ctg \frac{\alpha}{2}, \tag{3.22}$$

де b_H – ширина нижньої частини змішувача, м;

α – кут між стінками дна.

$$h_H = \frac{1}{2}(2,5 - 0,48) ctg \frac{40}{2} = 2,8 м\ .$$

Ємність пірамідальної частини змішувача, м^3:

$$W_H = \frac{1}{3} h_H \left(F_B + F_H + \sqrt{F_B \times F_H}\right) \tag{3.23}$$

$$W_H = \frac{1}{3} \times 2,8 \left[6,1 + (0,48)^2 + \sqrt{6,1 \times 0,48^2}\right] = 10,5 м^3\ .$$

Повна ємність змішувача визначається за формулою:

$$W = \frac{Q_{зм} \times t}{60}, \tag{3.24}$$

де t – тривалість перебування води в змішувачі (1,5 хвилини), [22, п.10.5.6].

$$W = \frac{658,2 \times 1,5}{60} = 16,5 м^3 .$$

Ємність верхньої частини змішувача:

$$W_B = W - W_H.$$

$$W_B = 16,5\text{-}10,5 = 6,0\ м^3.$$

Висота верхньої частини змішувача визначена за формулою:

$$h_в = \frac{6,0}{6,1} = 1,0 м$$

Повна висота змішувача:

$$h = h_B + h_H ; \quad (3.25)$$

$$h = 1,0 + 2,8 = 3,8 м .$$

Площа живого перетину водозбірного лотка:

$$w_л = \frac{Q_{зм}}{v \times n} , \quad (3.26)$$

де v – швидкість руху води у лотку, [22, п.10.5.6];

n –число водозбірних лотків.

$$w_л = \frac{658,2}{0,6 \times 2 \times 3600} = 0,15 м^3$$

При ширині лотка 0,5 м розрахункова висота шару води в лотку:

$$h_л = \frac{w_л}{b_л} , \quad (3.27)$$

$$h_ë = \frac{0,15}{0,5} = 0,30 ì$$

Ухил дна лотка приймається i=0,02. Площа всіх затоплених отворів в стінках збірних лотків:

$$F_o = \frac{Q}{v_o \times 3600} \quad (3.28)$$

де v_o – швидкість руху води через отвори, м/год.

$$F_o = \frac{658,2}{1 \times 3600} = 0,18 м^2$$

При діаметрі одного отвору рівному d_o=80мм, площа одного отвору:

$$f_o = \frac{\pi \times d_0^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,08^2}{4} = 0,00503 м^2 .$$

Загальна кількість отворів:

$$n = F_0 / f_0 = 0,18 / 0,00503 \approx 36 шт.$$

Отвори розміщуються по боковій поверхні лотка на відстані h=110мм від верхньої кромки лотка до осі отворів. Зі збірного лотка вода надходить у бічний карман шириною 0,8м.

3.3 Розрахунок горизонтальних відстійників

Для освітлення води проектуються горизонтальні відстійники - резервуари із залізобетону прямокутної форми, обладнані водорозподільними та водозбірними улаштуваннями, трубопроводами для підведення води та її відведення після освітлення, улаштуваннями для періодичного видалення осаду.

Загальна площа горизонтальних відстійників визначається за формулою для зимового та літнього періодів [1, п. 10.9.1] :

$$F = \frac{q}{3,6 \cdot U_0} \cdot \alpha , \qquad (3.29)$$

де q – розрахункова витрата води, м^3/год ;

U_0 – швидкість осадження зважених частинок, які затримуються відстійником, мм/с, [22, табл.16]; враховуючи збільшення швидкості осадження у зв'язку з наявністю вбудованої камери пластівцеутворення [221, табл.18, та п. 10.7.6], гідравлічна крупність буде дорівнювати *0,45+0,45*0,15=0,52* мм/с;

α – коефіцієнт, який враховує вплив вертикальної складової швидкості потоку, α=1,3 [1, п.10.9.1].

Для зимового періоду:

$$F_з = \frac{1688,7}{3,6 \cdot 0,45} \cdot 1,3 = 1355,1м^2$$

Для літнього періоду:

$$F_л = \frac{1974,4}{3,6 \cdot 0,52} \cdot 1,3 = 1371,1м^2$$

Ширина горизонтального відстійника визначається за формулою:

$$B = \frac{q}{3.6 \times V_{ср} \times H_{ср} \times N}, \quad (3.30)$$

де $V_{ср}$ – середня горизонтальна швидкість руху води у відстійнику, $V_{ср}$=7мм/с [22, п. 10.9.2];

$H_{ср}$ – середня висота зони осадження, м; приймається $H_{ср}$=3,0 м [1, п. 10.9.2];

N – розрахункова кількість відстійників, приймається N=4шт.

$$B = \frac{1974,4}{3,6 \times 7 \times 3 \times 4} = 6,5м$$

Ширина відстійника приймається 9м.

Довжина відстійника визначається за формулою:

$$L = F / B \cdot N, \quad (3.31)$$

$$L = 1371,1 / 9 \cdot 4 \approx 38ì$$

Конструктивно приймаються розміри горизонтального відстійника: $L = 39м$; $B = 9м$. Кожний відстійник поділяється на дві самостійно діючі секції шириною 4,5 м [1, п.6.68], загальна кількість секцій – 8 шт.

Передбачається гідравлічний спосіб видалення осаду з відстійників [22, п. 10.9.3]. Об'єм зони накопичення та ущільнення осаду визначається за формулою:

$$W_{ос.} = \frac{T_р \cdot q \cdot (C_в - M_{осв})}{N \cdot \delta}, \quad (3.32)$$

де $T_р$ – період роботи відстійника між скидами осаду, год; приймається $T_р$=72год [22, табл.19];

$C_в$ – концентрація завислих речовин у воді, що надходить до відстійника, г/м^3;

$M_{осв}$ – кількість завислих речовин у воді, що виходить з відстійника, $M_{осв}$ = 8г/м^3;

δ – середня по всій висоті осаджувальної частини концентрація твердої фази осаду, г/м^3; приймається з урахуванням каламутності води та тривалості інтервалів між скидами осаду δ=40000 г/м^3 [22, табл. 17].

Максимальна концентрація завислих речовин у воді, що надходить до горизонтальних відстійників, визначається за формулою:

$$C_в = M + K_к \cdot Д_к + 0{,}25 \cdot Ц + B_{вап}, \quad (3.33)$$

де $K_к$ – коефіцієнт, який враховує ступінь чистоти коагулянту, приймається $K_к$ =0,5 [22];

$B_{вап}$– кількість нерозчинених речовин, які вносяться з вапном :

$$B_{вап} = \frac{Д_в}{K_в} - Д_в \quad (3.34)$$

де $K_в$ – вміст CaO у вапні, долі одиниці.

$$B_{вап} = \frac{3{,}0}{0{,}67} - 3{,}0 = 1{,}5 мг/л$$

$$C_в = 130 + 0{,}5 \cdot 36 + 0{,}25 \cdot 80 + 1{,}5 = 169{,}5 мг/л$$

$$W_{ос.} = \frac{72 \cdot 1974{,}4 \cdot (169{,}5 - 8)}{8 \cdot 40000} = 71{,}7 м^3$$

Максимальна висота відстійника визначається за формулою:

$$H_{від} = H_{ср} + H_н + h_{буд} + i \cdot L \quad (3.35)$$

де $H_н$ – висота зони накопичення осаду, м;

$h_{буд}$ – величина завищення будівельної висоти над розрахунковим рівнем води, м, приймається $h_{буд}$=0,35м [1, п. 10.9.8];

i – поздовжній ухил дна відстійника, приймається i=0,005 [22, п. 10.9.9].

Висота зони накопичення осаду визначається за формулою:

$$H_н = \frac{W_{ос.ч.}}{F_0} \tag{3.36}$$

де F_0 – площа одного відстійника, м^2.

Площа однієї секції відстійника складає:

$$F_0 = L \times B = 39 \times 4{,}5 = 175{,}5 м^2$$

$$H_н = \frac{71{,}7}{175{,}5} \approx 0{,}41 м$$

$$H_{від} = 3 + 0{,}41 + 0{,}35 + 0{,}005 \cdot 39 = 3{,}76 м$$

Середня глибина води у відстійнику:

$$H_{вод}^{ср} = H_{ср} + H_н + \frac{i \times L}{2}$$

$$H_{вод}^{ср} = 3{,}0 + 0{,}41 + \frac{0{,}005 \times 39}{2} = 3{,}5 м$$

Кількість води, що видаляється разом з осадом, у % від загальної витрати, визначається за формулою:

$$P = \frac{к_р \cdot W_{ос.ч.}}{q \cdot T_р} \cdot 100, \tag{3.37}$$

де $k_р$ – коефіцієнт розбавлення, приймається $k_р$ =1,5 [22, п.10.9.9].

$$P = \frac{1{,}5 \cdot 71{,}7}{1974{,}4 \cdot 72} \cdot 100 = 0{,}076\%$$

Для гідравлічного видалення осаду передбачається система з перфорованих труб з отворами діаметром $d_0 = 25 мм$.

Дно відстійника між трубами системи збору осаду приймається призматичним з кутом нахилу граней 45^0.

Кількість труб для видалення осаду з однієї секції відстійника визначається за формулою:

$$n_{тр} = B/l_{тр}, \tag{3.38}$$

де $l_{тр}$ – відстань між вісями труб, м; приймається для призматичного днища $l_{тр}$=3,0м [22, п. 10.9.19].

$$n_{тр} = 4{,}5/3 \approx 2\,шт.$$

Кількість осаду, що проходить через кожну трубу, визначається за формулою:

$$q_{тр.ос.} = \frac{W_{ос.ч.}}{n_{тр} \cdot t_{сб}} \qquad (3.39)$$

де $t_{сб}$ – час скиду осаду, год; приймається $t_{сб}$=20 хв=0,33год [1].

$$q_{тр.ос.} = \frac{71{,}7}{2 \cdot 0{,}33} = 108{,}6 м^3/год \approx 30 л/с$$

Для швидкості руху осаду у кінці труб не менше 1,0м/с [22] приймається $Д_{тр.ос.}$=175мм; v=1,32м/с; 1000i=18,7 [3].

Освітлена вода у горизонтальному відстійнику збирається за допомогою системи горизонтально розташованих дирчастих труб.

Довжина розподільчих труб визначається по формулі:

$$l = q_{кол}/q_{пит}, \qquad (3.40)$$

де $q_{кол}$ – витрата освітленої води у колекторі системи, л/с;

$q_{пит}$ – питома витрата освітленої води на 1 м труб системи видалення води, л/с*м [22], приймається $q_{пит}$ =5,0л/с*м.

Витрата освітленої води в колекторі системи:

$$q_{кол} = q / N_{кол} \cdot 3.6 \qquad (3.41)$$

$$q_{êîë} = 1974.4/8 \cdot 3{,}6 = 68.6 ë/ñ$$

При швидкості води у кінці колектора 0,6…0,8м/с [22, п. 10.9.10] приймається $Д_{тр.ос.}$=350 мм; v=0,67 1000i=1,94.

Довжина розподільчих труб визначається за формулою:

$$l_{р.тр.} = B - 2 \cdot l_{ст} - Д^{вн}_{кол} \qquad (3.42)$$

де $l_{ст}$ – відстань від кінця розподільчої труби до стіни відстійника, м; приймається $l_{ст}$=0,1 м [22].

$Д^{вн}_{кол}$ - зовнішній діаметр колектора. приймається $Д^{вн}_{кол}$.=426мм.

$$l_{ð.òð.} = 4{,}5 - 2 \cdot 0{,}1 - 0{,}426 = 3{,}9ì$$

Приймається 5 розподільчих труб, які розташовуються по обидва боки від колектора.

Витрата однієї розподільчої труби визначається по формулі:

$$q_{р.тр.} = q_{кол}/2 \cdot n_{р.тр.} \qquad (3.43)$$

$$q_{ð.òð.} = 68.6/2 \cdot 5 = 6.9ë/ñ$$

При швидкості руху в розподільчих трубах 0,6…0,8 м/с [22, п.10.9.10] приймається $Д_{тр.ос.}$=100 мм; v=0,68; 1000i=8,98.

Відстань між вісями розподільчих труб:

$$t_{р.тр.} = L_{сист} / n_{р.тр.}, \qquad (3.44)$$

де $L_{сист}$ – довжина ділянки, на якій розташована система видалення осаду,м.

Згідно із [22, п.10.9.10] система видалення освітленої води розташовується на ділянці, що дорівнює 2/3 від довжини відстійника , тобто

$$L_{сист} = \mathrm{L}/4$$

$$L_{ñèñò} = 39 \times \frac{2}{3} = 26\,ì$$

$$t_{ð.òð.} = 26/4 = 6.5ì$$

3.4 Розрахунок камер пластівцеутворення

До проєктування приймаються вбудовані камери пластівцеутворення, розташовані на початку відстійників. Для зручності компонування з

відстійниками приймаються типові камери пластівцеутворення у кількості 8 шт з розмірами однієї камери: ширина $B_к$=4,5 м, довжина $L_к$=9,0 м.

Витрата води для однієї камери пластівцеутворення:

$$q_k = q/N_k . \quad (3.45)$$

$$q_k = 1974.4/8 = 246.8 м^3/год = 68.6 л/с = 0,069 м^3/с$$

Швидкість руху в одній камері пластівцеутворення визначається за формулою:

$$V_k = q_k/(B_k \times L_k \times 3600), \quad (3.46)$$

$$V_k = 246,8/(4,5 \times 9 \times 3600) = 0,0017 м/с = 1,7 мм/с$$

Висота води в камері визначається за формулою:

$$h_k = H_{ср} + h, \quad (3.47)$$

де $H_{ср}$ – середня висота зони осадження горизонтального відстійника, м.

приймається $H_{ср} = 3,0 м$ [22, п. 10.9.2];

h – втрати напору у камері пластівцеутворення,м, приймаються h =0,4 м

$$h_k = 3,0 + 0,4 = 3,4 м \quad (3.48)$$

Тривалість перебування води у камері визначається за формулою:

$$t = h_k/(V_k \cdot 60) \quad (3.49)$$

$$t = 3,4/(0,0017 \cdot 60) = 33 хв$$

Розподіл води по камері передбачається за допомогою напірних перфорованих труб з отворами, направленими униз під кутом 45^0 [22, п. 10.7.7].

Якщо швидкість руху води на початку камери прийняти 0,5…0,6м/с [22,п. 10.7.7], то для витрати води $q_k = 68,6 л/с$ приймається діаметр трубопроводу для підводу води $Д_{під}$=400мм; v=0,52; 1000i=1,04.

В колекторі розподільчої системи вода розділяється на два потоки. Витрата води в колекторі становить:

$$q_{кол} = q_к / 2$$

$$q_{кол} = 68,6 / 2 = 34,3 л / с$$

Для колектору розподільчої системи приймається $Д_{кол}$=300 мм; v=0,45; 1000i=1,15.

Кількість розподільчих труб:

$$n_{тр} = 4,5 / 2 \approx 3 шт$$

Витрата води для кожної розподільчої труби складе

$$68,6 / 3 = 22,9 л / с$$

Для кожної розподільчої труби приймається $Д_{тр}$=250мм; v=0,43; 1000i=1,37.

Довжина розподільчої труби визначається за формулою:

$$l_{тр} = L_k - t_{ст} - Д^{вн}_{кол} \qquad (3.50)$$

де $t_{ст}$- відстань від розподільчої труби до стінки камери, м;

приймається $t_{ст}$=1 м [22];

де, $Д^{вн}_{кол}$ – зовнішній діаметр колектору, м;

приймається $Д^{вн}_{кол}$=325мм=0,325м.

$$l_{\partial\partial} = 9,0 - 1,0 - 0,325 \cong 7,7 м$$

З камери пластівцеутворення до горизонтального відстійнику вода відводиться над затопленим водозливом. Верх стінки водозливу розташовується нижче рівню води на висоті:

$$h_в = q_k / V_в B_k \qquad (3.51)$$

де $V_в$ – швидкість руху води над водозливом, м/с; приймається $V_в$ =0,05 м/с [22,п.10.7.8].

$$h_â = 0,0686 / (0,05 \cdot 4,5) = 0,3 м$$

На вході води у відстійник встановлюється перегородка, яка знаходиться під водою на відстані ¼ від висоти відстійника. Швидкість руху води між стінкою та перегородкою приймається 0,03 м/с [22, п.10.7.8].

Втрати напору у розподільчій системі:

$$h = \varsigma \cdot \frac{v_{кол}^2}{2 \cdot g} + \frac{v_{тр}^2}{2 \cdot g}, \quad (3.52)$$

де ς – коефіцієнт гідравлічного опору.

Для колектору з відгалуженнями з круглими отворами коефіцієнт гідравлічного опору:

$$\varsigma = 2{,}2 / K_n^2 + 1 \quad (3.53)$$

де K_n – коефіцієнт перфорації, приймається K_n =0,3 [1].

$$\varsigma = 2{,}2 / 0{,}3^2 + 1 = 25{,}4$$

$$h = 25{,}4 \cdot \frac{0{,}45^2}{2 \cdot 9{,}81} + \frac{0{,}43^2}{2 \cdot 9{,}81} = 0{,}27 м$$

Втрати напору не перевищують прийняті 0,4м.

3.5 Розрахунок швидких фільтрів

До розрахунку приймається швидкі фільтри з двохшаровим завантаженням: верхній шар висотою 0,5м складається із зерен подрібненого керамзиту крупністю 0,8…1,8мм, а нижній шар висотою 0,8м- із зерен піску крупністю 0,5…1,2мм. Вода надходить до фільтрів по жолобам, які розташовані над фільтруючим завантаженням.

Загальна площа швидких фільтрів визначена за формулою [1]:

$$F_ф = \frac{Q_{повн}}{T_{ст} \cdot v_н - n_{пр} \cdot q_{пр} - n_{пр} \cdot \tau_{пр} \cdot v_н}, \quad (3.54)$$

де $Q_{повн}$ – корисна продуктивність станції, м^3/доб, $Q_{повн}$=45564 м^3/доб;

$T_{ст}$ – тривалість роботи станції на протязі доби, год, $T_{ст}$=24 год;

$v_н$ – розрахункова швидкість фільтрування, м/год, $v_н$=10 м/год [1, табл. 19];

$n_{пр}$ – число промивок одного фільтра на добу при нормальному режимі експлуатації, $n_{пр}$ =2;

$q_{пр}$ – питома витрата води на одну промивку одного фільтра, м^3/м^2;

$\tau_{пр}$ – час простою фільтра у зв'язку з промивкою, год, для фільтрів, що промиваються водою, приймається 0,33год [22, табл. 21].

Питома витрата води на одну промивку одного фільтра визначається за формулою:

$$q_{пр} = W \cdot t_{пр}, \tag{3.55}$$

де W – інтенсивність промивки, л/(с*м^2), приймається 16л/(с*м^2) [1, табл. 21];

$t_{пр}$ – тривалість промивки, с, приймається $t_{пр}$ = 6хв =0,1год = 360с

[22, табл. 23]

$$q_{пр} = 16 \cdot 360 / 1000 = 5{,}76 м^3 / м^2$$

$$F_ф = \frac{45564}{24 \cdot 10 - 2 \cdot 5{,}76 - 2 \cdot 0{,}33 \cdot 10} = 205{,}4 м^2$$

Кількість фільтрів визначено за формулою:

$$N = 0{,}5\sqrt{F_ф} \tag{3.56}$$

$$N = 0{,}5\sqrt{F_ф} = 0{,}5\sqrt{205{,}4} = 7{,}2 \approx 8 шт$$

Швидкість фільтрування для форсованого режиму:

$$v_ф = v_н \cdot \frac{N}{N - N_1} \tag{3.57}$$

де N_1 – кількість фільтрів, що ремонтуються, приймається N_1=1 [22,п. 10.12.1].

$$v_ф = 10 \cdot \frac{8}{8-1} = 11{,}4 м / год$$

Швидкість фільтрування при форсованому режиму не повинна перевищувати 12м/год [1, табл. 19], отримане значення швидкості задовольняє цій вимозі.

Площа чарунки фільтра визначена за формулою:

$$F_ф = F_ф / N, \tag{3.58}$$

$$F_{ô} = 205{,}4/8 \approx 26 ì^2$$

Приймаються наступні розміри чарунки швидкого фільтру у плані: довжина L=5,1м, ширина В=5,1м.

Нижня частина фільтру на висоту 0,10м завантажується підтримуючим шаром гравію із зернами крупністю 10…20мм [22, табл.20]. Загальна висота всього завантаження фільтру складає 0,5+0,8+0,10=1,4м. Висота шару води над поверхнею завантаження приймається 2,0м, перевищення будівельної висоти над рівнем води 0,5м [22, п. 10.12.7].

Фільтр промивається зворотним током води з РЧВ, яка подається знизу фільтруючого завантаження: промивна вода під тиском подається до дренажного улаштування, а з нього через розподільчу систему фільтра надходить до фільтруючого завантаження.

Витрата води, що необхідна для промивки однієї чарунки фільтру:

$$q_{пром} = F_ф \cdot W_{пр} \qquad (3.59)$$

$$q_{пром} = 26 \cdot 16 = 416 \text{ л/с}$$

Під час промивки фільтрів згідно [22, п. 10.12.12] рекомендується швидкість руху води на початку коллектора розподільчої системи 0,8…1,2м/с. Для коллектора розподільчої системи приймається трубопровід для відведення промивної води діаметром $Д_{кол}$=800 мм; v=0,82; 1000i=1,02.

$Д^{зов}_{кол}$ Площа чарунки, що відповідає одному відгалуженню, визначається за формулою:

$$f_{б.в.} = \left(\frac{B - Д^{зов}_{кол}}{2} \right) l_{ос}, \qquad (3.60)$$

де $l_{ос}$ – відстань між вісями труб відгалужень,м;

приймається $l_{ос}$=300мм=0,3 м [22, п. 10.12.11];

- зовнішній діаметр колектора, м;

приймається $Д^{зов}_{кол}$=820 мм=0,82м.

$$f_{á.â.} = \left(\frac{5.1 - 0{,}82}{2}\right)0{,}3 = 0{,}64ì^{2}$$

Витрата промивної води, що надходить через одне бокове відгалуження визначається за формулою:

$$q_{б.в.} = f_{б.в.} \cdot W \tag{3.61}$$

$$q_{б.в.} = 0{,}64 \cdot 16 = 10{,}3л/с$$

Швидкість руху води в трубах відгалужень згідно [22, п. 10.12.12] рекомендується в межах 1,6…2,0м/с, для улаштування відгалужень приймається трубопровід діаметром $Д_{кол}$=75мм; v=1,89; 1000i=97,6.

В нижній частині відгалужень під кутом 45^0 до вертикалі виконуються отвори діаметром d_0=10 мм=0.01м. Загальна площа всіх отворів у відгалуженнях розподільчої системи згідно [22, п. 10.12.11] повинна складати 0,25…0,5% від робочої площі фільтра.

Площа всіх отворів у відгалуженнях визначається по формулі:

$$F_0 = 0{,}25 \cdot F_{чар} / 100 \tag{3.62}$$

$$F_0 = 0{,}25 \cdot 26 / 100 = 0{,}065м^2$$

Площа одного отвору:

$$\mathrm{f}_0 = \pi \cdot d_0^2 / 4$$

$$\mathrm{f}_0 = 3{,}14 \cdot 0{,}01^2 / 4 = 0{,}00008м^2$$

Кількість отворів у розподільчій системі одного фільтра:

$$n_0 = F_0 \ / \ f_0 \tag{3.63}$$

$$n_0 = 0{,}065 / 0{,}00008 = 812{,}5шт$$

Довжина одного відгалуження:

$$\mathrm{l} = \left(\frac{B - Д_{кол}^{зов}}{2}\right) \tag{3.64}$$

$$l = \left(\frac{5.1 - 0{,}82}{2}\right) = 2{,}14ì$$

Кількість відгалужень на кожному фільтрі становить:

$$n_{б.в.} = \frac{L}{t_{б.в.}} \cdot 2, \tag{3.65}$$

де L-довжина швидкого фільтра, м;

$t_{б.в.}$ - крок вісі відгалужень, м; приймається $t_{б.в.}$=0,3м.

$$n_{á.â.} = \frac{5.1}{0,3} \cdot 2 = 34øò$$

Для збору та відведення промивної води влаштовуються жолоба з п'ятикутним перетином, які розташовують над поверхнею фільтруючого завантаження. Відстань між вісями жолобів $t_{ж}$=1,8 м [22, п.10.12.17], відстань від вісі крайніх жолобів до стінки – 0,75м, витрата води на один жолоб становить $q_{ж}$=416/3=138,7л/с.

Ширина жолоба визначається по формулі:

$$B_{ж} = k_{ж} \sqrt[5]{\frac{q_{ж}^2}{(1,57 + a_{ж})^3}}, \tag{3.66}$$

де $q_{ж}$ – витрата води по жолобу, $м^3/с$;

$a_{ж}$ – відношення висоти прямокутної частини жолоба до половини його ширини, приймається $a_{ж}$=1,5 м [1,п. 10.12.17];

$k_{ж}$ – коефіцієнт, що приймається для п'ятикутних жолобів $k_{ж}$ =2,1 [22,п. 10.12.17].

Кількість жолобів:

$$n = B / t_{ж}, \tag{3.67}$$

де $t_{ж}$ – відстань між вісями жолобів, $t_{ж}$=2м.

$$n = 5,1/1,8 = 3шт$$

$$B_{ж} = 2,1\sqrt{\frac{0,192^2}{(1,57+1,5)^3}} = 0,87м = 0,49$$

Висота прямокутної частини жолоба:

$$h_{пр} = 0,75 \cdot B_{ж} \tag{3.68}$$

$$h_{їð} = 0,75 \cdot 0,49 = 0,36$$

Корисна висота жолобу:

$$\mathrm{h} = 1.25 \cdot \mathrm{B}_{\mathrm{ж}} \tag{3.69}$$

$$\mathrm{h} = 1.25 \cdot 0,49 = 0,61ì$$

Відстань від поверхні фільтруючого завантаження до кромок жолобів визначається за формулою:

$$H_{ж} = \frac{H_{з} \cdot a_{з}}{100} + 0,3 \tag{3.70}$$

де $H_{з}$ – висота завантаження (фільтруючого шару),м; приймається 0,5+0,8=1,3 м [22,табл. 19];

$a_{з}$ – відносне розширення фільтруючого завантаження, %; приймається $a_{з}$ =50% [22,табл. 21].

$$H_{ж} = \frac{1,3 \cdot 50}{100} + 0,3 = 0,95м$$

Витрата води на промивку одного фільтра у % по відношенню до розрахункової витрати фільтрату визначається за формулою:

$$P_{ср} = \frac{W_{пром} \cdot N}{q \cdot T} \cdot 100, \tag{3.71}$$

де $\mathrm{W}_{\text{пром}}$ – кількість води, що витрачається на одну промивку, $м^3$;

q – розрахункова витрата, $м^3 / год$;

T – тривалість роботи фільта між промивками, год.

Кількість води, що витрачається на одну промивку:

$$W_{пром} = \frac{q_{пром} \cdot t_{пр} \cdot 60}{1000}, \quad (3.72)$$

$$W_{пром} = \frac{416 \cdot 6 \cdot 60}{1000} = 149{,}8 м^3$$

Тривалість роботи фільтру між промивками:

$$T = \frac{T_{ст}}{n_{пр}} - (t_{пр} + \tau_{пр}), \quad (3.73)$$

де $T_{ст}$ – тривалість роботи станції, год, $T_{ст}$ =24 год.

$$T = \frac{24}{2} - (0{,}1 + 0{,}33) = 11{,}57 год$$

$$P_{ср} = \frac{149{,}8 \times 8}{1898{,}5 \cdot 11{,}57} \cdot 100 \approx 5{,}5\%$$

Для попередження створення підпору на виході води із жолобів влаштовується збірний канал. З урахуванням того, що площа чарунки фільтра не перевищує 40 $м^2$, влаштовується боковий збірний канал. Відстань від дна жолоба до дна каналу повинна бути не меншою за величину, що визначається за формулою:

$$H_{кан} = 1{,}73 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_{кан}^2}{g \cdot B_{кан}^2}} + 0{,}2, \quad (3.74)$$

де $q_{кан}$ – витрата промивної води у збірному каналі, $м^3/с$;

$q_{кан} = q_{пр}$ =416 л/с=0,416 $м^3/с$;

$B_{кан}$ – ширина каналу, м; приймається $B_{кан}$=0,8 м [1, п. 10.12.18].

$$H_{êàí} = 1{,}73 \cdot \sqrt[3]{\frac{0{,}416^2}{9{,}81 \cdot 0{,}8^2}} + 0{,}2 = 0{,}59 м .$$

Площа поперечного перетину каналу становить:

$$F_{кан} = B_{кан} \cdot H_{кан}, \quad (3.75)$$

$$F_{êàí} = 0{,}8 \cdot 0{,}59 = 0{,}47 м^2.$$

Швидкість руху води у кінці каналу:

$$v_{кан} = q_{кан} / F_{кан} \tag{3.76}$$

$$v_{êàí} = 0{,}416 / 0{,}47 = 0.89ì \ / \tilde{n}$$

За рекомендаціями [1] мінімальна швидкість руху води у кінці збірного каналу повинна бути не меншою за 0,8м/с, отримане значення $v_{кан}$ відповідає цій умові.

$$\sum \mathrm{h} = \mathrm{h} + \mathrm{h}_{\text{ф}} + \mathrm{h}_{\text{гр}} + \mathrm{h}_{\text{дв}} + \mathrm{h}_{\text{м}} + \mathrm{h}_{\text{вс.дв.}} + \mathrm{h}_{\text{вс.м.}} \tag{3.77}$$

де h – втрати напору у розподільчій системі фільтру, м;

$h_{ф}$ – втрати напору у фільтруючому шарі, м;

$h_{гр}$ – втрати напору у гравійному шарі, м;

$h_{дв}$ – втрати напору у трубопроводі, який підводить промивну воду до розподільчої системи фільтру, м;

$h_{м}$ – втрати напору на місцеві опори у фасонних частинах та арматурі, м;

$h_{вс.дв.}$ – втрати напору у всмоктувальній лінії по довжині, м;

$h_{вс.м.}$ – втрати напору на місцеві опори у всмоктувальній лінії, м.

Втрати напору у розподільчій системі фільтру:

$$h = \xi \cdot \frac{v_k^2}{2 \cdot g} + \frac{v_{б.в.}^2}{2 \cdot g}, \tag{3.78}$$

де $\mathrm{v}_{\text{к}}$ – швидкість руху води на початку колектора, м/с; згідно із розрахунком $\mathrm{v}_{\text{к}}$=0,82м/с;

$\mathrm{v}_{\text{б.в.}}$– середня швидкість на вході у відгалуження, м/с; $\mathrm{v}_{\text{б.в.}}$=1,89м/с;

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору.

Коефіцієнт гідравлічного опору для коллектора з відгалуженнями з круглими отворами визначається за формулою:

$$\xi = \frac{2{,}2}{\hat{E}_{\text{n}}^{\,2}} + 1, \tag{3.79}$$

де K_{n} – коефіцієнт перфорації, $0.15 \le K_n \le 2$ [22, п.6.86].

Коефіцієнт перфорації визначається за формулою:

$$K_n = F_0 / S_0 , \tag{3.80}$$

де F_0 – сумарна площа отворів, $м^2$; F_0=0,09 $м^2$

S_0 – площа поперечного перетину колектора, $м^2$:

$$S_0 = \pi \cdot Д_{кол}^2 / 4, \tag{3.81}$$

$$S_0 = 3{,}14 \cdot 0{,}8^2 / 4 = 0{,}5 м^2$$

$$K_n = 0{,}065 / 0{,}5 = 0{,}13$$

$$\xi = \frac{2{,}2}{0{,}13^2} + 1 = 131{,}2$$

$$h = 131{,}2 \cdot \frac{0{,}82^2}{2 \cdot 9{,}81} + \frac{1{,}89^2}{2 \cdot 9{,}81} = 4{,}67 м$$

Втрати у фільтруючому шарі приймаються рівними товщині шару завантаження, тобто $h_ф$=1,3 м.

Втрати напору у гравійному шарі визначаються за формулою:

$$h_{гр} = 0{,}022 \times h_{гр.ш.} \times W , \tag{3.82}$$

де $h_{гр.ш.}$ – товщина гравійного шару, м; прийнята $h_{гр.ш.}$=0,8м

$$h_{гр} = 0{,}022 \times 0{,}8 \times 16 = 0{,}28 м$$

Втрати напору у трубопроводі, що підводить промивну воду до розподільчої системи фільтру, визначається по формулі:

$$h_{дв} = i_{тр} \cdot l_{тр} . \tag{3.83}$$

де $i_{тр}$ – питомі втрати напору, на один фільтр надходить витрата промивної води

Д=800мм; v=0,82; 1000i=1,02;

$l_{тр}$ – довжина трубопроводу, по плану будівлі швидких фільтрів приймається 70м.

$$h_{дв} = 0{,}00102 \times 70 = 0{,}10 м$$

Втрати напору на місцеві опори у фасонних частинах та арматурі визначаються по формулі:

$$h_м = 0{,}3 \cdot h_{дв}$$

$$h_м = 0{,}3 \cdot 0.10 = 0{,}03м$$

Втрати напору у всмоктувальній лінії визначаються по формулі:

$$h_{вс.дв.} = i_{вс} \cdot l_{вс},$$

де $i_{вс}$ – питомі втрати у всмоктувальній лінії, м;

$l_{вс}$ – довжина всмоктувальної лінії, м; $l_{вс}$ =100 м.

При $q_{пр}$ =416 л/с приймається діаметр всмоктувальної лінії Д=800мм; $1000i = 0{,}102; v = 0{,}82 м/с$.

$$h_{вс.дв.} = 0{,}00102 \cdot 100 = 0{,}1і$$

Втрати напору на місцеві опори у всмоктувальній лінії:

$$h_{вс.м.} = \sum \xi_м \cdot \frac{v_{вс}^2}{2 \cdot g}, \qquad (3.84)$$

де, $\xi_м$ – коефіцієнт місцевих опорів:

-коліно 90- $\xi_{м1}$=0,5 – 1шт;

-засувка - $\xi_{м2}$=0,15 – 1шт;

-вхід у трубу- $\xi_{м3}$=0,5 – 1шт;

-переходи $\xi_{м4}$=0,2 – 2шт.

$$\sum \xi_м = \xi_{м1} \cdot 1 + \xi_{м2} \cdot 1 + \xi_{м3} \cdot 1 + \xi_{м4} \cdot 2 = 0{,}5 + 0{,}15 + 0{,}5 + 0{,}2 \cdot 2 = 1{,}55$$

$$h_{вс.м.} = 1{,}55 \cdot \frac{0{,}82^2}{2 \cdot 9{,}81} = 0{,}053 \text{ м}$$

$$\sum h = 4{,}67 + 1{,}3 + 0{,}28 + 0{,}1 + 0{,}03 + 0{,}1 + 0{,}053 = 6{,}5м$$

Необхідний напір насосу для промивки швидкого фільтру:

$$H_{нас} = \mathrm{h}_{\mathrm{г}} + \sum \mathrm{h} + \mathrm{h}_{\mathrm{нас}}\ , \qquad (3.85)$$

де $\mathrm{h}_{\mathrm{г}}$ – геометрична висота підйому води від дна РЧВ до верхньої кромки жолобів у швидкому фільтрі, м;

$\mathrm{h}_{\mathrm{нас}}$ – втрати напору у насосній станції, м; прийняті $\mathrm{h}_{\mathrm{нас}}$=1,5 м.

Геометрична висота підйому визначається по формулі:

$$h_г = H_{РЧВ} + H_з + H_ж \qquad (3.86)$$

де $H_{РЧВ}$ – глибина води в резервуарі чистої води, м; приймається $H_{РЧВ}$=3,5 м;

$H_з$ – висота фільтруючого шару, м; приймається $H_з$=1,3 м;

$H_ж$ – відстань від поверхні фільтруючого завантаження до кромок жолобів, $H_ж$=0,95 м.

$$h_г = 3{,}5 + 1{,}3 + 0{,}95 = 5{,}75 м$$

$$H_{нас} = 5{,}75 + 7{,}1 + 1{,}5 \approx 13{,}8 м$$

Необхідна подача насосу становить $\mathrm{q}_{\mathrm{пр}}$ =416 л/с=1497,6 $м^3/год$. Встановлюються промивні насоси Д2000-21 (1робочий та 1 резервний).

3.6 Розрахунок резервуарів чистої води

На станції водопідготовки резервуари чистої води виконують функцію регулюючої та запасної ємності.

Повний об’єм резервуарів чистої води визначається за формулою:

$$W_{РЧВ} = W_{рег} + W_{ш.ф.} + W_п\ , \qquad (3.87)$$

де $W_{рег}$ – регулюючий об’єм РЧВ, $м^3$;

$W_{ш.ф.}$ – об’єм води, необхідний для промивки швидких фільтрів, $м^3$;

$W_п$ – об’єм недоторканого пожежного запасу, $м^3$.

Регулюючий об’єм резервуарів чистої води розраховується аналогічно об’єму водонапірної башти (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 - Визначення регулюючого об·єму резервуарів чистої води

Години доби	Відбір насосами,%	Надходження з очисних споруд,%	Надходження в РЧВ, %	Відбір з РЧВ,%	Залишок у РЧВ,%
1	3	3	4	5	6
0-1	2,5	4,17	1,67		1,67
1-2	2,5	4,17	1,67		3,34
2-3	2,5	4,17	1,67		5,01
3-4	2,5	4,17	1,66		6,67
4-5	2,5	4,17	1,66		8,33
5-6	5	4,17		0,84	7,49
6-7	5	4,17		0,84	6,65
7-8	5	4,17		0,84	5,81
8-9	5	4,17		0,83	4,98
9-10	**5**	4,17		0,83	4,15
10-11	5	4,16		0,83	3,32
11-12	5	4,16		0,84	2,48
12-13	5	4,16		0,84	1,64
13-14	5	4,16		0,84	0,8
14-15	5	4,16		0,83	-0,03
15-16	5	4,16		0,83	-0,86
16-17	5	4,16		0,83	-1,69
17-18	5	4,16		0,83	-2,52
18-19	5	4,17		0,83	-3,35
19-20	5	4,17		0,83	-4,18
20-21	5	4,17		0,83	-5,01
1	2,5	4,17	1,67		-3,34
22-23	2,5	4,17	1,67		-1,67
23-24	2,5	4,17	1,67		0
Всього	100	100	13,34	13,34	

$W_{рег}$ = /-5,01/+8,33=13,34%, тобто 6078,2 $м^3$

$Q_п$ =3(40+5)+*0,5*(10+15)=147,5 л/с.

Об'єм недоторканого пожежного запасу:

$$W_n = t \cdot Q_{пож} + \sum Q_{макс} - Q_1, \quad (3.88)$$

де $Q_{пож}$ – повна пожежна витрата, $м^3$:

$$Q_{пож} = \frac{3600 \times m \times q_{пож}}{1000}, \quad (3.89)$$

де m – число одночасних пожеж, m =3;

$Q_{пож}$ =40л/с - розрахункова витрата на зовнішнє пожежегасіння;

$$Q_{їãå} = \frac{3600 \times 3 \times 40}{1000} = 432 ì^3$$

t – тривалість пожежегасіння, 3 год.

$\sum Q_{макс}$ – сумарна витрата води за три суміжних години максимального водоспоживання, $м^3$;

Q_1 – витрата води, що знаходиться за формулою:

$$Q_1 = 4.17 \times Q \times t \tag{3.90}$$

$$Q_1 = 4.17 \times 45564 \times 3/100 = 5700.1 ì^3$$

Об'єм води, необхідний для 2 промивок швидкого фільтру:

$$W = 2 \times q_{пр} \times t \times 60 \tag{3.91}$$

$$W_{ш.ф.} = 2 \times 0,49 \times 6 \times 60 = 352,8 м^3$$

Тоді

$$W_n = 3*432+2424,12+2511,64+2421,84-5700,1=2953,5\, м^3$$

$$W_{РЧВ} = 6078,2 + 352,8 + 2953,5 = 9384,5 м^3$$

Приймаються 3 резервуари чистої води ємністю 3130 $м^3$ з розмірами 30*30м та висотою 3,6м (висота шару води 3,5м).

3.7 Піскове господарство

Піскове господарство на станції водопідготовки влаштовується для здійснення підготовки кар'єрного піску для першого завантаження швидких фільтрів та щорічного їх дозавантаження у розмірі 10% від загального об'єму піщаного фільтруючого матеріалу.

Об'єм піску, що завантажується у швидкі фільтри:

$$W_n = N \cdot F_{чар} \cdot h_n, \tag{3.92}$$

де h_n – висота фільтруючого шару піску, м; h_n =0,8м [1, табл.21].

$$W_{ï} = 10 \cdot 26 \cdot 0{,}8 = 208 ì^3$$

Потреба у кар'єрній сировині перед пуском станції:

$$W_п^{/} = W_п \cdot 100 / \gamma_n ,$$

де γ_n – кількість піску у кар·єрній сировині, що може бути використана для завантаження фільтрів, %; приймається γ_n =55%.

$$W_п^{/} = 208 \cdot 100 / 55 = 378{,}2 м^3$$

Щорічна потреба у кар єрній сировині для її дозавантаження у швидкі фільтри становить 20,8 $м^3$. Загальна кількість піску: 378,2+20,8=399 $м^3$. Для піску приймається асфальтований майданчик розміром 20 *20м, тобто площею 400 $м^2$. Сортування та відмив піску здійснюється у класифікаторах ТКП-4 продуктивністю $5 м^3/год$ за вихідною сировиною. У приміщенні розташування швидких фільтрів чистий відсортований пісок зберігається у залізобетонних ємностях.

3.8 Знезараження води

Знезараження води здійснюється хлорною водою перед змішувачами та перед РЧВ.

Розрахункова година витрата хлору для попереднього хлорування:

$$Q_{хл}^{/} = \frac{Q_{доб} \cdot Д_{хл}^{/}}{1000 \cdot 24}, \qquad (3.93)$$

де $Д_{хл}^{/}$ – доза хлору для попереднього хлорування, мг/л, $Д_{хл}^{/}$ =3мг/л [22, п. 10.18.7].

$$Q_{хл}^{/} = \frac{47387 \cdot 3}{1000 \cdot 24} = 5{,}92 кг/год$$

Розрахункова година витрата для вторинного хлрорування:

$$Q_{хл}^{//} = \frac{Q_{доб} \cdot Д_{хл}^{//}}{1000 \cdot 24}$$

де $Д_{хл}^{/}$ – доза хлору для вторинного хлорування, мг/л, $Д_{хл}^{/}$ =1мг/л [22, п. 10.18.8].

$$Q'_{хл} = \frac{47387 * 1}{1000 \cdot 24} = 1{,}97 кг / год$$

Приймаються вакуумні хлоратори “ЛОНИИ-100” продуктивністю 4,5 кг/год у кількості 3 шт (2 робочих та 1 резервний) для первинного хлорування та три хлоратора (2 робочих та 1 резервний) продуктивністю 1,5 кг/год для вторинного хлорування.

Загальна витрата хлору становить:

$$Q_{хл} = Q'_{хл} + Q''_{хл} \qquad (3.94)$$

$$Q_{хл} = 5{,}92 + 1{,}97 = 7{,}89 кг / год$$

Кількість витратних хлорних балонів:

$$n_{бал} = Q_{хл} / S_{бал}, \qquad (3.95)$$

де $S_{бал}$ – кількість хлору, що можна взяти з одного балону ємністю 40л без штучного підігріву при температурі $16^0 C$; приймається $S_{бал}$=0,7кг/год [6].

$$n_{бал} = 7{,}89 / 0{,}7 = 11{,}3 \approx 12 шт$$

Необхідна кількість діжок - випарювачів для хлору:

$$n_{діж} = Q_{хл} / (S_{діж} \cdot F_{діж}), \qquad (3.96)$$

де $S_{діж}$– кількість хлору, який можна взяти з $1 м^2$ бокової поверхні однієї діжки приймається $S_{діж}$=3,0кг/год;

$F_{діж}$ – площа зовнішньої поверхні діжки-випарювача, $м^2$; приймається $F_{діж}$=4,7 $м^2$ [6,7].

$$n_{діж} = 7{,}89 / (3 \cdot 4{,}7) \approx 0{,}6 m$$

Загальна необхідна кількість балонів за добу:

$$N_{бал} = n_{бал} \cdot 24$$

$$N_{ááë} = 12 \cdot 24 = 288 øò$$

Поряд з хлораторною передбачається приміщення, в якому зберігається 3-х добовий запас балонів.

3.9 Розрахунок висотної схеми розташування очисних споруд

По території станції водопідготовки вода рухається самопливом. Позначки рівнів води в очисних спорудах розраховуються відносно позначок рівню землі з урахуванням втрат напору в спорудах, з'єднувальних комунікаціях та вимірювальних пристроях.. Позначка води в резервуарах чистої води приймається на 0,5 метра вище позначки землі, тобто:

$$Z_{Đ×Â} = 71.5 + 0.5 = 72.0ì$$

Величини втрат напору в очисних спорудах і комунікаціях приймаються згідно із [22, п. 10.28.2].

Позначка води в швидких фільтрах:

$$Z_{ш.ф.} = Z_{РЧВ} + \mathrm{h}_1, \qquad (3.97)$$

де h_1 – втрати напору в комунікаціях на шляху від швидких фільтрів до резервуарів чистої води, м; h_1=0,5 м [22, п. 10.28.2].

72,0+0,5=72,5

Враховуючи рельєф місцевості, приймається $Z_{ш.ф.} = 72.5$ м.

Позначка води в горизонтальних відстійниках:

$$Z_{г.в.} = Z_{ш.ф.} + h_2 + h_3 \qquad (3.98)$$

де h_2 – втрати напору у швидких фільтрах, м; h_2=3,0 м [22, п. 10.28.2];

h_3 – втрати напору в комунікаціях на шляху від швидких фільтрів до горизонтальних відстійників, м; h_1=0,5 м [22, п. 10.28.2].

$$Z_{ã.â.} = 72.5 + 3{,}0 + 0{,}5 = 76.0ì$$

Позначка води у камерах пластівцеутворення:

$$Z_{к.п.} = Z_{г.в.} + h_4\,, \qquad (3.99)$$

де h_4 – втрати напору у горизонтальних відстійниках, м; h_4=0,7м [22, п. 10.28.2].

$$Z_{ê.ï.} = 76.0 + 0{,}7 = 76.7ì$$

Позначка води у змішувачах:

$$Z_{зм.} = Z_{к.п.} + h_5 + h_6\,, \qquad (3.100)$$

де h_5 – втрати напору у камерах пластівцеутворення, м; h_5=0,5м [22, п. 10.28.2];

h_3 – втрати напору в комунікаціях на шляху від камер пластівцеутворення до змішувачів, м; h_1=0,4 м [1, п. 10.28.2].

$$Z_{зм.} = 76.7 + 0{,}5 + 0{,}4 = 77.6м$$

Враховуючи рельєф місцевості, приймається $Z_{зм.} = 80.0м$

Висотна схема наведена у графічній частині роботи (лист № 1).

РОЗДІЛ 4 ЕКОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ

4.1 Розрахунок споруд для обробки промивних вод

Для того, щоб зменшити витрати води на власні потреби станції, передбачаються споруди для обробки промивних вод після швидких фільтрів. За технологічною схемою обробки промивних вод передбачаються наступні споруди: приймальна камера; пісковлювлювач; відстійник; згущувач; накопичувач.

У приймальну камеру надходять промивні води після швидких фільтрів. Типовий розмір камери прийнято з урахуванням пропускної здатності, кількості та діаметру трубопроводів [п.8].

Після промивки швидких фільтрів промивна вода у кількості $q_{пром} = 416 л/с$ надходить на станцію водопідготовки по двох трубопроводах діаметром 400 мм кожний. Встановлюється типова приймальна камера ПК-2-60 з розмірами: 1600*2000*1600: довжина А = 1600 мм ; ширина В= 2000 мм ; глибина Н=1600 мм.

4.1.1 Визначення об'єму промивних вод

Питома витрата води на одну промивку одного фільтра визначається за формулою (3.55):

$$q_{пр} = 16 \cdot 360 / 1000 = 5{,}76 м^3 / м^2$$

Витрата води, що необхідна для промивки однієї чарунки фільтра визначена по формулі (3.59):

$$q_{\text{пром}} = 26 \cdot 16 = 416 л/с = 0{,}416 м^3/с$$

Враховуючи, що тривалість однієї промивки фільтра 0,1 год=360с, а за добу кожний фільтр проимивається 2 рази, то на промивку одного швидкого фільтра за добу витрачається:

$$2 \cdot 0{,}416 \cdot 360 = 299.5 м^3 .$$

4.1.2 Розрахунок приймальних камер

Для того, щоб зменшити витрати води на власні потреби станції, передбачаються споруди для обробки промивних вод після швидких фільтрів. За технологічною схемою обробки промивних вод передбачаються наступні споруди: приймальна камера; пісковлювлювач; відстійник; згущувач; накопичувач.

У приймальну камеру надходять промивні води після швидких фільтрів. Типовий розмір камери прийнято з урахуванням пропускної здатності, кількості та діаметру трубопроводів [8].

Після промивки швидких фільтрів промивна вода у кількості $q_{пром} = 416 л/с$ надходить на станцію водопідготовки по двох трубопроводах діаметром 400 мм кожний. Встановлюється типова приймальна камера ПК-2-60 з розмірами: 1600*2000*1600: довжина А= 1600 мм ; ширина В= 2000 мм ; глибина Н=1600 мм .

4.1.3 Розрахунок пісковловлювачів

З приймальної камери вода прояснюється на пісковловлювачах. Приймається горизонтальний пісковловлювач з прямолінійним рухом води на два робочих відділення (одне відділення резервне)[9]. Площа живого перетину кожного відділення становить:

$$w = \frac{q}{V \cdot n}, \qquad (4.1)$$

де q – витрата води, що надходить у пісковловлювач, м^3/с;

V – швидкість руху води, м/с [22]. ;

n – число відділень у пісковловлювачі [22].

$$w = \frac{2*0,416}{0,3 \cdot 2} = 1.39 м^2$$

Глибина проточної частини приймається $h = 0.7 м$ [9]. Ширина відділення:

$$B = w / h = 1,39 / 0,7 = 2,0 м$$

Довжина пісковловлювача обчислюється за формулою:

$$\mathrm{L} = \frac{\mathrm{k} \cdot \mathrm{h} \cdot \mathrm{V} \cdot 1000}{U_o}, \qquad (4.2)$$

де k – коефіцієнт, прийнятий по [22], k =1,3;

U_o – гідравлічна крупність піску, мм/с по [9] U_o=24,2 мм/с.

$$\mathrm{L} = \frac{1,3 \cdot 0,7 \cdot 0,3 \cdot 1000}{24,2} = 11,3 м$$

Довжина пісковловлювача приймається 12 м.

Тоді тривалість протікання промивної води в пісковловлювачі:

$$T = L / V = 12 / 0.3 = 40 c, ùî \ \geq 30 ñ$$

Тривалість протікання промивної води відповідає вимогам [22].

Геометрична глибина пісколовки приймається:

$$H_n = h_1 + h_n + 0.7 = 0,7 + 0,2 + 0,7 = 1,6 м$$

Об· єм частини пісковловлювача для накопичення осаду:

$$W = V \cdot T, \qquad (4.3)$$

де V – об᾽ єм піску, що затримується пісковловлювачем за добу:

$$V = W_o / 365, \qquad (4.4)$$

де W_o – річне довантаження піску у швидкі фільтри, м^3/рік.

Річна потреба в додатковій кількості піску (10% – дозавантаження плюс аварійне перезавантаження одного фільтру):

$$W_o = 0,1 \cdot W_n + W_n / N,$$

де W_n – об’єм піску, що завантажується у швидкі фільтри, $\mathrm{W_п} = 208 м^3$;

$$W_o = 0.1 \cdot 208 + 208/8 = 46.8 м^3$$

$$V = 46{,}8/365 = 0{,}13 м^3/доб;$$

T – період між чищеннями пісковловлювачів, приймається T – 2 доб;

$W = 0{,}13 \cdot 2 = 0{,}26 м^3$.

Висота частини пісковловлювача для приймання осаду:

$$h = \frac{W}{n \cdot B \cdot L} \quad (4.4)$$

$$h_{ос} = \frac{0.26}{2 \cdot 2 \cdot 12} = 0.005 м = 5.0 см.$$

4.1.4 Розрахунок згущувачів

Об'єм згущувача визначається за формулою:

$$W_{зг} = 1.3 \cdot K_{р.о.} \cdot W_{ос.ч.}, \quad (4.5)$$

де $K_{р.о.}$ – коефіцієнт розбавлення осаду, $K_{р.о.}$ =1,5 [22, п. 10.9.9].

$W_{ос.ч.}$ – обєм осаду, м^3.

Приймається, що із загальної кількості промивної води 80% використовується повторно, а 20% скидається з осадом. Відповідно до [22, дод.Д.13] число згущувачів приймається з урахуванням періодичного надходження осаду та тривалості циклу згущення. Тоді кількість відстояної води, що перекачується на повторну очистку становить:

$$Q_1 = q \cdot 0.8 = 299.5 \cdot 0.8 \approx 239.6 м^3$$

Тривалість перекачування $t_1 = 15 хв = 0{,}25 год$.

Продкутивність насосів:

$$q_1 = Q_1/t_1 = 239{,}6/0.25 = 958{,}4 м^3/год$$

Приймаються 3насоси (2 робочих та 1 резервний) марки Д500-36 [4,5].

Осад в об'ємі:

$$Q_2 = 299{,}5 * 0.2 = 59{,}9 \ м^3$$

подається у згущувач.

Тривалість перекачування $t_2 = 20хв = 0{,}33год$, тоді продуктивність насосу:

$q_2 = Q_2 / t_2 = 59{,}9 / 0.33 = 181{,}5м^3 / годину$

Для перекачування осаду приймається два насоси марки СД 250/14 (1 робочий та 1 резервний) [5].

$$W_{заг} = 1.3 \cdot 1{,}5 \cdot (71.7 + 59{,}9) = 256.6м^3$$

Приймаються 2 згущувача діаметром 9,0м; глибиною 3,5м. Ухил дна до центрального приямка становить 8^0. Тривалість циклу згущення для вод середньої мутності становить 8 годин, середня вологість згущеного осаду– 96,8-97,3 % [1, табл. Д. 9.1].

4.1.5 Розрахунок накопичувачів

Згущений осад вивозиться до накопичувачів– спланованих майданчиків глибиною 2м, обвалованих грунтом, на природній основі. Розрахунковий період подачі осаду в накопичувачі приймається 5 років [22, дод. 9]. Об·єм накопичувача визначено за формулою (2.127):

$$W_{нак} = 0.876 \cdot q \cdot C_в \cdot [1/(100 - P_{ос1})\rho + 1/(100 - P_{ос2})\rho + ... + 1/(100 - P_{осn})\rho_n]$$

де q – розрахункова витрата станції водопідготовки, м^3/год;

$P_{ос1}; P_{ос2} ... P_{осn}$ – відповідно середні значення вологості у відсотках першого, другого, n-го року ущільнення осаду [1, дод. 9, рис. 1];

$\rho_1; \rho_2 ... \rho_n$ – густина осаду першого; другого, n-го року ущільнення, приймається за [22, дод. 9, рис. 1];

n – період подачі осаду в накопичувач, дорівнює 5 років;

$C_в$ – середньорічна концентрація завислих речовин у початковій воді, г/м^3, згідно із розрахунком (п. 2.2.5):

$$N_в = 130 + 0{,}5 \cdot 36 + 0{,}25 \cdot 80 + 1.5 = 169.5мг / л$$

$$W_{îàê} = \frac{0{,}876 \times 1974.4 \times 169.5}{1/(100-83)\cdot 1{,}1 + 1/(100-78)\cdot 1{,}14 + 1/(100-76)\cdot 1{,}15 + 1/(100-74)\cdot 1{,}16 + 1/(100-73)\cdot 1{,}17}$$

$W_{нак} = 1172.7 м^3$.

Приймається чотирьохсекційний накопичувач (об'єм секції 315 м^3), розмір однієї секції у плані 15*15*1,4м.

4.2 Екологічне обгрунтування технології водопідготовки

Для того щоб запобігти забрудненню водоймища та щоб зменшити витрати води для власних потреб станції проектуються споруди для очистки промивної води після швидких фільтрів, що дозволяє повторно використати очищену скидну воду.

Кількість забрудненої води після промивки фільтрів за рік становить:

$$Q_{ш.ф.} = W_{пр.доб.} \times 365/1000 \qquad (4.6)$$

$W_{пр.доб.}$ – добовий об'єм води після промивки швидких фільтрів, м^3

$$W_{пр.доб.} = 416 \times 8 = 3328 м^3/доб$$

$$Q_{ш.ф.} = 3328 \times 365/1000 = 1214.72 тис.м^3/доб$$

При застосуванні споруд для повторного використання промивної води усувається скидання коагулянта $A1_2(SO_4)_3$ у водойму, у кількості

$$Q_{коагул.} = Q_{ш.ф.} \times Д_к /1000 \qquad (4.7)$$

де $Д_к$ – доза коагулянту $A1_2(SO_4)_3$, Дк = 37 г/м^3.

$$Q_{коагул.} = 1214720 \times 36/1000 = 43729{,}9 кг \approx 43{,}7 т$$

В цілому застосування вузла повторного використання промивної води дозволяє скоротити в значному об'ємі витрату забруднених вод, які скидаються у водойму. При цьому забезпечується повернення води у

виробництво на власні потреби станції водопідготовки, що дає значний економічний та екологічний ефект.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання бакалаврської роботи було досягнуто поставлену мету - розроблено ефективну систему водопідготовки, адаптовану до заданих умов, із урахуванням сучасних вимог до якості питної води та охорони навколишнього середовища. Для цього були вирішені такі завдання:

1. Проаналізовано сучасні технології водопідготовки, зокрема інноваційні методи, такі як мембранні технології, сорбційне очищення та озонування. Оцінено їх ефективність у порівнянні з традиційними методами. Встановлено, що комбіновані технологічні рішення забезпечують високу якість очищення та адаптивність до змін складу води.

2. Визначено вимоги до очищення природної води, виходячи з її якісного складу, санітарних норм та технологічних особливостей регіону. Здійснено аналіз вхідних показників води і встановлено необхідні етапи очищення для досягнення нормативної якості.

3. Обґрунтовано вибір технологічної схеми водопідготовки, яка включає стадії механічного очищення, коагуляції, відстоювання, фільтрації та знезараження. Здійснено поетапне проєктування системи з урахуванням надійності, енергоефективності та експлуатаційної доцільності.

4. Виконано гідравлічні та технологічні розрахунки для основних елементів системи: змішувачів, відстійників, фільтрів, резервуарів та обладнання для знезараження. Забезпечено узгодженість гідравлічного режиму з роботою всіх елементів системи.

5. Проведено екологічне обґрунтування проєктних рішень, зокрема розраховано споруди для обробки промивних вод. Проаналізовано вплив проєктованої системи на навколишнє середовище та підтверджено її відповідність сучасним екологічним вимогам. Упроцесі дослідження було проаналізовано сучасний стан систем водопідготовки, визначено їх екологічні обмеження та енерговитратність, а також основні напрями модернізації цієї галузі відповідно до вимог сталого розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Банах А.В., Фостащенко А.О. Енергетичний моніторінг будівель і споруд в Україні *Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України* : тези доп. всеукр. наук.-практ. конф. (м. Запоріжжя, 17-20 жовт. 2023 р.). Запоріжжя, 2023. С. 162–164.

2. Використання енергозберігаючих технологій в країнах ЄС: досвід для України. Аналітична записка. URL: http://tinyurl.com/5yrvxsp3

2. Водопідготовка та очищення стічних вод; методи, обладнання, ефективність : навч. Посіб./ П.М. Дем'янчук, А.І. Горобець. - Уиїв: Центр учбової літератури, 2021. - 356с.

3. Водопідготовка: навчальний посібник. / В.В. Дорощенко, І.Г. Коцюба, Т.О. Єльнікова, О.І. Уваєва. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – 153 с https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/52584/mod_folder/content/0/%25D0%2592%25D0%25BE%25D0%25B4%25D0%25BE%25D0%25BF%25D1%2596%25D0%25B4%25D0%25B3%25D0%25BE%25D1%2582%25D0%25BE%25D0%25B2%25D0%25BA%25D0%25B0.pdf%3Fforcedownload%3D1&ved=2ahUKEwiL14TT4p-NAxXicvEDHdGRPXo4ChAWegQIExAB&usg=AOvVaw0c3hqtuiCl91dNgy1XCPfE

4. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 16 с.

5. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила (ISO 4:1984, NEQ; ISO 832:1994, NEQ). Київ : Держстандарт України, 2014. 15 с.

6. ДСанПІН 2.2.4-171-10 "Гігієнічні вимоги до питної води".

7. Добровольська О., Рудаков О. О. Удосконалення роботи інженерних об'єктів системи водопостачання. Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України : матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції за участю молодих науковців.

Запоріжжя: ЗНУ, 2023. С. 198–200.
URL:https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/conf6/zbirnyk_23.pdf
8. Добровольська О. Г. Водопровідні мережі : навчально-методичний посібник. Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2022. 221 с.Євробюлетень. Вип.3.2006 р.
9. Добровольська О.Г., Чудновський П.Б. Про стратегії відновлення мереж транспортування води. Зелене будівництво : зб. тез доп. міжнар. наук.-практ. конф., м. Київ, 13-14 квіт. 2023 р. Київ, 2023. С. 454–458.
10. Закон України «Про енергозбереження»
URL:https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text
URL:https://parlament.org.ua/wp-content/uploads/2016/10/03-1.pdf
11.Закон України «Про енергетичну ефективність».
URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#n436
12. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. - К.: Вища школа, 2005. - 671 с.
13. Кудінов В.А. Гідравліка : підручник он-лайн, 2015. URL : https://stud.com.ua/33902/tovaroznavstvo/odravlika.
14. Мєшкова-Клименко Н. А., Косогіна І. В., Толстопалова Н. М. Технологія та обладнання одержання питної та технічної води : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 141 с.
15. Науково-практичний коментар Бюджетного кодексу України / під заг.ред. Т. А. Латковської. Київ : ЦУЛ, 2017. 176 с.
16. Рішення №37 від 27.06.2013 «Про енергоефективність у житлово-комунальному господарстві». URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/vr037858-13#Text
17. Раціональне використання та відновлення водних ресурсів : монографія / А. М. Прищепа та ін. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2016. 250 с.
18. Тугай А. М., Орлов В. О. Водопостачання : підручник. Київ : Знання, 2009. 735 с.
19. Технологія очищення води: сучасні рішення та перспективи: монографія / за ред. В.П. Сидоренка - Київ: НТТУ “КПІ”, 2020. - 220с.

20. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р., Кравчинський Р. Л., Чунарьов О. В. Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона : навч. посіб. /за ред. В. К. Хільчевського. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2015. 154 с.
21. Енциклопедія Сучасної України / редкол.: І. М. Дзюба та ін. Київ : САМ, 2016. Т. 17. 712 с.
22. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація). URL: https://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2018/08/1084_DBN_V.2.5-74_2013-DREAMDIM.pdf