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 РЕСУРСООЩАДНИХ РІШЕНЬ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД»**

Виконав: студент 4 курсу, група 6.1923-мім-з
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Міські інженерні мережі»
ЛИТВИНЕНКО АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і архітектури, канд. техн. наук О. Г. Добровольська

Рецензент: професор кафедри міського будівництва і архітектури, доктор архітектури Г.О. Осиченко

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

Литвиненко Андрію Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розробка ресурсоощадних рішень очищення природних вод
2. Строк подання роботи: *25.05.2025*
затверджено наказом ЗНУ від «26» грудня 2024 року № 2028-с
3. Вихідні дані до роботи: *генплан міста (додаток 1 до завдання), характеристики житлової забудови та підприємств, умов водопостачання (додаток 2 до завдання)*
4. *Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1. Аналіз застосування ресурсоощадних технологій очищення природнихвод.1.1.Впровадження ресурсоощадних технологій водопідготовки на комунальних підприємствах. 1.2. Розробка технології водопідготовки з використанням екологічно безпечних та ресурсоощадних методів очищення питної води. 2. Розрахунок споживання води. 2.1. Аналіз господарсько-питних потреб у воді. 2.2. Оцінка водоспоживання для поливу. 2.3 Розрахунок витрат води на промисловому підприємстві. 3. Проєктування та оптимізація очисних споруд.3.1Визначення розрахункової продуктивності станції. 3.2 Обґрунтування методу обробки води. 3.3 Розрахунок конструктивних параметрів змішувачів 3.4 Оптимізація відстоювання. 3.5 Підвищення ефективності роботи швидких фільтрів. 4. Розробка енергоефективної технології повторного використання промивних вод. 4.1. Оцінка обсягу промивних вод. 4.2. Розрахунок приймальних камер.4.3. Проєктування пісковловлювачів 4.4. Визначення параметрів роботи згущувачів. 4.5 Екологічне обґрунтування*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1.Генплан та ситуаційний план міста. 2.Висотна схема очищення води. 3.План очисних будівель та споруд. 4,5. План та розрізи будівлі очисних споруд. 6.Модернізація відстійників.7. Розробка технології повторного використання промивних вод: технологічна схема; план та розріз згущувачів.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 10.02.2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Виконання	Приміт ка
1	Розділ 1. Аналіз застосування ресурсоощадних технологій очищення природнихвод	25.03.25	
2	Листи 1-2.	14.04.25	
3	Розділ 2. Розрахунок споживання води.	25.04.25	
4	Листи 3,4.	05.05.25	
5	Розділ 3. Проєктування та оптимізація очисних споруд.	10.05.25	
6	Розділ 4. Розробка енергоефективної технології повторного використання промивних вод	15.05.25	
7	Листи 5-6.	22.05.25	
8	Презентація підготовка доповіді.	25.05.25	

Студент _____ А.М. Литвиненко
(підпис) (ініціали та прізвище)

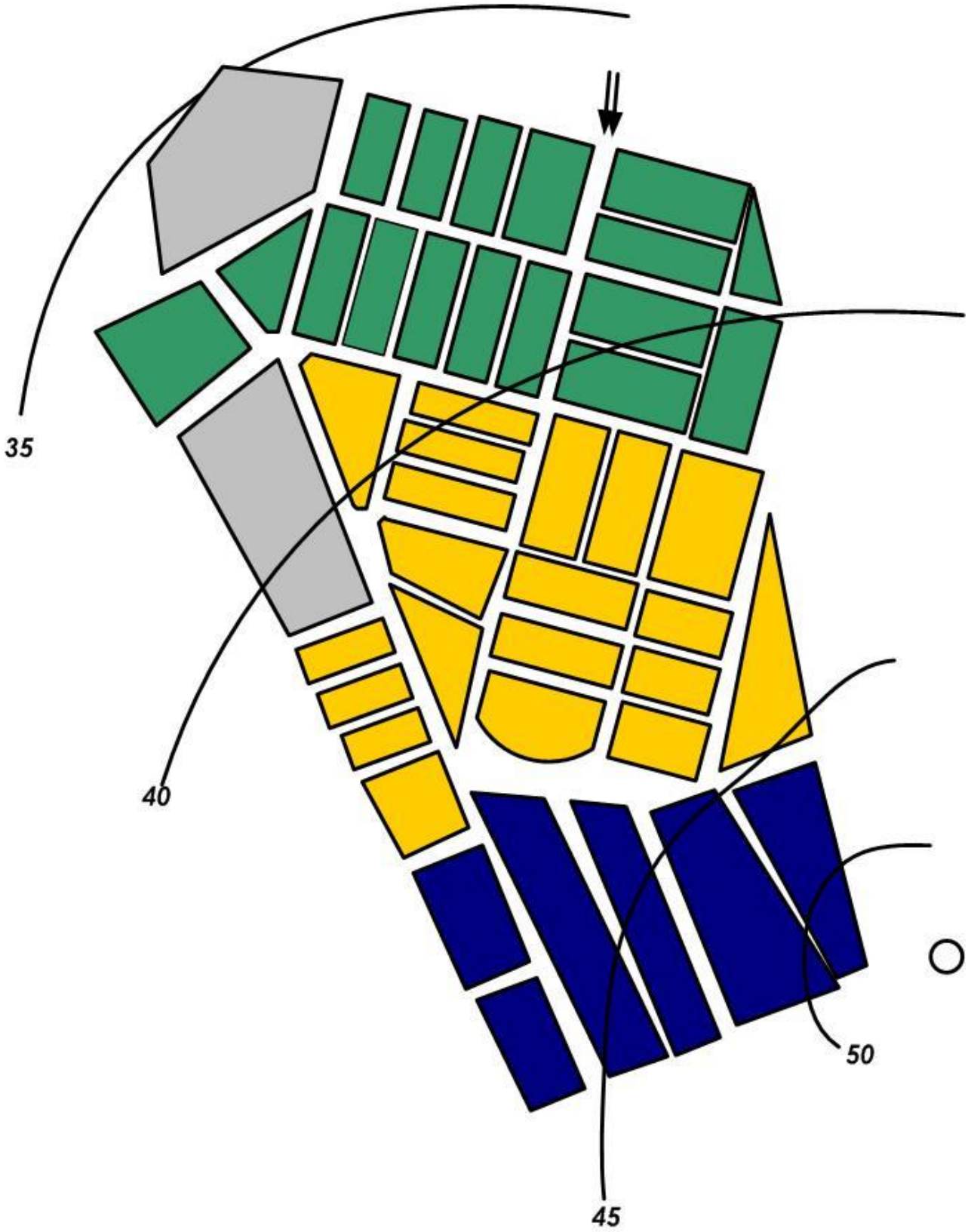
Керівник роботи _____ О.Г. Добровольська
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

Додаток 1

Генплан міста
М 1:20000



Додаток 2

Таблиця 1 – Характеристика забудови

Район міста	Кількість поверхів	Щільність населення, чол/га	Ступінь благоустрою
Перший район	5	240	внутрішній водопровід, каналізація і ванни з місцевими водонагрівачами
Другий район	3	180	внутрішній водопровід, каналізація і ванни з місцевими водонагрівачами
Третій район	9	380	внутрішній водопровід, каналізація і централізоване гаряче водопостачання
Усього			

Таблиця 2 – Характеристика підприємств

№ підприємства	Зміна	Кількість працівників по змінах	Кількість працівників в гарячих цехах, %	Характеристика технологічного процесу	Кількість продукції, од./доб	Об'єм найбільшої споруди, тис. м	Ступінь вогнестійкості конструкції
П.п №1	08.00-16.00	600	20	1а, 2в	2880	18	II кат. Д
	16.00-24.00	550					
П.п №2	08.00-16.00	900	40	1а, 2в	13500	10	I кат. А
	16.00-24.00	600					
	24.00-08.00	400					

Умови водопостачання

Якість води в джерелі водопостачання: каламутність М=340 мг/л, кольоровість Ц =75 град.

ЗМІСТ

ВСТУП…….8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ РЕСУРСООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД……10
1.1. Впровадження ресурсоощадних технологій водопідготовки на комунальних підприємствах……10
1.2. Розробка технології водопідготовки з використанням екологічно безпечних та ресурсощадних методів очищення питної води……19
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СПОЖИВАННЯ ВОДИ……...…29
2.1. Аналіз господарсько-питних потреб у воді……..29
2.2. Оцінка водоспоживання для поливу…….31
2.3 Розрахунок витрат води на промисловому підприємстві……32
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ОЧИСНИХ СПОРУД…….37
3.1. Визначення розрахункової продуктивності станції……37
3.2 Обгрунтування методу обробки води……37
3.3 Розрахунок конструктивних параметрів змішувачів……37
3.4 Оптимізація відстоювання……..41
3.4.1. Проєктування горизонтального відстійника…….41
3.4.2 Розрахунок камери пластівцеутворення……46
3.4.3 Визначення робочих параметрів для модернізованї конструкції відстійника…….50
3.4.4 Оцінка допустимого навантаження для модернізованого відстійника…..51
3.5 Підвищення ефективності роботи швидких фільтрів……..52
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИВНИХ ВОД…….56
4.1. Оцінка обсягу промивних вод……56
4.2. Розрахунок приймальних камер……57

4.3. Проєктування пісковловлювачів…….57
4.4. Визначення параметрів роботи згущувачів……59
4.5 Екологічне обґрунтування…….……60
ВИСНОВКИ……..……62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…..……...63

ВСТУП

Війна в Україні завдала нищівного удару не лише по людському потенціалу та інфраструктурі, а й по навколишньому природному середовищу. Забруднення річок, водосховищ, підземних джерел – усе це стало побічним, але глибоко тривалим наслідком бойових дій. У цьому контексті питання відновлення екосистем і забезпечення доступу до безпечної питної води є стратегічно важливим завданням на етапі післявоєнної відбудови. І саме ресурсоощадні технології очищення вод відіграють у цьому ключову роль.

Застосування таких технологій є особливо важливим для регіонів, де пошкоджено або знищено очисні споруди, де спостерігається нестача води або високий рівень забруднення. В умовах змін клімату, дедалі більшого навантаження на екосистеми та зростання потреб у воді для побутових і промислових потреб, ресурсоощадні підходи стають основою водної безпеки держави.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити ресурсоощадні інженерно-технологічні рішення для очищення природних вод з урахуванням зменшення енергоспоживання та обсягів утворення стічних вод шляхом оптимізації процесів водопідготовки, проєктування очисних споруд та впровадження технологій повторного використання промивних вод.

Задачі кваліфікаційної роботи**:**

- аналіз застосування ресурсоощадних технологій очищення природних вод;
- розробка технології очищення води для господарсько-питних потреб відповідно до завдання;
- розрахунок та конструювання очисних споруд;
- розробка ресурсоощадних рішень з урахуванням модернізації споруд та оптимізації очисної технології;

- екологічне обґрунтування роботи.

Основні принципи застосування ресурсоощадних технологій:

- мінімальне споживання ресурсів – ефективне очищення з мінімальним використанням енергії, води, хімічних реагентів та матеріалів;
- відновлення та повторне використання ресурсів;
- локалізація – тобто можливість застосування мобільних або модульних установок, придатних для віддалених і сільських територій;
- екологічна безпека;
- адаптивність та масштабованість – можливість бути легко адаптованими до коливань у складі забруднень та масштабованими з урахуванням потреб громади чи промислового об’єкта;
- енергоефективність та використання альтернативних джерел енергії;
- соціальна доступність з фінансового та технічного боку для місцевих громад.

Методи очищення: реагентна обробка; відстоювання води; фільтрування води; повторне використання очищеної води після промивки швидких фільтрів.

Екологічне обґрунтування. Використання вузла повторного обігу промивної води дозволяє істотно зменшити обсяг забруднених стоків, які надходять у природні водойми, та забезпечує повторне залучення води у виробничий процес станції водопідготовки, що сприяє як економічній вигоді, так і покращенню екологічного стану.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ РЕСУРСООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД

1.1. Впровадження ресурсоощадних технологій водопідготовки на комунальних підприємствах

Функціонування комунальних підприємств відіграє ключову роль у соціально-економічному розвитку як окремих регіонів, так і країни загалом. Їх діяльність спрямована на забезпечення життєдіяльності територіальних громад, надання критично важливих послуг населенню, підтримку інфраструктури та реалізацію стратегічних завдань місцевого самоврядування. Від ефективності роботи цих підприємств залежить якість комунальних послуг, рівень комфорту мешканців, інвестиційна привабливість регіонів та наповнення місцевих бюджетів [1].

У зв’язку з цим особливо актуальним є системний аналіз діяльності комунальних підприємств, зокрема тенденцій щодо змін їхньої кількості в Україні та окремих регіонах. Важливим аспектом дослідження є оцінка фінансового стану цих підприємств, їх джерел фінансування, а також механізмів розподілу та використання коштів. Значний вплив на діяльність комунального сектору має державна підтримка, яка визначає можливості розвитку підприємств, їхню фінансову стійкість та здатність виконувати соціально важливі функції.

У наукових дослідженнях [2] акцентується увага на ключових проблемах, пов’язаних із прозорістю та підзвітністю комунальних підприємств. З метою підвищення ефективності їхньої роботи пропонуються такі підходи:

– запровадження дієвих механізмів контролю та забезпечення прозорості фінансово-господарської діяльності підприємств,

– обов’язкове оприлюднення фінансових планів, звітності та інформації про джерела формування власних, залучених і позикових коштів,
– удосконалення нормативно-правового регулювання, яке визначає функціонування комунальних підприємств,
– розробка довгострокових стратегій розвитку комунального сектору.

Як зазначено в роботі [3] однією з найгостріших проблем, що впливає на ефективність роботи комунальних підприємств, є застаріла матеріально-технічна база. Значна частина обладнання, особливо в критично важливих сферах, таких як водопостачання, водовідведення, теплозабезпечення та енергозабезпечення, не оновлювалася протягом десятиліть. Це призводить до високого рівня зношеності, частих аварій, збільшення витрат на поточний ремонт і технічне обслуговування. Внаслідок цього підприємства змушені працювати в умовах підвищених експлуатаційних витрат, що негативно впливає на їхню фінансову стійкість та якість надання послуг населенню. Відсутність системної модернізації інфраструктури також спричиняє зниження енергоефективності, що в умовах зростання цін на енергоносії лише поглиблює фінансові труднощі.

Фахівці [4] наголошують, що також критичним викликом є недостатній рівень фінансування, який безпосередньо впливає на здатність підприємств до оновлення обладнання та розвитку інфраструктури. Обмеженість бюджетних ресурсів не дозволяє здійснювати необхідні інвестиції, що змушує підприємства працювати у збитковому режимі. Фінансова нестабільність призводить до накопичення боргів, затримок у виплаті заробітної плати працівникам, а також до зниження якості послуг, що надаються населенню.

За результатами аналізу діяльності 6 947 комунальних підприємств у довоєнний період [5], сукупний збиток цього сектору оцінювався приблизно у 9,8 млрд грн. При цьому понад третина підприємств працювала зі збитками, що свідчить про системні фінансові проблеми в галузі. Додатково комунальні

підприємства демонструють нижчу прибутковість порівняно з державними та приватними структурами. Зокрема, рівень рентабельності власного капіталу (ROE) для 34% комунальних підприємств був близьким до нуля, тоді як серед інших суб'єктів господарювання цей показник становив лише 18%.

З огляду на ці фактори, для забезпечення стабільного функціонування комунального сектору необхідно розробити ефективні механізми фінансування, стимулювати залучення інвестицій, а також активізувати державні та місцеві програми з оновлення матеріально-технічної бази. Лише комплексний підхід до вирішення цих проблем дозволить підвищити ефективність діяльності комунальних підприємств та забезпечити надання якісних послуг громадянам.

Багато комунальних підприємств продовжують функціонувати за застарілими схемами управління, які не відповідають сучасним вимогам і реаліям ринку. Використання застарілих методів організації роботи та неготовність до адаптації до нових технологій значно знижують ефективність цих підприємств. Відсутність інноваційних технологій в управлінні, обслуговуванні та в процесах модернізації інфраструктури є одними з головних стримуючих факторів, які не дають змогу підвищити якість послуг і знизити витрати на їх надання. Окрім цього, низький рівень кваліфікації персоналу також сприяє погіршенню результатів діяльності. Недосконала підготовка співробітників комунальних підприємств до роботи з новими технологіями або в умовах постійних змін ринку послуг є серйозною перепоною для впровадження ефективних рішень.

Ще однією значною проблемою є взаємодія комунальних підприємств з місцевими громадами. Часто споживачі висловлюють невдоволення через низьку якість послуг, відсутність прозорості тарифів, а також недостатню інформацію щодо змін в тарифах чи запроваджених нововведеннях. Відсутність ефективної комунікації між підприємствами та населенням ускладнює вирішення конфліктних ситуацій, породжує недовіру до місцевих органів влади та

підприємств. Така ситуація погіршує репутацію комунальних компаній і знижує рівень задоволення потреб громадян. Низька ефективність зворотного зв'язку між споживачами та організаціями, що надають послуги, є серйозною перешкодою для розвитку і стабільності комунального сектору.

Не менш важливим є екологічний аспект діяльності комунальних підприємств. Забруднення водних ресурсів, нераціональне використання природних ресурсів, відсутність сучасних очисних споруд та недостатній рівень екологічної безпеки є суттєвими викликами для галузі. Такі проблеми створюють додаткові ризики як для навколишнього середовища, так і для здоров'я населення. Окрім того, сучасні екологічні стандарти вимагають від комунальних підприємств дотримання низки жорстких вимог щодо охорони довкілля, що, в свою чергу, призводить до додаткових витрат на модернізацію обладнання та впровадження екологічних технологій.

Зокрема, управління твердими побутовими відходами (ТПВ) є однією з ключових функцій комунальних підприємств, яка охоплює кілька важливих етапів:

- забезпечення належного санітарного стану міських територій, включаючи прибирання випадкового сміття,
- обслуговування інфраструктури для збору відходів, таких як урни, контейнери та пункти переробки,
- транспортування відходів до полігонів або на станції для подальшої переробки,
- експлуатація полігонів твердих побутових відходів і станцій переробки.

Невиконання екологічних норм у цій сфері може призвести до серйозних наслідків, включаючи забруднення ґрунтів і водних ресурсів, а також до погіршення загальної екологічної ситуації в регіоні. Тому важливо зосередити

увагу на модернізації і вдосконаленні інфраструктури для управління відходами, запроваджуючи ефективні методи переробки і утилізації.

В роботі [6] наголошується, що в сучасних умовах розвитку економіки, зміни клімату, а також зростання потреб у сталому використанні природних ресурсів, особливо важливим стає питання впровадження інноваційних підходів до управління підприємствами та організаціями, що здійснюють діяльність у секторі водопостачання та водовідведення. У цьому контексті одним із ключових завдань є інтеграція енерго- та ресурсоощадних технологій, що сприяють не лише підвищенню ефективності роботи підприємств, а й зменшенню їхнього негативного впливу на навколишнє середовище.

Енергоефективність комунальних підприємств є важливим фактором сталого розвитку міст та населених пунктів. Однак, у багатьох випадках рівень енергоефективності залишається низьким через низку причин, які обумовлюють значні енергетичні втрати. В роботі [7] вказуються головні причини, які впливають на зниження енергоефективності комунальних підприємств.

Зокрема, багато комунальних підприємств експлуатують обладнання, яке морально та фізично застаріло. Старі котельні, насоси, системи освітлення та вентиляції мають низький ККД, що призводить до значних втрат енергії. Відсутність регулярної модернізації та впровадження сучасних технологій є однією з головних причин низької енергоефективності [8].

Втрати тепла через неізольовані трубопроводи, фасади, вікна та дахи є серйозною проблемою. Особливо це стосується теплових мереж, де через пошкодження та застарілі матеріали значна частина енергії втрачається ще до досягнення кінцевого споживача.

Водопровідні, каналізаційні та теплові мережі в багатьох містах перебувають у критичному стані. Часті прориви трубопроводів, несанкціоновані

підключення та погане обслуговування сприяють великим втратам енергоресурсів [9].

Відсутність сучасних систем моніторингу та обліку енергоспоживання унеможливлює своєчасне виявлення нераціональних витрат. Використання застарілих лічильників або повна їх відсутність не дозволяє оцінити реальні енергетичні втрати та вжити відповідних заходів для їх усунення.

Модернізація та оновлення енергетичної інфраструктури потребують значних інвестицій, яких часто бракує через обмежене фінансування з боку держави або місцевих бюджетів. Відсутність фінансових ресурсів для впровадження енергоефективних заходів значно гальмує розвиток комунальної сфери.

Відсутність необхідних знань і навичок у працівників комунальних підприємств щодо сучасних енергозберігаючих технологій та методів управління енергоресурсами також спричиняє додаткові витрати. Підвищення кваліфікації персоналу є ключовим елементом у покращенні енергоефективності.

У багатьох випадках підприємства не мають достатньої мотивації для впровадження заходів з енергозбереження через відсутність державних або муніципальних стимулів, таких як податкові пільги, гранти чи пільгові кредити.

Неефективне управління, бюрократичні перепони, корупція та відсутність стратегічного планування щодо енергозбереження призводять до нераціонального використання ресурсів. Відсутність прозорих механізмів контролю також сприяє марнотратному використанню енергії [10].

У документі [11] зазначається, що переосмислення регіональних програм з енергоощадження та енергоефективності у житлово-комунальному секторі передбачає не лише розширення їхнього змісту, але й впровадження інноваційних заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності. Зокрема, це включає застосування сучасних технологій енергозбереження, модернізацію

інженерних мереж, використання відновлюваних джерел енергії та цифрових інструментів для оптимізації енергоспоживання.

Сьогодні визнано, що підвищення рівня енергоефективності та раціональне використання ресурсів є одним із найважливіших інструментів для подолання енергетичної кризи та створення сприятливих умов для відновлення пошкодженої інфраструктури [12]. Впровадження заходів з енергозбереження не лише сприяє економічному розвитку, а й дозволяє суттєво скоротити витрати на енергоресурси, що, своєю чергою, відкриває можливості для фінансування сучасних технологій енергоефективності та оптимізації процесів водопідготовки.

Раціональне споживання енергії передбачає насамперед зменшення використання первинних енергоресурсів, таких як електроенергія, газ, вода та тепло, що є критично важливим для підприємств комунального сектора. Основна концепція енергозбереження полягає в досягненні необхідного рівня комунальних послуг із мінімальними ресурсними витратами, що підвищує економічну стабільність та екологічну безпеку.

Фінансування технічного оновлення виробничих потужностей традиційно здійснюється за рахунок державного та місцевого бюджетів. Однак для забезпечення комплексного переходу до ресурсоощадних технологій необхідно також залучати альтернативні джерела інвестування, такі як міжнародні гранти, приватний капітал та державно-приватне партнерство. Це сприятиме прискоренню модернізації комунальної інфраструктури та підвищенню її ефективності в довгостроковій перспективі.

Крім того, важливим елементом реформування є розробка механізмів стимулювання населення до впровадження енергоефективних заходів. Це може включати надання фінансових стимулів, інформаційно-просвітницькі кампанії, створення програм спільного фінансування для модернізації житлового фонду тощо.

Окрему увагу слід приділити запровадженню системного моніторингу оновлених регіональних та місцевих програм, що передбачає збір, аналіз та оцінку даних щодо ефективності впроваджених заходів. Це дозволить оперативно коригувати стратегії розвитку та підвищувати результативність реалізації програм енергоефективності в житлово-комунальному секторі.

Зважаючи на високий рівень енерговитрат в системах водопостачання, одним із основних напрямків модернізації є застосування енергоощадних технологій. Впровадження сучасних насосних станцій, використання енергоефективних двигунів, а також оптимізація режимів роботи насосних і насосно-очисних станцій допомагають значно знижувати споживання електроенергії. Інноваційні методи управління, такі як автоматизовані системи управління процесами водопостачання, дозволяють адаптувати роботу системи до змінних умов, забезпечуючи стабільну подачу води за мінімальних витрат енергії.

Іншим важливим аспектом є впровадження технологій для покращення водозбереження та зниження втрат води в системах водопостачання. Системи моніторингу, що дозволяють контролювати рівень споживання, витрати води на кожному етапі її транспортування та розподілу, є важливим інструментом у боротьбі з водними втратами. Водночас, застосування передових методів очищення води, таких як мембранні технології або технології біологічного очищення, дають змогу забезпечити високу якість води при мінімальних витратах на енергоресурси.

Інтелектуальні системи управління, що базуються на сучасних інформаційних технологіях та великих даних (Big Data), стають важливим інструментом для оптимізації водопостачання та водовідведення. Застосування сенсорних мереж та автоматизованих систем контролю дає змогу оперативно реагувати на зміни у споживанні води, а також на аварійні ситуації, що

виникають в системах водопостачання. Зокрема, використання технологій «розумних лічильників», які дозволяють точно вимірювати витрати води на кожному етапі, дає змогу не лише покращити облік ресурсів, а й своєчасно виявляти витоки води, що значно знижує їхні негативні наслідки.

Особливо актуальним є питання впровадження технологій переробки та повторного використання води. Сучасні системи очистки та рециркуляції води дають змогу використовувати очищену воду для промислових потреб, поливу зелених зон, а також для зрошення сільськогосподарських угідь. Впровадження таких технологій дозволяє значно знизити навантаження на природні водні ресурси і сприяє сталому розвитку міських та промислових територій.

Інноваційні підходи включають також впровадження зелених інфраструктурних рішень, таких як біофільтраційні системи для очищення стічних вод або використання природних процесів для регенерації водних ресурсів. Це не лише знижує енергоспоживання, але й забезпечує додаткову екологічну вигоду, зменшуючи забруднення води та ґрунту. Врахування екологічних стандартів і впровадження технологій, що зменшують викиди парникових газів, стає необхідною складовою сталого розвитку водопостачальних та водовідвідних підприємств.

Зниження енергоефективності комунальних підприємств є багатофакторною проблемою, яка потребує комплексного підходу. Впровадження сучасних технологій, підвищення фінансування, покращення управлінських процесів та навчання персоналу є ключовими кроками до покращення ситуації. Лише за умови системних змін можливо досягти високої енергоефективності та зменшити витрати на комунальні послуги як для підприємств, так і для кінцевих споживачів.

Таким чином, впровадження інноваційних технологій у секторі водопостачання та водовідведення є не лише технічним, а й економічним і

соціальним завданням. Вони допомагають підприємствам підвищити свою ефективність, знизити витрати, поліпшити якість послуг для споживачів і значно зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Це також забезпечує адаптацію підприємств до змінюваних кліматичних і економічних умов, що є необхідною умовою для сталого розвитку цього сектору в майбутньому.

1.2. Розробка технології водопідготовки з використанням екологічно безпечних та ресурсоощадних методів очищення питної води

Проблема оптимізації та застосування енергощадних технологій в системах водопостачання є світовою проблемою. Європейська інноваційна водна платформа (EIP Water) визначила ключові напрямки для розвитку інновацій у галузі водопостачання та водовідведення, а також бар'єри, що гальмують цей процес. До основних пріоритетів належать:

1. Повторне використання та переробка води – розвиток технологій, що дозволяють ефективно використовувати воду повторно, зокрема через системи для очищення та повторного використання стічних вод у промисловості та побуті.
2. Очищення води та стічних вод, включаючи відновлення ресурсів – впровадження новітніх технологій очищення води, що не лише забезпечують видалення забруднень, а й дозволяють отримати корисні ресурси, такі як біогаз або відновлені мінерали, з очищених стічних вод.
3. Водно-енергетичний зв’язок – інтеграція водних та енергетичних систем для підвищення ефективності використання ресурсів, зокрема через впровадження енергоефективних технологій в системах водопостачання та водовідведення, що знижують споживання енергії.

4. Управління ризиками повеней і посухи – розробка систем моніторингу, прогнозування та адаптації до змін клімату, що допомагають мінімізувати наслідки екстремальних погодних явищ, таких як повені та посухи, для водних ресурсів.

5. Екосистемні послуги – оцінка і використання природних екосистем для підтримки водних ресурсів, зокрема через збереження та відновлення природних водно-болотних угідь, які відіграють важливу роль в очищенні води та регулюванні водного балансу.

Крім того, EIP Water визначила низку бар'єрів, таких як недостатнє фінансування інновацій, відсутність стимулів для швидкого впровадження нових технологій, а також складнощі в інтеграції новітніх рішень у вже існуючі водопостачальні та водовідвідні системи.

У США активно працюють над модернізацією інфраструктури, зокрема заміною застарілих трубопроводів для мінімізації втрат води, а також впровадженням енергоефективного обладнання та систем моніторингу. У європейських країнах, зокрема в Німеччині та Нідерландах, широко застосовують технології інтелектуального управління для виявлення витоків і підвищення ефективності систем питного водопостачання [13, 14]. Сінгапур здійснив інвестиції в систему «NEWater», яка дозволяє перетворювати очищені стічні води на ресурс, придатний для промислового та навіть побутового використання, що сприяє забезпеченню стабільного водопостачання в умовах обмежених водних ресурсів [15]. В умовах хронічного дефіциту водних ресурсів Ізраїль запровадив політику поводження з водними ресурсами на національному рівні, поєднавши передові технології опріснення морської води та повторного використання очищених стічних вод. Завдяки цьому вдалося забезпечити стабільне водопостачання навіть у періоди військових конфліктів [16].

Забезпечення питного водопостачання в умовах конфліктів потребує впровадження комплексного підходу до управління водними ресурсами та тісної співпраці з міжнародними партнерами. Досвід країн, які успішно реалізували такі стратегії, свідчить, що ефективне управління може гарантувати стабільність систем водопостачання та водовідведення навіть у періоди криз.

Один із важливих аспектів безпеки водопостачання – впровадження сучасних технологій, що дозволяють оперативно виявляти та усувати забруднення. Моніторингові системи, оснащені датчиками та сенсорами, дають змогу контролювати якість води в режимі реального часу та швидко реагувати на можливі загрози. Використання інноваційних рішень не лише підвищує ефективність очищення води, а й оптимізує витрати на експлуатацію систем водопостачання, роблячи їх більш адаптивними до змін клімату та інших викликів.

У сучасних умовах зростаючого дефіциту енергетичних та водних ресурсів повторне використання стічних вод стає важливим напрямом забезпечення сталого розвитку. Такий підхід дозволяє не лише зменшити споживання прісної води, а й знизити навантаження на очисні споруди та мінімізувати екологічний вплив на водні екосистеми. Повторне застосування стічних вод можливе лише після відповідної очистки, яка здійснюється за допомогою різних технологічних процесів, серед яких: механічне очищення – видалення великих забруднень і завислих частинок; біологічне очищення – застосування мікроорганізмів для розкладу органічних речовин; хімічне очищення – використання реагентів для знезараження та нейтралізації шкідливих речовин; мембранні технології – ультрафільтрація та зворотний осмос, що дозволяють досягти високого рівня очищення**.** Сфери повторного використання очищених стічних вод: сільське господарство – зрошення сільськогосподарських культур, що дозволяє зменшити використання прісної води; промисловість – технічне водопостачання

підприємств для охолодження обладнання або технологічних процесів; комунальне господарство – зволоження зелених зон, миття доріг і тротуарів, наповнення фонтанів; енергетика – використання для охолоджувальних систем на електростанціях; відновлення водних екосистем – підживлення природних водойм для підтримки екологічного балансу. Переваги повторного використання стічних вод – це зниження навантаження на природні водні джерела, що є особливо важливим для регіонів із посушливим кліматом; скорочення витрат на водопостачання для промислових і комунальних підприємств; зменшення забруднення навколишнього середовища, оскільки очищені стоки не скидаються у водойми безконтрольно; створення додаткових джерел водопостачання, що підвищує стійкість регіональних водних систем. Крім того. Перспективними напрямком є використання стічних вод

Таким чином, повторне використання стічних вод є перспективним рішенням для забезпечення раціонального водокористування та мінімізації впливу на довкілля. Впровадження сучасних технологій очищення дозволяє отримувати якісну очищену воду, придатну для різних господарських потреб, що сприяє збереженню природних ресурсів та екологічній безпеці.

Системи автоматизованого очищення води оснащені різними датчиками та контролерами, які безперервно відстежують її якість у реальному часі. Це дає змогу швидко виявляти забруднення та підтримувати високий рівень очищення. Використання передових технологій, зокрема мембранних фільтрів і ультрафіолетового знезараження, сприяє значному зниженню концентрації шкідливих домішок у воді.

Новітні технології очищення природних і стічних вод, засновані на використанні біологічних методів, дозволяють досягти необхідних показників якості води, водночас зводячи до мінімуму негативний вплив на навколишнє середовище.

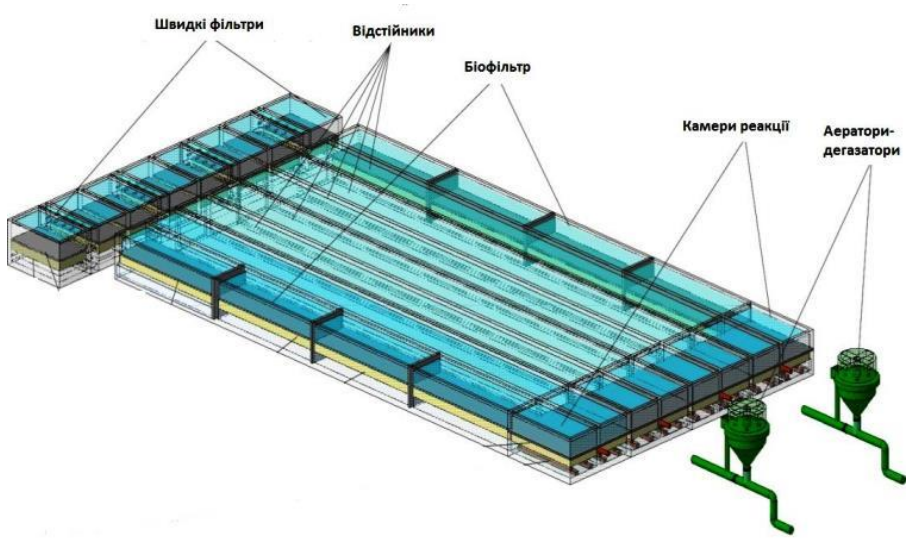


Рисунок 1.1 – Технологія очищення природних вод

Сучасні технологічні рішення забезпечують ефективне очищення поверхневих вод, насамперед від органічних забруднень, а підземних – від складних багатокомпонентних домішок, завдяки застосуванню модифікованих фільтрувальних матеріалів. За даними [17] ці технології впроваджено при проєктуванні нових та модернізації існуючих станцій водопідготовки:

- на чотирьох групових водопроводах південно-східного регіону України: Кілійському, Іванівському, Софіївському та Єланецькому;
- у локальних системах сільськогосподарського водопостачання в Одеській, Київській, Житомирській та інших областях;
- на 38 підприємствах агропромислового комплексу для очищення стічних вод.

Методи механічного очищення інтенсифікують шляхом застосування коагулянтів. Найбільш розповсюдженим серед яких є сульфат алюмінію. Цей реагент містить лише 15% Al_2O_3, що свідчить про невисоку концентрацію активного компонента. Його головними перевагами є доступність і помірна вартість. Водночас до недоліків можна віднести невисоку ефективність, особливо

за низьких температур води, а також ймовірність підкислення води з малою лужністю через гідроліз коагулянту. У результаті експериментальних досліджень [18] встановлено ефективність очищення води за допомогою природного коагулянту з насіння *Moringa oleifera* та синтетичного коагулянту, отриманого зі шламу глиноземного виробництва. Також доведено можливість безреагентного очищення багатокомпонентних підземних вод шляхом інтенсифікованих природніх процесів [19]

Для знезараження води було запущено установку для виробництва гіпохлориту натрію, який є ефективною альтернативою рідкому хлору [20]. Використання цього реагенту усуває ризик забруднення води в трубопроводах, оскільки він нетоксичний і не утворює небезпечних для здоров'я сполук. Гіпохлорит натрію отримують із звичайної кухонної солі, зберігаючи при цьому такі ж потужні дезінфекційні властивості, як і хлор.

На окремих підприємствах впроваджуються сучасні технології видалення азоту та фосфору, а також ультрафіолетового знезараження, що дозволяє ефективно очищувати воду без значних додаткових витрат і скорочувати площі, необхідні для очисних споруд. Крім того, застосування біомембранної технології з використанням мікрофільтраційних повноволокнистих мембран забезпечує високу якість очищення води, одночасно зменшуючи обсяг та площу очисних споруд.

За даними [21] оновлені технології очищення води активно розвиваються у США, орієнтуючись на підвищення ефективності, екологічності та доступності водоочищення. Ось деякі з ключових інновацій у цій сфері:

- модульні системи очищення – американська компанія 4Earth створила компактні системи водоочищення, що використовують керамічні ультрафільтраційні мембрани з оксиду алюмінію або карбіду кремнію. Завдяки легкій транспортуваності, простоті встановлення та використанню штучного

інтелекту для аналізу даних, ці системи зменшують енергоспоживання та експлуатаційні витрати.

- біологічні методи ремедіації – застосування природних процесів, таких як використання рослин, мікроорганізмів і природних біохімічних реакцій, дозволяє ефективно видаляти пестициди, промислові хімікати та інші забруднювачі. Це екологічно безпечна альтернатива традиційним методам очищення, яка скорочує використання хімічних реагентів і енергії.

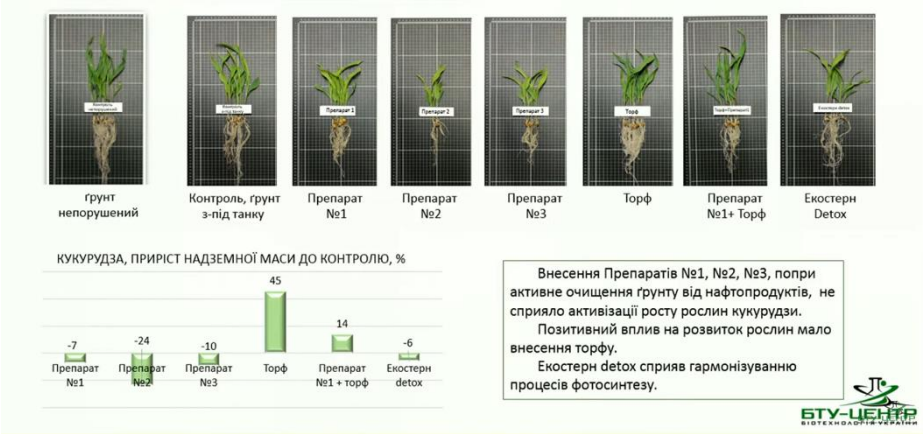


Рисунок 1.2 – Застосування методів біоремедіації

- нанофільтраційні технології – сучасні мембранні системи поєднують можливості зворотного осмосу та ультрафільтрації, ефективно видаляючи розчинені солі, органічні сполуки та мікрозабруднювачі. Водночас ці мембрани зберігають корисні мінерали у воді, що робить їх оптимальним рішенням для питного водопостачання.

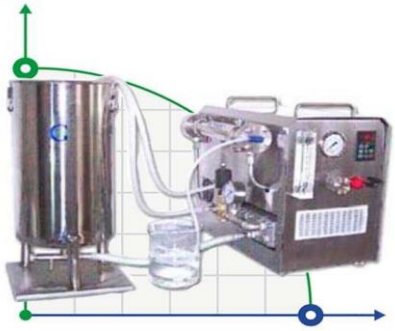


Рисунок 1.3 – RNF-1812 нанофільтраційна пілотна установка з спіральними мембранами

акустичні нанотрубки – розробка NASA, яка використовує звукові хвилі для переміщення води через вуглецеві нанотрубки. Ця технологія дозволяє ефективно відфільтровувати великі молекули, використовуючи значно менше енергії, ніж традиційні методи очищення, та не потребує частого промивання.

- фотокаталітичне знезараження – метод, що використовує ультрафіолетове випромінювання та спеціальні фотокаталізатори для розщеплення токсичних речовин у воді. Наприклад, компанія *Panasonic* розробила технологію, яка поєднує діоксид титану з адсорбентами та каталізаторами, ефективно усуваючи шкідливі домішки.



Рисунок 1.4 – Ультрафіолетова фотокаталітична установка

Ці передові рішення спрямовані на розв’язання глобальних проблем водопостачання, забезпечуючи доступ до чистої питної води, підвищуючи стійкість водних систем і знижуючи екологічний вплив процесів очищення. Впровадження таких технологій не лише покращує якість води, а й підвищує

енергоефективність та зменшує витрати на водоочищення, що сприяє сталому управлінню водними ресурсами.

Як зазначено у [22], штучний інтелект (ШІ) відіграє все важливішу роль у вдосконаленні процесів очищення води. Завдяки технологіям ШІ, стає можливим здійснення прогнозування та моніторингу в реальному часі, що суттєво підвищує ефективність водоочищення. Наприклад, деякі фармацевтичні компанії активно використовують ШІ для автоматичного налаштування параметрів очищення, що дозволяє забезпечити стабільну якість води, навіть при коливаннях характеристик вхідної води. Це застосування штучного інтелекту не лише зменшує ризики помилок, але й значно оптимізує витрати на експлуатацію систем.

Згідно з Законом України «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення», підприємства зобов'язані впроваджувати інновації у сфері водопостачання та водовідведення. Серед цих вимог – використання сучасних технологій для виробництва питної води, водовідведення та очищення стічних вод, застосування ресурсозберігаючих технологій та обладнання, повторне використання очищених стічних вод і осаду, а також впровадження заходів для обробки та утилізації осаду стічних вод [23]. Додатково, згідно з Правилами технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України [24], передбачено технічне переоснащення та заміну застарілого обладнання, а також підвищення надійності систем водопостачання через застосування енергозберігаючих технологій та сучасного обладнання для очищення води.

Таким чином, інноваційні енергоощадні та ресурсоощадні перетворення у сфері водопостачання та водовідведення є ключовим фактором, що сприяє підвищенню ефективності роботи підприємств, покращенню якості послуг та розвитку екологічних і соціальних стандартів. Однак новітні технології самі по

собі не можуть забезпечити повне реформування цієї галузі. Вони мають бути частиною загальної державної політики та системи регулювання, яка вирішує комплексні питання – від управління водними ресурсами до підготовки кваліфікованих кадрів. Європейський досвід підтверджує, що ефективне державне регулювання у сфері водопостачання та водовідведення сприяє розвитку інноваційних рішень, незалежно від обраної моделі управління та регулювання. Найважливіше — це правильно визначити сфери державного регулювання, яке повинно бути спрямоване на захист прав споживачів та забезпечення стійкості водних систем.

Задачі кваліфікаційної роботи**:**

- аналіз можливостей впровадження сучасних ресурсоощадних технологій для очищення природних вод;
- розробка ефективної системи водоочищення, призначеної для забезпечення господарсько-питних потреб згідно з заданими умовами;
- виконання технічних розрахунків і розробка конструктивних рішень для очисних споруд;
- формування ресурсоощадного підходу до водоочищення з урахуванням необхідності модернізації існуючих систем та удосконалення технологічного процесу;
- оцінка екологічної доцільності й безпечності запропонованих рішень.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК СПОЖИВАННЯ ВОДИ

2.1. Аналіз господарсько-питних потреб у воді

Перший район міста має забудову п’ятиповерховими будинками, другий – триповерховими будинками, третій - дев’ятиповерховими будинками. Загальна площа першого району дорівнює 107 га. Щільність населення в цьому районі – 240 чол/га. Загальна площа другого району – 133 га, щільність населення – 180 чол/га. Загальна площа третього району – 82 га, щільність населення – 380 чол/га. Ступінь благоустрою будинків першого та другого районів: внутрішній водопровід, каналізація і ванни з місцевими водонагрівачами; ступінь благоустрою третього району: внутрішній водопровід, каналізація і централізоване гаряче водопостачання. Загальна кількість працюючих на першому підприємстві становить 1150 чол., на другому – 1900 чол.

Визначено кількість населення в кожному районі міста:

$$N_i = P_i \times F_i \ , \qquad (2.1)$$

де P_i – щільність населення, люд./га; F_i – площа і-го району міста, га ($S_1 = 107$ га; $S_2 = 133$ га; $S_3 = 82$ га).

$$N_1 = 240 \times 107 = 25668 чол; \quad N_2 = 180 \times 133 = 23909 чол.$$

$$N_3 = 380 \times 82 = 31001 чол.$$

Визначення розрахункового добового водоспоживання міста

Витрати води на господарсько-питні потреби міста, поливку вулиць та зелених насаджень визначено окремо для кожного району.

Середньодобова витрата води і-го району, $м^3 / доб$:

$$Q_{доб.i} = \frac{N_i \times q_i}{1000}, \qquad (2.2)$$

Таблиця 1.1 – Характеристика промислових підприємств

№ підприємства	Зміна	Кількість працюючих по змінам	Кількість працюючих в гарячих цехах, %	Характеристика технологічного процесу	Кількість продукції, од./доб	Об'єм найбільшої споруди,	Ступінь вогнестійкості конструкції
П.п №1	08.00-16.00	600	20	1а, 2в	2880	18	II кат. Д
	16.00-24.00	550					
П.п №2	08.00-16.00	900	40	1а, 2в	13500	10	I кат. А
	16.00-24.00	600					
	24.00-08.00	400					

де q_i – питоме господарсько-питне водоспоживання на одного мешканця, л/доб.

$$Q_{доб.1} = \frac{25668 \times 200}{1000} = 5133{,}6 м^3 / доб;$$

$$Q_{доб.2} = \frac{23909 \times 200}{1000} = 4781{,}8 м^3 / доб.$$

$$Q_{доб.3} = \frac{31001 \times 300}{1000} = 9300{,}3 м^3 / доб.$$

Розрахункові витрати води для окремих районів в добу найбільшого та найменшого водоспоживання:

$$Q_{доб.макс i} = K_{доб.макс i} \times Q_{доб.i}; \quad (2.3)$$

$$Q_{доб.мін i} = K_{доб.мін i} \times Q_{доб.i}; \quad (2.4)$$

де $K_{доб.мін і}, K_{доб.м аксі}$ – відповідно мінімальний та максимальний коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання і-го району міста.

Розрахунки зведено у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Добові витрати води на господарсько-питні потреби населення

Район міста	Ккількість мешкан-ців,люд.	Питоме середньодобове водоспожива- ння, л/(доб×люд)	Коефіцієнт добової нерівномірності		Добові витрати води, м^3		
			K_{max}	K_{min}	Q_i	$Q_{max.i}$	$Q_{min.i}$
1	25668	200	1,2	0,8	5133,6	6160,3	4106,8
2	23909	200	1,2	0,8	4781,8	5738,1	3825,4
3	31001	300	1,2	0,8	9300,3	11160	7440,2
Разом	80578				1921,5	23058	15372

2.2. Оцінка водоспоживання для поливу

Добову витрату води на поливку вулиць та зелених насаджень визначено за питомими витратами води на одного мешканця, яку поливають. З загальної витрати води на поливку 40% використовують двірники, 60%-поливні машини. Розрахунки водоспоживання на поливку вулиць та зелених насаджень зведено у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Добові витрати води на полив

Район міста	Розрахункова кількість мешканців, люд.	Питома витрата на полив, л/(доб. люд.)	Добова витрата води на поливання, м^3/доб		
			Всього	двірни-ками	поливальними машинами
1	25668	70	1797	719	1078
2	23909	70	1674	670	1004
3	31001	70	2170	868	1302
Всього по місту	80578		5641	2257	3384

2.3 Розрахунок витрат води на промисловому підприємстві

Витрати води на промислових підприємствах складаються з витрат на господарсько-питні потреби робітників, прийняття душа та виробничі потреби.

Витрату води на господарсько-питні потреби робітників, зайнятих на виробництві, визначено для кожної зміни, виходячи з кількості працюючих та питомої витрати води на одного працюючого.

Загальну кількість працюючих за видами цехів (гарячі та холодні) розподілено на підставі відсотка працюючих в гарячих цехах. Питоме водоспоживання для цехів з тепловиділенням більше ніж 80 кДж приймається на одну людину 45 л/зміну, для холодних цехів – 25 л/зміну.

Розрахунки по визначенню витрати води на господарсько-питні потреби робітників, зайнятих на виробництві, зведено у таблицю 2.3.

Витрата води на користування душем на промислових підприємствах:

$$Q = 0{,}5 \times \frac{\sum N_i}{n_i}, \qquad (2.5)$$

де 0,5- годинна витрата води на одну душову сітку, $м^3$;

N_i - кількість робочих в цехах з і-ю санітарною характеристикою виробничого процесу;

n_i - розрахункова кількість людей на одну душову сітку для і-ї санітарної характеристики виробничого процесу.

Визначаючи витрату води за формулою (2.4), розрахункову кількість робочих N_i прийнято рівною загальній кількості робочих, зайнятих в і-му процесі. Та обставина, що не всі працюючі користуються душем, враховується зміненням значення n_i.

Санітарну характеристику виробничого процесу прийнято для 1-го підприємства : гарячі цеха 2в, холодні – 1а; для 2- го підприємства: гарячі цеха – 2в, холодні цеха – 1а.

Таблиця 2.3 – Витрата води на господарсько-питні потреби робітників промислових підприємств.

Найменування підприємства	Зміна	Кількість робочих N, люд.	Гарячі цеха			Холодні цеха			Загальна витрата Q, м^3
			Кількість робочих в	Питома витрата на 1 люд. л/зміну	Витрата води в гарячих цехах	Кількість робочих в холодних цехах	Питома витрата на 1 люд. л/зміну	Витрата води в холодних цехах	
Підприємство №1	1	600	120	45	5,4	480	25	12	17,4
	2	550	110		4,95	440		11	15,95
Всього		1150	230		10,4	920		23	33,35
Підприємство №2	1	900	360	45	16,2	540	25	13,5	29,7
	2	600	240		10,8	360		9	19,8
	3	400	160		7,2	240		6	13,2
Всього		1900	760		34,2	1140		28,5	62,7
Разом по підприємствах		3050	990		44,6	2060		51,5	96,05

Розрахунки по визначенню витрат води на користування душем зведено в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Витрата води на використання душа на промислових підприємствах

Найменування підприємства	Кількість робочих по змінах			Група виробничого процесу	Кількість людей на одну сітку	Кількість робочих душових сіток по змінах			Витрата води по змінах, м^3		
	1	2	3			1	2	3	1	2	3
Підприємство №1											
Гарячі цеха	120	110		2в	5	24	22		12	11	
Холодні цеха	480	440		1а	15	32	30		16	15	
Всього	600	550				56	52		28	26	
Підприємство №2											
Гарячі цеха	360	240	160	2в	5	72	48	32	36	24	16
Холдні цеха	540	360	240	1а	15	36	24	16	18	12	8
Всього	900	600	400			108	72	48	54	36	24
Разом	1500	1150	400			164	124	48	82	62	24

Таблиця 2.5 – Господарсько-питні потреби міста. Витрати води на поливку вулиць і зелених насаджень

Години доби	Господарсько-потреби						Поливка вулиць і зелених насаджень					
	1 район		2 район		3 район		1 район		2 район		3 район	
	% $Q_{доб.}$	$м^3$	% $Q_{доб.}$	$м^3$	% $Q_{доб.}$	$м^3$	Двірними, $м^3$	Машинами, $м^3$	Двірними, $м^3$	Машинами, $м^3$	Двірними, $м^3$	Машинами, $м^3$
0…1	2	123	2	115	2,5	279						
1…2	2,1	130	2,1	120	2,65	296						
2…3	1,85	114	1,85	106	2,2	246						
3…4	1,9	117	1,9	109	2,25	251						
4…5	2,85	176	2,85	164	3,2	357	90		84		108	
5…6	3,7	228	3,7	212	3,9	435	90		84		109	
6…7	4,5	277	4,5	258	4,5	502	90	77	84	72	108	93
7…8	5,3	326	5,3	304	5,1	569	89	77	83	71	109	93
8…9	5,8	357	5,8	333	5,35	597		77		72		93
9…10	6,05	373	6,05	347	5,85	653		77		71		93
10…11	5,8	357	5,8	333	5,35	597		77		72		93
11…12	5,7	351	5,7	327	5,25	586		77		72		93
12…13	4,8	296	4,8	276	4,6	513		77		72		93
13…14	4,7	290	4,7	270	4,4	491		77		72		93
14…15	5,05	311	5,05	290	4,6	513		77		72		93
15…16	5,3	326	5,3	304	4,6	513	90	77	84	72	108	93
16…17	5,45	336	5,45	313	4,9	547	90	77	84	71	109	93
17…18	5,05	311	5,05	290	4,8	536	90	77	84	72	108	93
18…19	4,85	299	4,85	278	4,7	525	90	77	83	71	109	93
19…20	4,5	277	4,5	258	4,5	502		77		72		93
20…21	4,2	258	4,2	241	4,4	491						
21…22	3,6	222	3,6	206	4,2	469						
22…23	2,85	176	2,85	164	3,6	402						
23…24	2,1	130	2,1	120	2,6	290						
Всього	100	6161	100	5738	100	11160	719	1078	670	1004	868	1302

продовження таблиці 2.6

Години доби	Витрати промпідприємства №1						Витрати промпідприємства №2						Сумарне водоспожи-вання	
	Господарсько-питні потреби				На душ, $м^3$	Вироб-ничі, $м^3$	Господарсько-питні потреби				На душ, $м^3$	Вироб-ничі, $м^3$		
	гарячі цехи		холодні цехи				гарячі цехи		холодні цехи					
	% $Q_{доб}$	$м^3$	% $Q_{доб}$	$м^3$			% $Q_{доб}$	$м^3$	% $Q_{доб}$	$м^3$			$м^3$	% $Q_{доб}$
0…1							15,65	1,81	18,75	1,78	36	562,5	1119,15	2,5
1…2							12,05	1,37	6,25	0,59		562,5	1110,55	2,45
2…3							12,05	1,37	12,5	1,19		562,5	1031,07	2,27
3…4							12,05	1,37	12,5	1,19		562,5	1042,13	2,3
4…5							12,05	1,37	18,75	1,78		562,5	1544,65	3,4
5…6							12,05	1,37	6,25	0,59		562,5	1722,45	3,8
6…7							12,05	1,37	12,5	1,19		562,5	2126,05	4,7
7…8							12,05	1,37	12,5	1,19		562,5	2286,05	5,04
8…9	15,65	0,81	18,75	2,15	26	180	15,65	1,81	18,75	1,78	24	562,5	2328,05	5,17
9…10	12,05	0,63	6,25	0,72		180	12,05	1,37	6,25	0,59		562,5	2359,85	5,2
10…11	12,05	0,62	12,5	1,44		180	12,05	1,37	12,5	1,19		562,5	2276,15	5,02
11…12	12,05	0,63	12,5	1,44		180	12,05	1,37	12,5	1,19		562,5	2253,15	4,97
12…13	12,05	0,62	18,75	2,15		180	12,05	1,37	18,75	1,78		562,5	2075,35	4,58
13…14	12,05	0,63	6,25	0,72		180	12,05	1,37	6,25	0,59		562,5	2038,75	4,5
14…15	12,05	0,62	12,5	1,44		180	12,05	1,37	12,5	1,19		562,5	2103,15	4,64
15…16	12,05	0,63	12,5	1,44		180	12,05	1,37	12,5	1,19		562,5	2414,15	5,32
16…17	15,65	0,81	18,75	2,15	28	180	15,65	1,81	18,75	1,78	54	562,5	2551,05	5,56
17…18	12,05	0,62	6,25	0,72		180	12,05	1,37	6,25	0,59		562,5	2406,75	5,3
18…19	12,05	0,63	12,5	1,44		180	12,05	1,37	12,5	1,19		562,5	2372,15	5,23
19…20	12,05	0,63	12,5	1,44		180	12,05	1,37	12,5	1,19		562,5	2026,05	4,47
20…21	12,05	0,63	18,75	2,15		180	12,05	1,37	18,75	1,78		562,5	1738,35	3,83
21…22	12,05	0,63	6,25	0,72		180	12,05	1,37	6,25	0,59		562,5	1642,75	3,62
22…23	12,05	0,63	12,5	1,44		180	12,05	1,37	12,5	1,19		562,5	1489,15	3,28
23…24	12,05	0,63	12,5	1,44		180	12,05	1,37	12,5	1,19		562,5	1287,15	2,85
Всього	200	10,4	200	23	54	2880	300	34,2	300	28,5	114	13500	45344,1	100

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ОЧИСНИХ СПОРУД

3.1. Визначення розрахункової продуктивності станції

Враховуючи витрату на особисті потреби водоочисної станції, розрахункова витрата визначена за формулою:

$$Q_{розр} = \alpha \times Q_n, \quad (3.1)$$

де Q_n – добова витрата води в населеному пункті за табл.2.6;

α - коефіцієнт, прийнято за [25, п.6.2.1], α = 1,04.

$$Q_{розр} = 1,04 \times 45344,1 = 47158 \text{ м}^3\text{/ доб} = 1965 \text{ м}^3\text{/год}.$$

3.2 Обгрунтування методу обробки води

За вихідними параметрами: продуктивністю Q =45344,1 м^3 /доб, якістю води в джерелі водопостачання: каламутністю М=340 мг/л, кольоровістю Ц =75 град за [25, п.10.2.2, табл.16] прийнято технологічну схему очищення води з горизонтальними відстійниками та швидкими фільтрами.

Оскільки ця схема розрахована на велику продуктивність та очистку каламутних вод.

3.3 Розрахунок конструктивних параметрів змішувачів

Відповідно до технології очищення прийнято змішувачі вертикального (вихрового) типу, які функціонують за принципом турбулізації потоку рідини шляхом значного зменшення живого перетину та швидкості потоку у кількості трьох (рис.3.1).

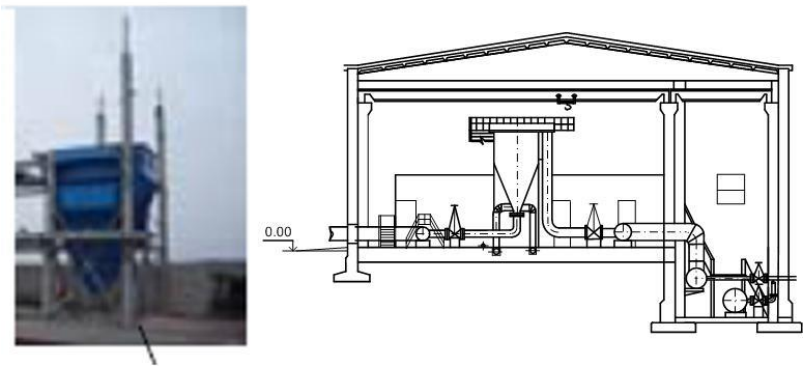


Рисунок 3.1– Вертикальний змішувач

Витрата води, яка надходить на один змішувач:

$$q_{зм} = \frac{Q_{год}}{N}, \tag{3.2}$$

де N – кількість змішувачів.

$$q_{зм} = \frac{1965}{3} = 655 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Площа горизонтального перетину верхньої частини змішувача:

$$f_в = \frac{q_{зм}}{V_в}, \tag{3.3}$$

де $V_в$ – швидкість потоку в верхній частині, $V_в$ = 95 м/год.

$$f_в = \frac{655}{95} = 6{,}9 \text{ м}^2.$$

Верхня частина змішувача квадратна, тоді сторона її буде 2,6 м. Трубопровід, яким подається вода в нижню частину споруди зі швидкістю $V_н$ = 1,2…1,5 м/с, має наступний діаметр:

$$Q = F \times V \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times F}{\pi}}, \tag{3.4}$$

$$Q_{сек} = \frac{Q_{год}^{зм}}{3600} = \frac{655}{3600} = 0{,}18 \text{ м}^3/\text{с} = 180 \text{ л/с.};\ V_н = 1{,}42 \text{ м/с};\ F = \frac{Q}{V_н} = 0{,}127 \text{ м}^2.$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0{,}127}{3{,}14}} = 0{,}40 м = 400 \text{ мм}.$$

Площа нижньої частини

$$f_н = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}40^2}{4} = 0{,}13 \text{ м}^2.$$

Прийнято кут $\alpha = 40^\circ$.

Висота нижньої пірамідальної частини змішувача:

$$h_н = 0{,}5 \times (в_в - в_н) \times ctg\frac{\alpha}{2}, \tag{3.5}$$

де $в_н$ – розмір нижньої сторони змішувача, $в_н$ = 0,426 м;

$в_в$ – розмір сторони верхньої частини, $в_в$ = 2,6 м.

$$h_н = 0{,}5 \times (2{,}6 - 0{,}426) \times ctg\frac{40}{2} = 3{,}0 \text{ м.}$$

Об'єм пірамідальної частини споруди:

$$W_н = \frac{1}{3} \times h_н \times \left(f_в - f_н + \sqrt{f_в \times f_н}\right), \quad (3.6)$$

$$W_н = \frac{1}{3} \times 3{,}0 \times \left(6{,}9 - 0{,}13 + \sqrt{0{,}13 \times 6{,}9}\right) = 7{,}7 \text{ м}^3.$$

Повний об'єм змішувача визначається за фрмулою:

$$W = \frac{q_{зм} \times t}{60}, \quad (3.7)$$

де t – тривалість перебування води в змішувачі, t=1…2 хв.;

$$W = \frac{655 \times 1{,}5}{60} = 16{,}4 \text{ м}^3.$$

Об'єм верхньої частини змішувача:

$$W_в = W - W_н = 16{,}4 - 7{,}7 = 8{,}7 \text{ м}^3. \quad (3.8)$$

Висота верхньої частини:

$$h_в = \frac{W_в}{f_в}, \quad (3.9)$$

$$h_в = \frac{8{,}7}{6{,}9} = 1{,}26 \text{ м.}$$

Загальна висота змішувача:

$$h = h_н + h_в + h_{буд}, \quad (3.10)$$

де $h_{буд}$ – будівельна висота, $h_{буд}$= 0,3 м.

$$h = 3{,}0 + 1{,}26 + 0{,}3 = 4{,}56 \text{ м.}$$

Збір води з верхньої частини змішувача здійснюється лотком через затоплені отвори, швидкість потоку в них становить $V_п$= 0,6 м/с. Вода поділяється на два потоки:

$$q_п = \frac{q_{см}}{2}, \quad (3.11)$$

$$q_п = \frac{655}{2} = 327{,}5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Площа живого перетину в кінці збірного лотка:

$$\omega_n = \frac{q_n}{V_n \times 3600}, \quad (3.12)$$

$$\omega_n = \frac{327,5}{0,6 \times 3600} = 0,15 \text{ м}^2.$$

Ширина лотка квадратного перетину:

$$в_л = \sqrt{\omega_n}, \quad (3.13)$$

$$в_л = \sqrt{0,15} = 0,387 м.$$

Розрахункова висота шару води в лотку:

$$h_л = \frac{\omega_л}{в_л}, \quad (3.14)$$

$$h_л = \frac{0,15}{0,387} = 0,387 м.$$

Ухил лотка прийнято 0,02. Визначено площу всіх затоплених створів в стінах :

$$F_0 = \frac{q_0}{V_0 \times 3600}, \quad (3.15)$$

де V_0 – швидкість руху води в отворах лотка, V_0=1 м/с.

$$F_0 = \frac{655}{1 \times 3600} = 0,18 \ м^2.$$

Прийнято отвори діаметром 80 мм з площею 0,00503 м^2. Отвори розміщують по бічній поверхні лотка на глибині 110 мм від верхньої кромки до вісі створів.

Кількість отворів :

$$n_0 = \frac{F_0}{f_0}, \quad (3.16)$$

$$n_0 = \frac{0,18}{0,00503} = 36 шт.$$

Внутрішній периметр лотка:

$$P_л = 4 \times (в_в - 2 \times (в_л + 0,06)), \quad (3.17)$$

$$P_л = 4 \times (2{,}6 - 2 \times (0{,}387 + 0{,}06)) = 6{,}8м = 6800 \ мм.$$

Крок вісі отворів:

$$l_0 = P_л / n_0, \tag{3.18}$$

$$l_0 = 6800 / 36 = 189 \ мм.$$

Відстань між отворами:

$$l_0 - d_0 = 189 - 80 = 109 \text{ мм}.$$

Зі збірного лотка вода надходить в боковий карман розміром 2,6×0,8 м Діаметр відвідної труби:

q = 655 м^3/год. = 180 л/с.; V =0,91 м/с.; $\Rightarrow$ D =500 мм.

3.4 Оптимізація відстоювання

3.4.1 Проєктування горизонтального відстійника

Відповідно до рекомендацій [25, табл.16] прийнято горизонтальний відстійник прямокутної форми в плані (рис.3.2), який поділяється на зони осадження речовин та зону накопичення та ущільнення осаду.

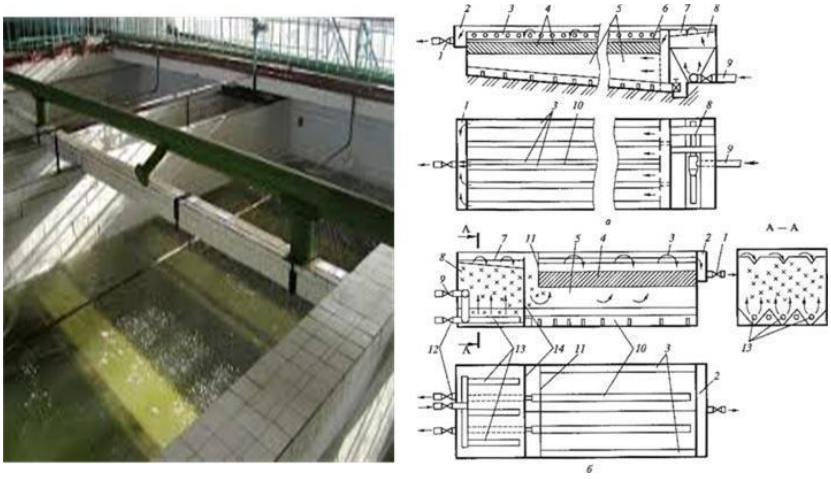
Визначено площу відстійника в плані:

$$F = \frac{\alpha_{об} \times q}{3.6 \times u_0}, \tag{3.19}$$

де $\alpha_{об}$ – коефіцієнт об'ємного використання відстійника приймається 1,3 по [25, п.6.67];

u_0 – швидкість випадіння завислих речовин, мм/с [25, табл.18], для середньо каламутних вод u_0= 0,5 мм/с.

$$F = \frac{1{,}3 \times 1965}{3{,}6 \times 0{,}5} = 1420 \text{ м}^2.$$



1,9 – відведення та подача води; *2* – водозбірний карман; *3* – лотки для збору освітленої води; *4* – тонкошарові блоки; 5 – зона освітлення води; *6* – дірчаста перегородка; *7* – лотки для збору та відведення води; *8* – камера пластівцеутворення; *10* – перфоровані короби для осаду; *11* – перегородка; *12* – видалення осаду; *13* – перфоровані водорозподільні труби; *14* – затоплений водозлив

Рисунок 3.2 – Горизонтальний відстійник

Довжина відстійника

$$L = \frac{H_{ср} \times V_{ср}}{u_0}, \qquad (3.20)$$

де $H_{ср}$ – середня висота зони осадження, прийнято рівною 3,0 м;

$V_{ср}$ – розрахункова швидкість горизонтального руху води на початку відстійника, для вод середньої каламутності $V_{ср}$= 7…10 мм/с по [25, п. 6.68].

$$L = \frac{3 \times 7}{0{,}5} = 42 \text{ м.}$$

Прийнято довжину відстійника 45 м, ширина відстійника 6 м. Площа одного відстійника:

$$F_1 = 6 \times 45 = 270 \text{ м}^2.$$

Кількість відстійників:

$$n = F / F_1 = 1420 / 270 = 6 \text{ шт.}$$

Відстійник будується зі збірних залізобетонних панелей довжиною 3 м.

Осад з відстійника видаляється гідравлічним способом, об'єм зони накопичення і ущільнення осаду визначається за формулою:

$$W_{ос} = \frac{24 \times Q_{год} \times (C_{з.р.} - C_{кін}) \times T}{N_р \times \delta}, \quad (3.21)$$

де $C_{з.р.}$ – концентрація завислих речовин у воді, що надходить у відстійник ;

$$C_{з.р} = M + K_к \times D_к + 0{,}25K + B_в, \quad (3.22)$$

де M – кількість завислих речовин у воді, по завданню 340 мг/л;

$K_к$ – коефіцієнт рівний 0,5;

$D_к$ – доза коагулянту по безводному продукту, $D_к$ = 45 мг/л;

K – кольоровість води, що обробляється, по завданню 75 град.

$B_в$ – кількість нерозчинених речовин, введених з вапном. Так як вода стабільна то воду вапном не обробляють, тоді $B_в$=0;

$$C_{з.р} = 340 + 0{,}5 \times 45 + 0{,}25 \times 75 + 0 = 381{,}25 \text{ мг/л.}$$

$C_{кін}$ – каламутність води яка виходить із відстійника, приймається 8÷15 г/м^3, по [25, п.6.64];

$N_р$ – кількість відстійників, $N_р$ = 6 шт.;

δ – середня по всій висоті осадочної частини концентрація твердої фази, г/м^3, δ=35000 г/м^3. Тоді:

$$W_{ос} = \frac{24 \times 1965 \times (381{,}25 - 10) \times 3}{6 \times 35000} = 250{,}12 \text{ м}^3.$$

Середня висота зони накопичення в відстійнику:

$$H_{ос} = \frac{W_{ос}}{F_1}, \quad (3.23)$$

$$H_{ос} = \frac{250{,}12}{270} = 0{,}93 \text{ м.}$$

Максимальна глибина відстійника:

$$H_{відст} = H_{ср.о} + H_{ос} + h_{буд} + il, \quad (3.24)$$

де $H_{ср.о}$ – середня висота зони осадження;

$h_{буд}$ – перевищення висоти відстійника над розрахунковим рівнем води, $h_{буд}$ = 0,5;

$H_{ос}$ = 0,25 м;

i – ухил дна відстійника, i = 0,005;

$$H_{відст} = 3{,}5 + 0{,}93 + 0{,}5 + 0{,}005 \times 45 = 5{,}2 \text{ м.}$$

Розрахунок систем видалення осаду

Витрата одного каналу:

$$q_{кл} = \mu \times \omega_{кл} \times \sqrt{2 \times g \times H_{ср.в}}\ , \qquad (3.25)$$

де μ = 0,6÷0,7;

Середній напір над каналом:

$$H_{ср.в} = H_{ср} - h_{буд} = 4{,}5 - 0{,}5 = 4 \text{ м.}$$

Тоді за формулою (3.25) :

$$q_{кл} = 0{,}0314 \times 0{,}6 \times \sqrt{2 \times 9{,}81 \times 4} = 0{,}167 \text{ м}^3/\text{с} = 167 \text{ л/с.}$$

Прийнято квадратний перетин каналу. Швидкість руху осаду по ньому $V_{ос}$ = 1 м/с. Площа перетину каналу:

$$\omega_{кан} = \frac{q_{кл}}{V_{ос}}\ . \qquad (3.26)$$

$$\omega_{кан} = \frac{0{,}167}{1} = 0{,}167 \text{ м}^2.$$

Ширина каналу:

$$B_{кан} = \sqrt{\omega_{кан}} = \sqrt{0{,}167} = 0{,}4 \text{ м.}$$

Діаметр скидаючого трубопроводу, який проходить через камеру пластівцеутворення, визначений по витраті одного каналу:

$q_{кл}$ = 167 л/с; V = 0,98 м/с; D = 450 мм; 1000i = 2,85.

Розрахунок системи видалення освітленої води

Збір і видалення освітленої води виконується за допомогою системи збірних труб. Питома витрата на 1 м: $q_{пит} = 5$ л/с. Знаючи витрату відстійника, можна знайти довжину розподільчої труби:

$$l = \frac{q_{отс}}{q_{пит}}, \quad (3.27)$$

де $q_{отс}$ – витрата відстійника, 90,97 л/с.

$$l = \frac{90,97}{5} = 18,19 \text{ м.}$$

Діаметр колектора в збірній системі визначено з урахуванням загальної витрати: $q_{кол} = 90,97$ л/с, D = 400 мм, V = 0,72 м/с, 1000i = 1,96.

Визначено довжину збірних труб:

$$l_{тр} = B - 0,1 - 0,1 - D_{кол}^{зав}, \quad (3.28)$$

де B = 6 м, ширина відстійника;

$D_{кол}^{зав} = 426$ мм;

0,1 – відстань від труби до стінки відстійника.

$$l_{тр} = 6 - 0,1 - 0,1 - 0,426 = 5,4 \text{ м.}$$

Кількість труб:

$$n = \frac{l}{l_{тр}} = \frac{18,19}{5,4} = 4 \text{ шт.}$$

Витрата однієї збірної труби:

$$q_{р.т.} = \frac{q_{кол}}{2 \times n}, \quad (3.29)$$

де $q_{кол}$ – витрата, яка проходить по колектору.

$$q_{р.т.} = \frac{90,97}{2 \times 4} = 11,37 \text{ л/с.}$$

Труби розміщують по обидві сторони від колектора. Визначено діаметр збірних труб: $q_{з.т.} = 11,37$ л/с, D = 150 мм, V = 0,59 м/с, 1000i = 4,3.

Відстань між осями збірних труб:

$$t_{0.} = \frac{2/3 \times L}{n}, \quad (3.30)$$

де L – довжина відстійника, $L = 45$ м.

$$t_{0.} = \frac{2/3 \times 45}{4} = 7{,}5 \text{ м.}$$

Діаметр збірного колектора за довжиною зменшується. Тому діаметр $D_{кол}$ визначено для витрати води: $q_1 = 6 \times 11{,}37 = 68{,}22$ л/с, D = 300 мм, V = 0,9 м/с, 1000i = 4,09. Колектори діаметром 300 і 400 мм з'єднуються переходом 300 × 400 довжиною 150 мм.

Прийнято діаметр отворів $d_{отв}$ = 25 мм. Швидкість втікання води крізь отвори 1 м/с. Площа одного отвору: $f_0 = \frac{\pi \times d^{2}_{отв}}{4} = \frac{3{,}14 \times 25^2}{4} = 490{,}6$ мм^2. Площа перетину труби: $F_0 = \frac{\pi \times D^2_{тр}}{4} = \frac{3{,}14 \times 125^2}{4} = 5887{,}2 мм^2$. Тоді кількість отворів на одній розподільчій трубі: $n_0 = \frac{F_0}{f_0} = \frac{5887{,}2}{490{,}6} = 12$ шт.

При діаметрі 300 мм, довжина колектора:

$$l_{тр} = l_k/3 - 0{,}35, \qquad (3.31)$$

де $l_k = 2/3 \times L_{відст} = 2/3 \times 45 = 30$ м.

$$l_{тр} = 15/3 - 0{,}35 = 9{,}65 \text{ м.}$$

При діаметрі 400 мм довжина розподільного колектора $l^{400}_{тр.} = l_k - l^{300}_{тр.} - 0{,}35 = 30 - 9{,}65 - 0{,}35 = 20$ м. Відстань між отворами на розподільному колекторі:

$$t_{0.} = \frac{2 \times l_{трю}}{n_0}, \qquad (3.32)$$

Для діаметрів 300 і 400 мм:

$$t_{0.} = \frac{2 \times 30}{12} = 5 \text{ м.}$$

3.4.2 Розрахунок камери пластівцеутворення

Місткість камери розраховується на час перебування в ній води 30 хвилин. Встановлені камери в передній частині горизонтальних відстійників.

Враховуючи, що горизонтальних відстійників – 6, то камер теж 6. Витрата води для однієї камери:

$$q_k = q/n, \tag{3.33}$$

$$q_k = 1965/6 = 327{,}5 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Об'єм однієї камери:

$$W_k = \frac{q_k \times t}{60}, \tag{3.34}$$

де t – час перебування води в камері, t = 30 хвилин.

$$W_k = \frac{327{,}5 \times 30}{60} = 163{,}75 \text{ м}^3.$$

Швидкість вихідного потоку в верхньому перетині камери V_k = 1,5 мм/с для середньокаламутних вод [25]. Висота камери:

$$H_k = \frac{V_k \times t \times 60}{1000}, \tag{3.35}$$

$$H_k = \frac{1{,}5 \times 30 \times 60}{1000} = 2{,}7 \text{ м}.$$

Прийнято глибину камери $H_k = 3$ м. Ширина камери приймається рівною ширині відстійника: $B_k = в$ = 6 м. Довжина визначається виходячи з об'єму:

$$L_k = \frac{W_k}{H_k \times B_k}, \tag{3.36}$$

$$L_k = \frac{163{,}75}{2{,}7 \times 6} = 10{,}11 \text{ м}.$$

Прийнято $L_k = 12$ м. Діаметр підводящого трубопроводу розподільчої системи визначено по витраті $q_k = 327{,}5 \text{ м}^3/\text{год} = 90{,}97$ л/с, D = 500 мм, V = 0,51 м/с, 1000i = 0,78. Розподіл води по площі камери передбачається за допомогою перфорованих труб з отворами, спрямованими вниз під кутом 45 град. Кількість розподільчих труб:

$$n_{тр} = \frac{B_k}{t_{тр}}, \tag{3.37}$$

де $t_{тр}$ – відстань між осями розподільчих труб, $t_{тр}$ = 2 м.

$$n_{тр} = \frac{6}{2} = 3.$$

Витрата в одній розподільній трубі:

$$q_{тр} = \frac{q_{кол}}{n_{тр}} = \frac{90,97}{3} = 30,32 \text{ л/с.}$$

Швидкість на початку розподільчих труб приймається: V = 0,5÷0,6 м/с[25], тоді $q_{тр} = 30,32$ л/с, D = 250 мм, V = 0,6 м/с, 1000i = 2,54.

Визначено кількість отворів і відстань між їх осями в розподільних трубах. Площа отворів приймається 30÷40 % площі перерізу розподільчої труби:

$$F_0 = 0,4 \times \frac{\pi \times D_{тр}^2}{4}, \quad (3.38)$$

$$F_0 = 0,4 \times \frac{3,14 \times 250^2}{4} = 19625 \text{ мм}^2.$$

Діаметр отворів повинен бути не менше 25 мм, тоді площа одного отвору:

$$f_0 = \frac{\pi \times d_0^2}{4} = 490,6 \text{ мм}^2.$$

Кількість отворів на одній розподільчій трубі:

$$n_0 = \frac{F_0}{f_0}, \quad (3.39)$$

$$n_0 = \frac{19625}{490,6} = 40.$$

Відстань між осями отворів визначено, якщо нам відома довжина розподільчої труби:

$$L_k = l_k - D_{кол}^{зав} - 0.2, \quad (3.40)$$

де l_k – довжина колектора, l_k = 12 м.

$$L_k = 12 - 0,426 - 0,2 = 11,374 \text{ м.}$$

Тоді відстань між осями:

$$l_0 = \frac{2 \times l_{тр}}{n_0}, \quad (3.41)$$

$$l_0 = \frac{2 \times 11{,}374}{40} = 0{,}6 \text{ м.}$$

Із камери пластівцеутворення воду в горизонтальні відстійники відводять через затоплений водозлив. Верх стінки водозливу розташовується нижче за рівень води на висоту:

$$h_в = \frac{q_k}{V_в \times B_k}, \quad (3.42)$$

де $V_в$ - швидкість руху води, $V_в = 0{,}05$ м/с [1];

$B_к$ - ширина камери, $B_к = 6$ м.

$$h_в = \frac{0{,}09097}{0{,}05 \times 6} = 0{,}3 \text{ м.}$$

За стінкою встановлюються підвісна перегородка, яка занурюється на 1/4 висоти відстійника. Швидкість руху води між стінкою і перегородкою необхідно прийняти не більше 0,03 м/с. Утрати напору в дірчатих розподільчих трубах визначена по формулі:

$$h = \xi \frac{V^2}{2 \times g}, \quad (3.43)$$

де V – швидкість руху води на початку дірчатої ділянки розподільчої труби, м/с;

ξ – коефіцієнт місцевих опорів:

$$\xi = \frac{2{,}2}{\omega^2} + 1, \quad (3.44)$$

де ω – відношення суми площі усіх отворів в трубі до площі поперечного перетину труби:

$$\omega = \frac{S_{отв}}{S_{тр}}, \quad (3.45)$$

$$S_{отв} = S_{отв}^{n_0} \times n_0, \quad (3.46)$$

$$S_{отв} = 0{,}000314 \times 40 = 0{,}01256 м^2.$$

$$S_{тр} = \frac{3{,}14 \times 0{,}20^2}{4} = 0{,}0314 \text{ м}^2; \ \omega = \frac{0{,}01256}{0{,}0314} = 0{,}4; \ \xi = \frac{2{,}2}{0{,}4^2} + 1 = 14{,}75;$$

$$h = 14{,}75 \times \frac{0{,}6^2}{2 \times 9{,}81} = 0{,}27 \text{ м}.$$

3.4.3 Визначення робчих параметрів для модернізованї конструкції відстійника

За результатами розрахунків робочі параметри горизонтального відстійника: довжина L =45 м, ширина B=6 м, робоча глибина H_p =3,0 м, швидкість руху води в горизонтальному напрямку $\boldsymbol{v}$ =7 мм/с, гідравлічна крупність речовин u=058÷0,63 мм/с. Для оптимізації відстоювання води застосовуються тонкошарові блоки висотою $h_n = H_p$ з пластинами, які з'єднані під кутом 60^0 до горизонту, висота непроточної частини $\boldsymbol{h_в}$ = 0,5 м. Відстань між пластинами $в_п$ = 0,04 м, виготовлені зі скла товщиною $\boldsymbol{в_1}$=0,004м. Відстані між пакетами і стінками $\boldsymbol{t}$ = 0.2 м.

Розрахункове навантаження на відстійник до його модернізації:

$$Q_{\text{від}} = F \times v, \qquad (3.47)$$

де F – площа поперечного перерізу.

$$Q_{\text{від}} = 3{,}0 \times 3 \times 0{,}007 \times 3600 = 226{,}8 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Встановлюються два пакета пластин загальною висотою h_n = 1,8 м, які мають кут нахилу 60^0 до горизонталі.

Загальна довжина L_n, яка відведена під встановлення пластин, визначається за формулою:

$$L_n = L - 2h_n \times tg30^0 - 2t. \qquad (3.48)$$

L_n =45-2×1,8×0,57735-2×0,2=42,52 приймається 45 м.

Пакетні блоки виготовлені з віконного скла товщиною $в_1 = 0{,}004$ м. Приймається відстань від верху пакета до верхньої кромки пластин становить $h_в = 0{,}5$ м. Довжина проточної частини в пластинах становить:

$$L_1 = (h_п - h_в)/\cos 3\,0^0. \quad (3.49)$$

$$L_1 = (1{,}8–0{,}5)/\cos 30^0 = 1{,}50 \text{ м}.$$

Кількість пакетів у відстійнику

$$n = L_n/(в_n + в_1). \quad (3.50)$$

$$n = 45/(0{,}04+0{,}0004) = 1023 \text{ шт}.$$

Тривалість відстоювання у пакеті визначається для теплого періоду

$$T = в_п \times 1000/(\sin 3\,0^0 \times u). \quad (3.51)$$

$$T = 0{,}04 \times 1000/(0{,}5 \times 0{,}58) = 138 \text{ с}.$$

Максимальна швидкість потоку в пакеті

$$v_{макс} = L_1/T. \quad (3.52)$$

$$v_{макс} = 1{,}50/138 = 0{,}011 \text{ м/с}.$$

3.4.4 Оцінка допустимого навантаження для модернізованого відстійника

Після модернізації визначається допустиме навантаження на відстійник за формулою

$$Q'_{від} = (3600 \times v_{макс}/k) \times 2 \times 0.755 \times n \times B \times в_п, \quad (3.53)$$

де k – коефіцієнт, $k = 1.5 \div 2.5$.

$$Q'_{від} = (3600 \times 0.011/1.7) \times 2 \times 0.755 \times 1064 \times 1{,}5 \times 0.04 =$$

$1633 м^3/год$ $Q'_{від} = (3600 \times 0{,}010/1.7) \times 2 \times 0{,}755 \times 1146 \times 1{,}5 \times 0{,}04 = 2198{,}7 м^3/год$

Зміна навантаження на відстійник визначена за формулою

$$\frac{Q'_{від}}{Q_{від}} = \frac{2159}{226{,}8} = 9{,}5.$$

В результаті модернізації відстійника шляхом встановлення тонкошарових блоків навантаження збільшується у 9,5 рази.

При постійному навантаженні можна підвищити ефективність очищення шляхом затримання дрібних частинок завислих речовин при зменшенні швидкості потоку в пакетах до величини

$$v_{\text{макс}} = Q_{\text{від}} \times 1000 \times 1.8/(2 \times 0.755 \times n \times B \times \text{в}_{\text{п}} \times 3600) \qquad (3.53)$$

$$v_{\text{макс}} = 226{,}8 \times 1000 \times 1{,}8/(2 \times 0{,}755 \times 1023 \times 1{,}5 \times 0{,}04 \times 3600) = 1{,}22 \text{ мм/с}.$$

Шляхом визначення числа Фруда перевіримо стійкість роботи відстійника:

$$F_r = v_{\text{макс}}^2/(g \times R) \geq 10^{-5}, \qquad (3.54)$$

де R – гідравлічний радіус, м.

$$R = \frac{B \times \text{в}_{\text{п}}}{2 \times (B + \text{в}_{\text{п}})}. \qquad (3.55)$$

$$R = (1{,}5 \times 0{,}04)/(2 \times (1{,}5 + 0{,}04) = 1{,}95 \times 10^{-2}$$

Тоді

$$Fr = 0.00122^2/(9.81 \times 1.95 \times 10^{-2}) = 0{,}88 \times 10^{-5}.$$

Отже, ефективність очищення забезпечується навіть при початковому навантаженні на відстійник.

3.5 Підвищення ефективності роботи швидких фільтрів

Відповідно до технології очищення [25] розраховуються швидкі одношарові фільтри з завантаженням із кварцового піску. Завантаженням фільтру є шар піску висотою 1300 мм, з крупністю зерен 0,7÷1,6 мм та еквівалентним діаметром 0,8÷1 мм. Коефіцієнт неоднорідності 1,3÷1,5. Загальна висота підтримуючих шарів гравію – 800 мм. Відповідно до [25, п.10.12.4] площа фільтрації визначена за формулою:

$$F_{\phi} = \frac{Q}{T_{см} \times V_{н} - n_{пр} \times q_{пр} - n_{пр} \times \tau_{пр} \times V_{н}}, \qquad (3.56)$$

де Q – корисна продуктивність станції, Q = 45344,1 м^3/доб.;

$T_{см}$ – тривалість роботи станції продовж доби, $T_{см}$ = 24 год.;

$V_н$ – розрахункова швидкість фільтрування $V_н$ = 7 м/год. [1, табл.19];

$n_{пр.}$ – кількість промивок при нормальному режимі експлуатації $n_{пр} = 2$.

$q_{пр}$ – питома витрата води на промивку одного фільтра:

$$q_{пр} = \frac{14 \times 300}{1000} = 4{,}2 м^3 / м^2$$

де 14 л/м^{2}с – інтенсивність промивки по [25, п.10.12.20].

300 с – тривалість промивки;

$\tau_{пр}$ – час простою фільтру під час промивию, $\tau_{пр}$ = 0,33 год.

$$F_ф = \frac{45344{,}1}{24 \times 7 - 2 \times 4{,}2 - 2 \times 0{,}33 \times 7} = 292{,}6 \text{ м}^2.$$

Кількість фільтрів:

$$N_ф = \frac{\sqrt{F_ф}}{2}, \qquad (3.57)$$

$$N_ф = \frac{\sqrt{292{,}6}}{2} = 8{,}55 \approx 9 \text{ шт.}$$

Швидкість при форсованому режимі або під час ремонтних робіт:

$$V_{ф.} = \frac{V_н \times N_ф}{N_ф - N_1}, \qquad (3.58)$$

де N_1 – кількість фільтрів, які знаходяться в ремонті, N_1=1 при $N_ф$ < 20;

$V_{ф.} = \frac{7 \times 9}{9 - 1} = 7{,}875$ м/год < 10 м/год, що задовольняє умову.

Площа однієї секції фільтру :

$$F_ф = \frac{F_ф}{N_Ф}, \qquad (3.59)$$

$$F_ф = \frac{292{,}6}{9} = 32{,}5 \text{ м}^2.$$

Прийнято $F_ф$ = 36 м^2 (6 × 6 м).

З метою підвищення ефективності роботи фільтрів рекомендується використовувати метод водно-повітряного промивання. Основні положення щодо його впровадження наведено у [25, пп. 10.12.20–10.12.22].

Водно-повітряне промивання особливо ефективне для фільтрів із кварцовим піском. Рекомендований режим включає попередню подачу повітря з інтенсивністю 15÷20 л/(с·м²) протягом 1÷2 хв, далі – сумісне промивання водою (3÷4 л/(с·м²)) та повітрям (15÷20 л/(с·м²)) впродовж 4÷5 хв, і завершальне водне промивання з інтенсивністю 6÷8 л/(с·м²), що триває 4÷5 хв. Для досягнення максимального ефекту фільтрації необхідно правильно підібрати швидкість потоку, яка буде відповідати фракції і товщині шару фільтрувального завантаження. Це здійснюється на стаціонарних грохотах, що мають обмежену продуктивність, особливо при вологості піску понад 4–6%, оскільки при такому рівні вологи ефективність просіювання на сітках із розміром отворів від 1 мм значно знижується. Схема дробильно-сортувального агрегату для виробництва керамзиту представлена на рис.3.3.

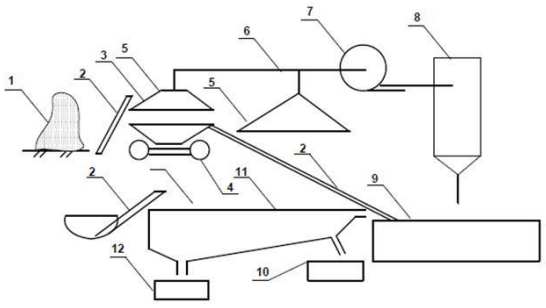
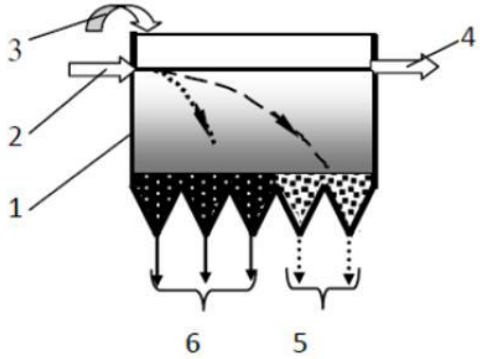


Рисунок 3.3 – Схема дробувально-сортувальної установки для фільтрувального матеріалу

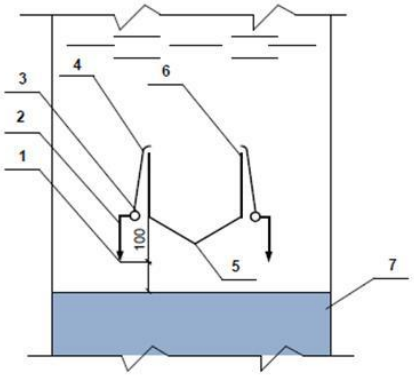
Такий процес здійснюється за допомогою гідрокласифікатора, що складається з горизонтального відстійника з комірчастим дном. Вода та пісок подаються з торця корпусу, перемішуються та транспортуються по довжині установки. Осідання піску відбувається залежно від розміру частинок, після чого осад видаляється ежектором, як показано на рис.3.4.



1- корпус; 2 – подача води; 3 – подача пульпи кварцового піску; 4 – відвід води з піском крупністю менше 0.5 мм; 5 – ежекторне відсмоктування піску крупністю 0,5-1,3 мм; 6 - ежекторне відсмоктування піску крупністю більше за 1.3 мм

Рисунок 3.4 – Принципова схема гідрокласифікатора

Для покращення очищення верхніх шарів засипки, не допускаючи зсуву гравійного шару, застосовується додаткове поверхневе промивання інтенсивністю 3÷4 л/(с·м²) при напорі 30÷40 мм (рис.3.5).



1- ковпачок; 2 – ніпель; 3 – розподільча труба; 4 – підвіски до жолобів; 5 – жолоб; 6 – стінка фільтру; 7 – фільтруюча засипка

Рисунок 3.5 – Стаціонарна система для верхнього промивання

У підсумку, підвищення ефективності фільтраційного процесу забезпечується завдяки впровадженню водно-повітряного промивання, попередньої підготовки піску, використанню багатошарових засипок, вдосконаленню методів регенерації фільтрів.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРОМИВНИХ ВОД

4.1. Оцінка обсягу промивних вод

Для визначення обєму промивних вод враховується кількість фільтрів, тривалість промивки, інфомація стосовно особливостей процесу промивання швидких фільтрів приведена у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахункові параметри промивки швидких фільтрів

№ п/п	Найменування операцій	Тривалість процесу, хв.	Час з наростанням, хв.
1	Промивка фільтра	8	8
2	Пробіг скидної води	10	18
3	Освітлення	50	68
4	Перекачування освітленої води	30	98
5	Перекачка осаду освітленого в резервуар	15	113
6	Резерв часу	7	120

Таким чином, тривалість фільтрації 12 годин. Враховується кількість промивок $N_{пр}$ = 2, кількість фільтрів $N_{ф}$ = 9. Тоді загальна кількість промивок: 2×9 = 18 промивок, які тривають 18×2 = 36 годин, тому щоб забезпечити промивку 12 фільтрів і заповнення резервуару промивної води треба встановлення трьох резервуарів.

Об’єм води на промивку одного фільтра:

$$W = q_{пр} \times F_{ф}^{'}, \quad (4.1)$$

де $q_{пр}$ – питома витрата води на промивку одного фільтра, $q_{пр}$ = 4,2 м^3/м^2.

W = 4,2×36= 151,2 м^3.

З врахуванням 15% збільшення запасу:

$$W^{'} = W \times 1{,}15 = 151{,}2 \times 1{,}15 = 173{,}88 м^3.$$

4.2. Розрахунок резервуара-усереднювача промивної води

З метою зменшення втрат води, що використовується для власних потреб водоочисної станції, передбачається облаштування споруд для оброблення промивних вод із фільтрів. Очищення промивної води здійснюється за допомогою резервуара-усереднювача (рис. 4.1), куди спрямовується вода після очищення фільтрів.

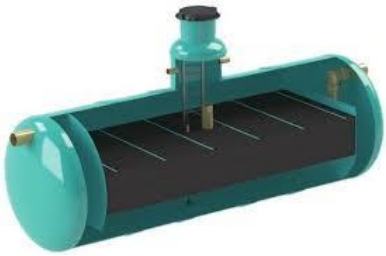


Рисунок 4.1 – Резервуар-усереднювач

Із зони відстоювання вода рівномірно надходить до основного комплексу очисних споруд. Резервуар-усереднювач призначений не лише для приймання води від одного фільтра, а й для надходження технічної води зі споруд, що здійснюють обробку осаду. Об’єм залпового скиду промивної води розподіляється між окремими етапами її повторного використання. Розмір резервуару 7,2 × 6, висотою 4,2 м, об’ємом 181,5 м^3.

4.3. Проєктування пісковловлювачів

Розрахункова витрата промивної води, що надходить до пісковловлювача:

$$Q_{піс} = q_{пром} \times t_{пром} \times n_{пром} \times N/1000, \quad (4.2)$$

де $n_{пр}$ – число промивок одного швидкого фільтра на добу;прийнято $n_{пр} = 2$ [2];

N – кількість швидких фільтрів: $N = 9$.

$$Q_{піс} = 504 \times 300 \times 2 \times 9/100 = 2721{,}6 м^3/доб = 113{,}4 м^3/год$$

З урахуванням продуктивності приймаються тангенційні пісковловлювачі (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Тангенційний пісковловлювач

Площа кожного відділення пісковловлювача знаходиться за формулою:

$$F_{піс} = Q_{піс}/(n \times Q_0)\ , \qquad (4.3)$$

$F_{\text{п}}$ – площа відділення пісковловлювача у плані, м^2;

$Q_{\text{піс}}$ – витрата води, що надходить на пісковловлювачі, м^3/год;

n – число відділень;

q_0 – навантаження на пісковловлювач по воді, м^3/(м^2 × год).

Навантаження на пісковловлювач q_0 чисельно дорівнює гідравлічній крупності піску розрахункового діаметру U_o, м/год:

$$Q_0 = U_{\ 0} \times 3{,}6 \qquad (4.4)$$

При діаметрі осаджувальних часток 0,2мм $U_o = 18{,}7$ мм/с [3].

$$Q_0 = 18{,}7 \times 3{,}6 = 67{,}3 м^3/(м^2 \times год)$$

$$F_n = 113{,}4/2 \times 67{,}3 = 0{,}84 м^2$$

Діаметр кожного відділення пісковловлювача визначено за формулою:

$$Д = \sqrt{4 \times F_n/\pi}\ . \qquad (4.5)$$

$$Д = \sqrt{4 \times 0{,}84/3{,}14} = 1{,}03 м.$$

Глибина пісковловлювача дорівнює половині діаметра, $h_1 = 0{,}52м$. Осад нокопичуєтьсяв конусній основі споруди.

Висота конусної основи знаходиться за формулою:

$$h_2 = \sqrt{Д^2 - h_1^2} \quad . \tag{4.6}$$

$$h_2 = \sqrt{1{,}03^2 \times 0{,}52^2} = 0{,}89м.$$

Об'єм конусної частини знаходиться за формулою:

$$V_{кон} = \pi \times Д^2 \times h_2/3 \times 4 \; . \tag{4.7}$$

$$V_{кон} = 3{,}14 \times 1{,}03 \times 0{,}89/3 \times 4 = 0{,}25м^3.$$

Кут нахилу стінок к горизонту α=60^0. Пісок видаляється зі споруди за допомогою ерліфта та вивозиться на пісковий майданчик.

4.4. Визначення параметрів роботи згущувачів

Об'єм згущувачів:

$$W_{зг.} = 1{,}3 \times K_{р.о.} \times W_{ос.ч}\,, \tag{4.8}$$

де $K_{р.о.}$ – коефіцієнт розбавлення осаду, $K_{р.о.}$ = 1,5 для гідравлічного видалення осаду;

$W_{ос.ч.}$ – об'єм осадочної частини горизонтального відстійника, $W_{ос.ч.}$ = 138,45 м^2;

$$W_{зг.} = 1{,}3 \times 1{,}5 \times 138{,}45 = 270м^3 \; .$$

При глибині згущувача h = 3,5 м, його площа F = 270/3,5 = 78 м^2.

Діаметр згущувача:

$$d = \sqrt{\frac{4 \times F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 78}{3{,}14}} = 9{,}97 \text{ м.}$$

Прийнято один згущувач діаметром 10 м. Відповідно до [24, дод.9, п.11] для вод середньої каламутності, які обробляються коагулянтом, найбільша швидкість руху обертаючої ферми 0,025 м/с, тривалість цикла згущення 8 год.,

середня вологість осаду на випуску із згущувача 96,8÷97,3%. Перекачка осада здійснюється через кілька циклів згущення. Осад надходить до накопичувачів. Креслення згущувача представлено в графічній частині кваліфікаційної роботи.

4.5 Екологічне обґрунтування

З метою зменшення обсягів водоспоживання на власні потреби очисної станції та недопущення забруднення водойм, передбачено впровадження споруд, які забезпечують повторне використання води, що утворюється під час промивання фільтрів, а також води, що скидається під час очищення відстійників.Річна витрата води, що обробляється в блоці повторного використання, становить:

$$Q=Q_{гв}+Q_{ф}, \quad (4.9)$$

де $Q_{гв}$ – річна витрата осаду з горизонтальних відстійників;

$Q_{ф}$ – річна витрата промивної води від фільтрів.

Витрата осаду, що скидається, визначається виходячи з об'єму зони накопичення осаду у відстійниках, що дорівнює 115,37 м^3 (розіл 3 кваліфікаційної роботи):

$$Q_{гв} = (T_{пав} / T + (365 - T_{пав}) / T_1) * W_{з.н.} \times N, \quad (4.10)$$

де $T_{пав}$ – розрахункова тривалість паводків за рік, $T_{пав}$ = 15 діб;

T – період паводка, T = 3 доби;

T – розрахункова тривалість роботи відстійника між чищеннями при відсутності паводка, T_1 = 14 діб;

$W_{з.н}$ – об’єм зони накопичення;

N – кількість відстійників.

$Q_{гв}$ = (15/3 + (365- 15)/14)×115,37×6 = 17552,72 м^3/рік.

Річна витрата води від промивки фільтрів становить:

$$Q_ф = Q^ф_{доб} \times n \times 365, \quad (4.11)$$

$Q^ф_{доб}$ – добовий об'єм води на промивання фільтрів, $Q^ф_{доб}$ = 1814,4 м^3 (розділ 3);
n – кількість промивань за добу.

$Q_ф$ = 1814,4 × 2 × 365 = 1324512 м^3/рік.

Q = (17552,72 +1324512)/1000=1342,06 тис. м^3 /рік.

Після ущільнення в згущувачах осад подається на накопичувачі. Для запобігання забруднення водойми пісок, що виносить при промиванні фільтрів, подається на піскове господарство.

Застосування споруд повторного використання промивної води дозволяє запобігти скиданню коагулянту у водойму, у кількості:

$$Q_{коаг.} = Q \times Д_к, \quad (4.12)$$

де $Д_к$ – доза коагулянту, $Д_к$=45 г/м^3.

$Q_{коаг.}$= 1342,06 ×45=60392,7 кг/рік≈60,4 т/рік.

Економія від повторного використання води становить

1324512 м^3×17,8 грн/м^3=23576313,6 грн/рік.

Отже, впровадження систем повторного використання промивних вод сприяє суттєвому зменшенню обсягів забрудненої води, що скидається у водойму, та дозволяє повернути її до технологічного процесу, що забезпечує помітні екологічні й економічні переваги.
На водоочисній станції передбачено встановлення озонаторної установки. Застосування озону як дезінфекційного засобу є ефективнішим порівняно з традиційними реагентами, зокрема хлором. До того ж, озон є більш безпечним для довкілля, оскільки за звичайних умов розпадається до компонентів атмосферного повітря.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи були досягнуті поставлені завдання та отримані такі основні результати:

1. Проведено детальний аналіз сучасних ресурсоощадних технологій очищення природних вод. Встановлено, Зменшення споживання реагентів, енергії та води завдяки оптимізації процесів очищення значно підвищує ефективність водопідготовки та знижує навантаження на навколишнє середовище.
2. Проведено інженерний розрахунок та конструювання очисних споруд. У результаті розрахунків визначено основні параметри обладнання та конструктивні особливості споруд, що забезпечують безперебійну та ефективну роботу системи водоочищення.
3. Запропоновано ресурсоощадні рішення, зокрема модернізацію відстійників шляхом застосування тонкошарових модулів, оптимізацію фільтрувальних процесів, можливість повторного використання частини очищеної води
4. Виконано екологічне та економічне обґрунтування розробленої технології. Доведено, що повторне використання очищеної води дозволяє зекономити 1 324 512 м³ води на рік, що в грошовому еквіваленті становить 23 576 313,6 грн/рік. Це підтверджує економічну доцільність впровадження запропонованих заходів.

Таким чином, результати кваліфікаційної роботи мають практичну цінність та можуть бути використані для впровадження ефективних і ресурсоощадних технологій водоочищення на підприємствах і в системах централізованого водопостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Загірняк Д. М., Глухова В. І., Кравченко Х. В. Діяльність комунальних підприємств і їх фінансове забезпечення в умовах децентралізації. Ефективна економіка. 2021. No 1. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8528 DOI: 10.32702/2307-2105-2021.1.12.

2. Дідур С., Глухова В., Кравченко Х. Аналіз та оцінка прозорості діяльності комунальних підприємств в умовах децентралізації. Економіка та суспільство. 2021. No 24. URL: https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/212 DOI:10.32782/2524-0072/2021-24-39

3. Асоціація Укрводоканалекологія. URL: https://www.facebook.com/Ukrvodocanal/?locale=ja_JP

4. Сарапіна О. А., Стефанович Н. Я. Аналіз діяльності комунальних підприємств та підходи до їх класифікації. Вісник ХНТУ No 2(85), 2023. URL: https://journals.kntu.kherson.ua/index.php/visnyk_kntu/article/view/271/262

5. Прохоров Б., Лоневський О. Як фінансування комунальних підприємств обмежує конкуренцію : аналітична записка. Центр економічної стратегії. 2020. 20 с. URL: https://ces.org.ua/wp-content/uploads/2020/05/Mun_enterprises.pdf

6. Сотник І.М. ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ РЕСУРСООЩАДНИХ ЗАХОДІВ ЯК ШЛЯХ ПОДОЛАННЯ ПРОБЛЕМ ЗБИТКОВОСТІ ВОДОПОСТАЧАЛЬНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ∗ URL: https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/bed7c701-da09-4332-898b-f63789d46eaa/content

7. Касьянова Н.В. Впровадження стратегії енергозбереження на промислових підприємствах. Ефективна економіка № 2, 2017 [Електронний ресурс]. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5916

8. Топчій. О.О. Модернізація сфери житлово-комунального господарства: соціально-безпекові та еколого-економічні аспекти. URL: http://www.investplan.com.ua/?op=1&z=6920&i=7

9. Джеджула, В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2014. 346 с. URL: http://tinyurl.com/4v7nuuha

10. Зміни в законодавстві щодо повірки лічильників води в умовах воєнного стану. URL: https://surl.li/nzdwdw

11. Рішення №37 від 27.06.2013 «Про енергоефективність у житлово-комунальному господарстві». URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/vr037858-13#Text

12. Купчак В.Р., Павлова О.М., Павлов К.В., Лагодієнко В.В. Формування та регулювання регіональних енергетичних систем: теорія, методологія та практика : монографія Луцьк : СПД Гадяк Жанна Володимирівна, друкарня «Волиньполіграф», 2019. 346 с. URL: https://core.ac.uk/download/pdf/268924998.pdf

13. Огляд інфраструктурних проектів, спрямованих на покращення водопостачання та водовідведення у країнах ЄС // European Union Regional Development Program (2022). [Електронний ресурс]. URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/

14. UN World Water Development Report // Опис планів безпеки води (WSP) у ЄС та впровадження сучасних стандартів якості питної води. С. 10-12, 35-40. (2024). URL: UN-Water Report

15. Опис системи «NEWater» у Сінгапурі для повторного використання очищених вод // Singapore Water Sustainability Reports (2022). [Електронний ресурс]. URL:https://www.pub.gov.sg/

16. Progress on Wastewater Treatment - 2021 Update (UN-Water) // Статистика про очищення стічних вод у глобальному розрізі. С. 15-20, 28-30. (2021). [Електронний ресурс]. URL:UN-Water Wastewater Report

17. Нові технології водопідготовки природних вод з використанням біологічних методів. URL: https://surl.li/jmtsbf

18. Виверець А.О., Трохименко Г.Г., Гомеля М.Д. Аналіз ефективності використання порошку насіння Moringa Oleifera та шламу від виробництва глинозему як коагулянтів для очищення води. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. Випуск 27. К.: КНУБА, 2016. С.39 – 47 с. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/17/201627.pdf

19. Чарний Д.В. Створення нових ресурсозберігаючих технологій очищення і використання води в системах сільськогосподарського водопостачання. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. Випуск 27. К.: КНУБА, 2016. С. 413 – 427 с. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/17/201627.pdf

20. Інновації в технологіях очищення води. URL: https://formulavody.com.ua/uk/innovatsii-v-tekhnologiyakh-ochistki-vody

21. Інновації в фільтрації води та їх вплив на здоров'я. URL: https://www.brd24.com/article/a-86684.html

22. Інновації в очищенні води для фармацевтичних застосувань. URL: https://www.wemacpharma.com/uk/Innovations-in-Water-Treatment-for-Pharmaceutical-Applications

23 .Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення : Закон від 10.01.2012 р. № 2918-III. База даних «Законодавство України». ВР України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text

24. Про затвердження Правил технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України : Наказ Держжитлокомунгоспу від 05.07.1995 р. № 30. База даних: «Законодавство України». URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0231-95#Text

25. 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