

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища  
і деревини та безпеки життєдіяльності

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра на тему:

«Дослідження та удосконалення процесу очищення стічних вод  
при виготовленні виробів санітарно-гігієнічного призначення»

**Виконав:** студент групи ТЗНСз-61м  
спеціальності «Технології захисту  
навколишнього середовища»

Бринь О.І.

**Керівник:** професор, доктор техн. наук  
Кшивецький Б. Я.

**Рецензент:** к.т.н., доц. Кучняк Т.Т.  
(прізвище та ініціал)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Інститут деревообробних технологій і дизайну

Кафедра технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність Технології захисту навколишнього середовища

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ТЗНСДБЖД**

**проф Кшивецький Б. Я.**

“ 13 ” 05 2025 року

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

**Бринь Олеся Ігорівна**

1. Тема роботи : **«Дослідження та удосконалення процесу очищення стічних вод при виготовленні виробів санітарно-гігієнічного призначення»**

керівник роботи Кшивецький Богдан Ярославович, професор, доктор техн. наук  
затверджені наказом університету від “ 13 ” 05 2025 року № С-316

2. Термін подання студентом роботи 15.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

Матеріали переддипломної практики

4. Зміст пояснювальної записки (розділи, які потрібно розробити)

Вступ

1 Аналіз стану питання та завдання досліджень

2 Аналіз та підбір методик проведення експериментальних досліджень

3 Результати експериментальних досліджень

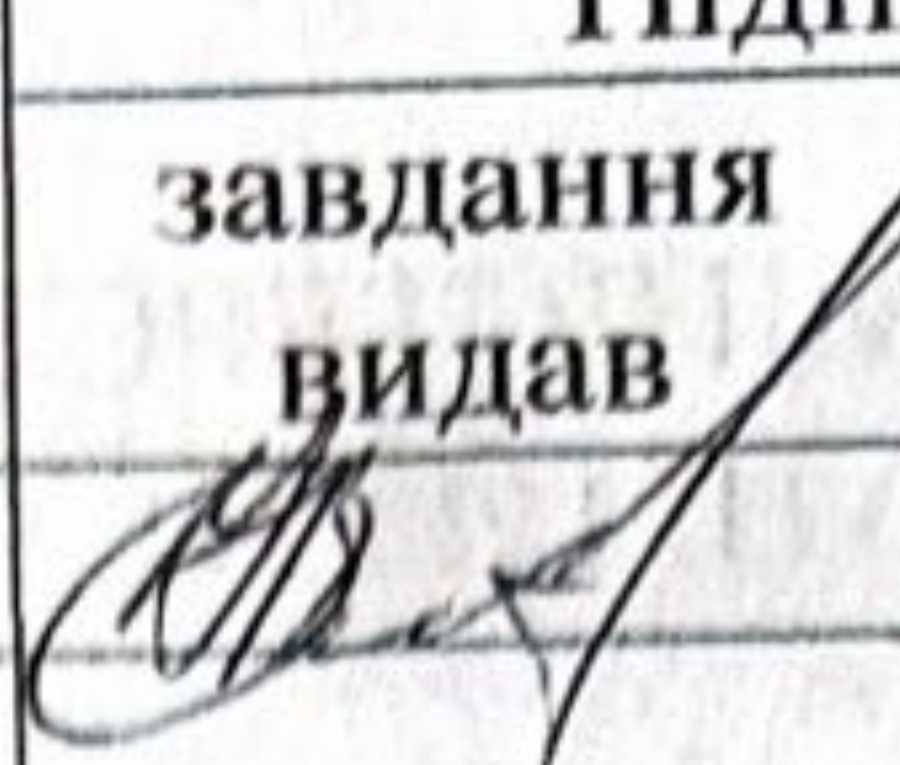
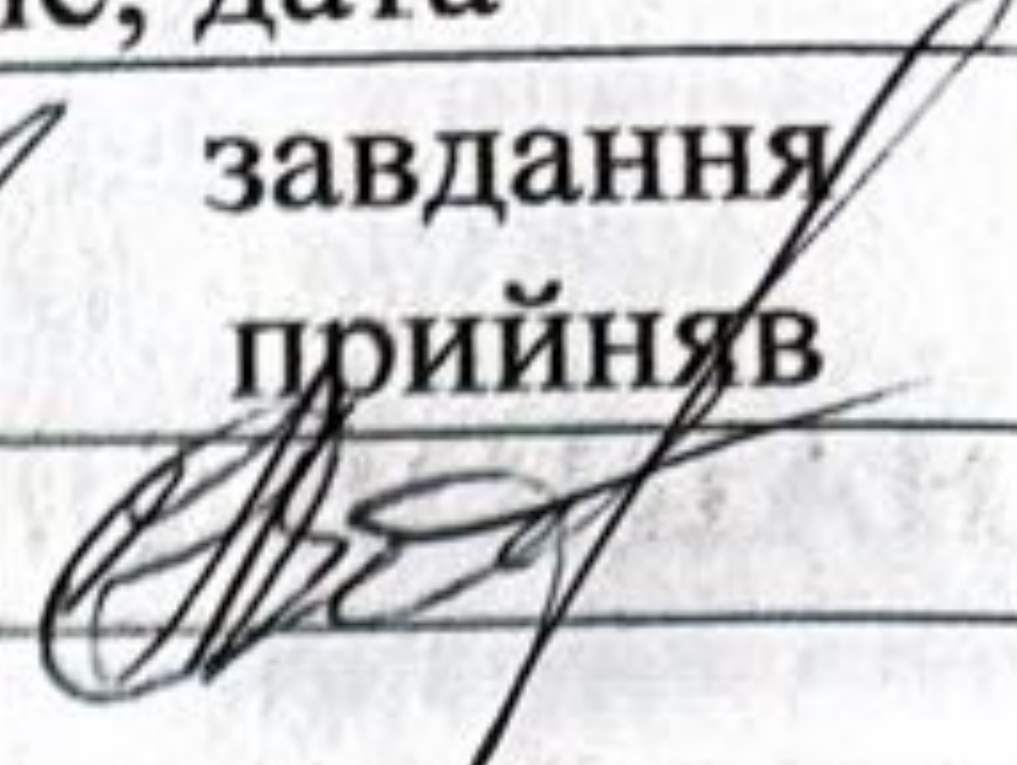
4 Еколого-технологічні рішення

5. Охорона праці

Висновки

Список використаних джерел

6. Консультанти розділів роботи

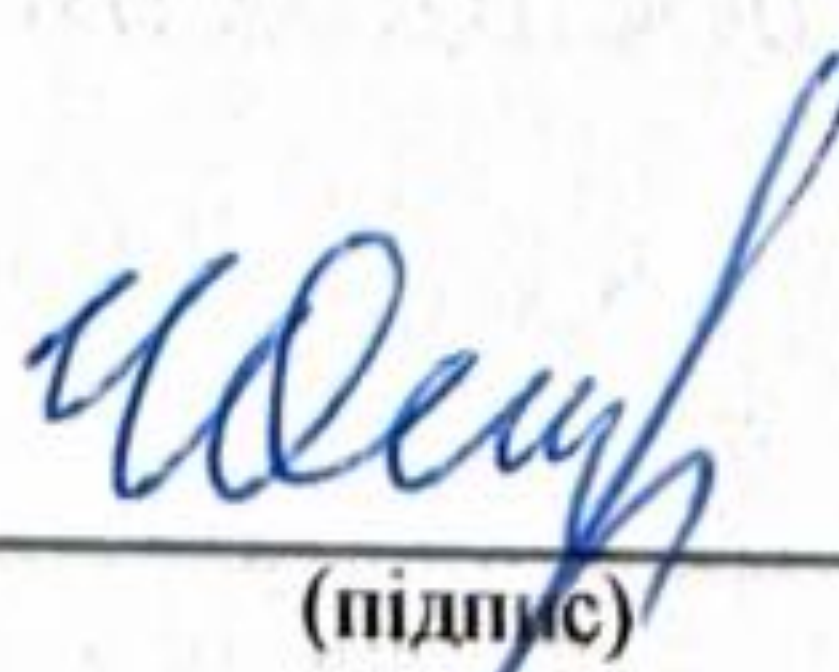
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Сторожук В.М.		

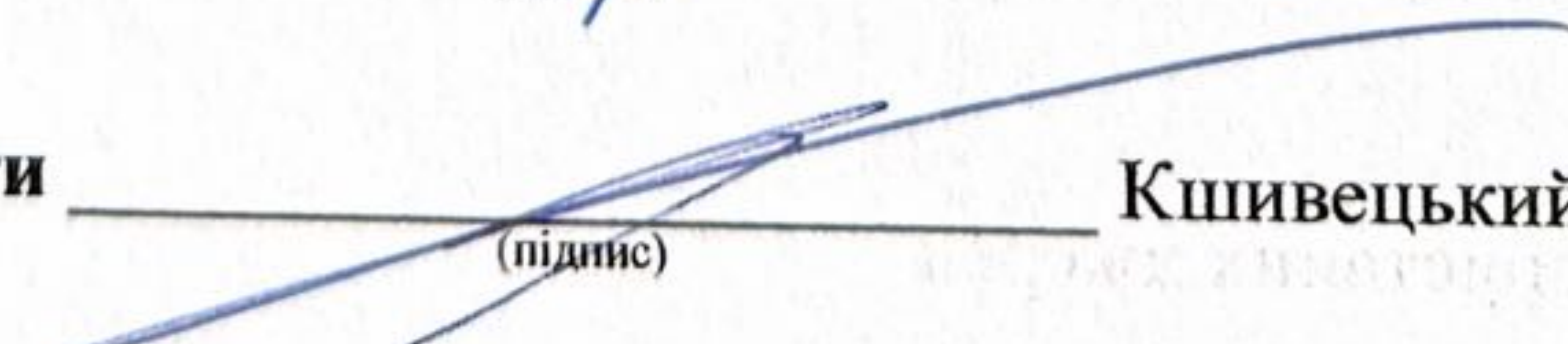
7. Дата видачі завдання 13 травня 2025 року

Керівник проекту \_\_\_\_\_ проф. Кшивецький Б.Я.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	23.08-30.08.2025 р.	
2	Аналіз стану питання та завдання досліджень	31.08-20.09.2025 р.	
3	Аналіз та підбір методик проведення експериментальних досліджень	21.09-20.10.2025 р.	
4	Результати експериментальних досліджень	21.10-06.11.2025 р.	
5	Еколого-технологічні рішення	07.11-24.11.2025 р.	
6	Охорона праці	25.11-14.12.2025 р.	
7	Висновки	15.12-16.12.2025 р.	

Студент  Бринь О.І.  
(підпис)

Керівник роботи  Кшивецький Б. Я.  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі магістра на тему "Дослідження та удосконалення процесу очищення стічних вод при виготовленні виробів санітарно-гігієнічного призначення" проаналізовано існуючий технологічний процес очищення стічних вод на ПАТ "Кохавинська паперова фабрика", а також запропоновано схему для удосконалення цього процесу.

Дипломний проект складається з п'яти розділів.

У першому розділі подано характеристику підприємства, а також вивчено та проаналізовано існуючий процес очищення стічних вод.

У другому охарактеризовано методи очищення стічних вод. Описано методику проведення досліджень фізико-хімічного очищення відібраних зразків промислових стічних вод за допомогою комбінування різних реагентів у різних пропорціях та послідовності. Наведено методику визначення хімічного споживання кисню (ХСК) проб води.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень. З'ясовано, що для фізико-хімічного очищення промислових стічних вод доцільно використати комбінування із трьох реагентів за 5 варіантом, що дозволяє очистити стічні води на 83%: NaOH – для корекції рН середовища; коагулянт алюмовмісний – для переведення забруднюючих речовин в тверду нерозчинну форму; флокулянт – для зменшення кількості завислих речовин в стоках, а також пришвидшення процесів утворення осаду. Для забезпечення стабільності при очищенні стоків паперового виробництва з ХСК 600 мг/л найбільш доцільною та технологічною буде система доочищення, яка включає біологічне очищення та дезінфекцію води.

У четвертому розділі подано пропозиції щодо удосконалення процесу очищення стічних вод. Запропоновано систему доочищення, яка включає біореактор з рухомим біозавантаженням. Така система забезпечує високу стійкість до промислових забруднень, компактність та якісне очищення. Для дезінсекції запропоновано застосовувати контактний резервуар із

використанням 10% розчину гіпохлориту натрію. Проведено розрахунки вартості та витрати реагентів на очищення води.

П'ятий розділ містить інформацію щодо охорони праці інженерного персоналу, а також вимоги техніки безпеки під час роботи з хімічними реагентами.

Магістерська робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дипломної роботи складає 93 сторінки, з них 90 сторінок основного тексту та список використаних джерел.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	7
1.1. Актуальність питання очищення промислових вод.....	7
1.2. Характеристика підприємства ПАТ "Кохавинська паперова фабрика".....	13
1.3. Аналіз процесу очищення стічних вод на ПАТ "Кохавинська паперова фабрика.....	14
1.4. Висновок.....	33
<b>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ПІДБІР МЕТОДИК ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	34
2.1. Існуючі методики і методи очищення стічних вод.....	34
2.2. Дослідження фізико-хімічного очищення відібраних зразків промислових стічних вод.....	53
2.3. Визначення хімічного споживання кисню (ХСК) проб води.....	58
<b>РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	62
3.1. Результати дослідження фізико-хімічного очищення відібраних зразків промислових стічних вод.....	62
3.2. Результати досліджень хімічного споживання кисню.....	67
3.3. Висновок.....	69
<b>РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ</b> .....	70
4.1. Пропозиції щодо удосконалення процесу очищення стічних вод...	70
4.2. Розрахунок вартості та витрати реагентів на очищення води.....	78
<b>РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	79
5.1. Заходи охорони праці для виробництва виробів санітарно-гігієнічного призначення.....	79
5.2. Охорона праці інженерного персоналу.....	84
5.3. Вимоги техніки безпеки під час роботи з хімічними реагентами.....	88
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	90
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	91

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Целюлозно-паперова промисловість, зокрема сегмент виробництва санітарно-гігієнічних виробів, належить до галузей із значним екологічним навантаженням. Стічні води цих підприємств характеризуються високою концентрацією нерозчинених речовин (целюлозні волокна, наповнювачі), значним хімічним (ХСК) та біохімічним (БСК) споживанням кисню, а також стійкою кольоровістю та вмістом біологічно жорстких органічних сполук (лігнін, барвники, синтетичні добавки). Недостатнє очищення таких стоків призводить до забруднення водних об'єктів, порушення екологічного балансу та зростання штрафних санкцій для підприємства. У контексті посилення екологічних нормативів України та гармонізації їх із директивами ЄС, модернізація та інтенсифікація існуючих систем очищення є невідкладним завданням для забезпечення сталості виробництва. Дослідження та удосконалення технологічних схем, зокрема через оптимізацію реагентної обробки, має ключове значення для підвищення ефективності очищення та забезпечення нормативних показників скиду.

**Мета роботи** – дослідження та удосконалення процесу очищення стічних вод при виготовленні виробів санітарно-гігієнічного призначення на ПАТ "Кохавинська паперова фабрика".

Відповідно до поставленої мети необхідно виконати такі **завдання**:

- ✓ проаналізувати процес очищення стічних вод;
- ✓ провести дослідження стічних вод підприємства;
- ✓ дослідити варіанти комбінування реагентів для очищення стічних вод;
- ✓ запропонувати шляхи удосконалення існуючого процесу очищення стічних вод.

Об'єктом дослідження є технологічний процес очищення стічних вод виробництва виробів санітарно-гігієнічного призначення на ПАТ "Кохавинська паперова фабрика".

Предметом дослідження є ефективність застосування та оптимальні дози комбінованих хімічних реагентів (коагулянтів, флокулянтів) та параметри експлуатації основних очисних споруд підприємства.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у встановленні закономірностей взаємодії стічних вод зі складними комбінаціями реагентів і розробці науково обґрунтованих рекомендацій щодо підвищення ефективності видалення забруднень.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження запропонованої удосконаленої схеми очищення на ПАТ "Кохавинська паперова фабрика", що дозволить: забезпечити стабільне досягнення нормативних показників скиду очищених стічних вод та підвищити операційну надійність очисних споруд підприємства.

Структура роботи. Магістерська робота складається з вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаних джерел.

## РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1. Актуальність питання очищення промислових вод

Стан якості поверхневих вод, які є джерелом питної води для 80 % населення України, є незадовільним і характеризується підвищеним вмістом органічних та біогенних речовин. Що стосується підземних вод, то вони характеризуються підвищеною мінералізацією, жорсткістю, наднормативним вмістом сполук марганцю та заліза. У 2020 році при дослідженні проб води водоюм I категорії, які використовуються як джерело централізованого водопостачання населення за санітарно-хімічними показниками не відповідали нормам 18,6 %, за мікробіологічними - 19,6 % (за інформацією МОЗ).

Водні об'єкти зазнають значного антропогенного впливу – хімічного, мікробного, фізичного, шкідливого біологічного та радіонуклідного забруднення. Усе актуальнішим є забруднення вод мікропластиком, яке є небезпечне як для водних екосистем так і здоров'я людини.

Поверхневі та підземні води зазнають стаціонарних та дифузних забруднень, складовими компонентами яких є сполуки нітрогену, фосфору, важких металів, стійких органічних речовин, нафтопродуктів та інших забруднюючих речовин. Нафтопродукти та феноли завдають істотного навантаження на води гирлових ділянок річок. Ступінь забрудненості водних ресурсів визначається як помірно забруднені, при цьому випадки високого забруднення реєструється при дослідженні більшості водних об'єктів.

Головною причиною антропогенного впливу на водні об'єкти є неефективне державне управління водними ресурсами. За даними державного обліку водокористування, основними джерелами забруднення вод є великі міста з населенням понад 500 тисяч осіб. Для таких міст особливо важливими є підвищення ефективності очищення стічних вод та зменшення хімічного навантаження на системи централізованого водовідведення, зокрема шляхом впровадження попереднього очищення промислових стоків перед їх надходженням до міської каналізаційної мережі [1].

Проблема очищення промислових стічних вод є надзвичайно актуальною в сучасних умовах господарювання, оскільки безпосередньо впливає на стан довкілля, здоров'я населення та екологічну безпеку держави. У процесі виробничої діяльності підприємства різних галузей, зокрема хімічної, металургійної, целюлозно-паперової, текстильної та інших, щоденно утворюють значні об'єми стічних вод, які можуть містити широкий спектр шкідливих домішок — від органічних речовин до важких металів, токсичних сполук, фенолів, хлоридів, сульфатів, формальдегіду, нафтопродуктів тощо. Якщо ці води не проходять належного очищення, вони потрапляють у природні водні об'єкти або в систему міського водовідведення, створюючи серйозну загрозу для водних екосистем, погіршуючи якість питної води, а також негативно впливаючи на стан ґрунтів і біорізноманіття.

Забруднення водойм веде до зниження природного самоочисного потенціалу річок і озер, викликає евтрофікацію, загибель флори та фауни, а в деяких випадках — повне зникнення життя у водоймі. Особливо небезпечно те, що частина таких речовин є стійкими до розкладу і накопичуються в ланцюгах живлення, у тому числі й у людині. Відсутність належного очищення вод або застосування застарілих технологій створює ризики не лише екологічного, а й соціального та економічного характеру. Населення, яке проживає поблизу підприємств-забруднювачів, стикається з підвищеним рівнем захворюваності, а самі підприємства — з екологічними штрафами, громадським осудом, втратою репутації та ускладненням доступу до міжнародних ринків і фінансових ресурсів.

Актуальність проблеми також обумовлена тим, що Україна, як держава, яка задекларувала курс на європейську інтеграцію, зобов'язана імплементувати екологічні норми Європейського Союзу, зокрема Директиву 91/271/ЄЕС про очищення стічних вод. Це вимагає модернізації існуючих систем очищення, впровадження енергоефективних і екологічно безпечних технологій, а також створення системи ефективного контролю якості стічних вод. У багатьох регіонах України очисні споруди або не функціонують, або перебувають у

критичному стані, а деякі підприємства взагалі не мають локальних очисних систем. Тому питання якісного очищення промислових стічних вод є не лише екологічною проблемою, а й стратегічним викликом для сталого розвитку економіки країни, збереження природних ресурсів і забезпечення права громадян на чисте довкілля.

Для законної та безпечної діяльності підприємство повинно мати такий контрольний список документів, пов'язаних зі стічними водами [2-8]. Цей список охоплює скидання стічних вод у каналізацію або у водні об'єкти, а також внутрішній контроль, звітність і взаємодію з контролюючими органами (табл.1.1).

Таблиця 1.1.

Документація підприємства щодо стічних вод

№	Документ	Призначення
1	2	3
<b>Дозвільна документація</b>		
1	Дозвіл на спеціальне водокористування	Дає право на скидання стічних вод у водні об'єкти; видається <u>Держводагентством</u> .
2	Договір на водовідведення з водоканалом (для підприємств, що скидають у каналізацію)	Регламентує обсяг, режим та якість стічних вод, що приймаються у мережу.
3	Технічні умови (ТУ) від водоканалу	Містять вимоги до складу, обсягу і режиму скидання стічних вод.
<b>Нормативно-технічна документація підприємства</b>		
4	Нормативи гранично допустимого скидання (ГДС)	Визначають дозволений вміст забруднюючих речовин у скидах.
5	Проект очисних споруд або систем локального очищення	Потрібен у разі наявності власних очисних споруд.
6	Інструкція з експлуатації очисних споруд	Регламентує обслуговування, технічні регламенти та контроль.
<b>Виробничий контроль і моніторинг</b>		
7	Програма виробничого лабораторного контролю (ПВЛК)	Визначає порядок та періодичність контролю складу стічних вод.
8	Журнал обліку скидання стічних вод	Ведеться для щоденного або щомісячного обліку обсягів скиду.
9	Протоколи аналізів стічних вод	Дані лабораторного контролю (власного або стороннього).

1	2	3
<b>Екологічна звітність та податки</b>		
10	Звітність за формою № 2-ТП (водгосп)	Щорічна звітність про використання водних ресурсів.
11	Розрахунок екологічного податку за скиди	Податок на забруднення довкілля (щоквартально або щорічно).
12	Звіт про виконання умов дозволу на спецводокористування	Подається до <u>Держводагентства</u> разом зі звітністю.
<b>Інші документи (за потреби)</b>		
13	Оцінка впливу на довкілля (ОВД)	Обов'язкова для об'єктів із значним впливом на навколишнє середовище.
14	Паспорт установок локального очищення (очисних споруд)	Технічні характеристики очисних систем.
15	Акти перевірок контролюючих органів ( <u>Держекоінспекція</u> , водоканал)	Для обліку результатів державного нагляду.

Контроль за якістю та складом стічних вод, що утворюються в процесі виробництва, здійснюється з метою дотримання вимог природоохоронного законодавства, умов дозволу на спеціальне водокористування та договору з водоканалом.

#### **Об'єктами контролю є:**

- Господарсько-побутові та виробничі стічні води після локальних очисних споруд;
- Випуск стічних вод у міську систему водовідведення / поверхневий водний об'єкт (залежно від джерела скидання).

Вибір параметрів контролю стічних вод залежить передусім від характеру виробничої діяльності підприємства. Тип технологічного процесу та використана сировина формують унікальний склад стічних вод, що, відповідно, визначає, які саме показники необхідно вимірювати. Наприклад, підприємства целюлозно-паперової промисловості, як правило, мають стічні води з високим вмістом органічних речовин, завислих речовин, сульфатів, а іноді — залишків хімікатів, таких як формальдегід або клеї, що використовуються в технології. Водночас нафтопереробні заводи чи металургійні підприємства потребують контролю наявності важких металів, нафтопродуктів, фенолів, аміаку тощо.

Таким чином, параметри контролю завжди мають відповідати конкретному джерелу забруднення.

Ще одним важливим фактором є тип самих стічних вод. Господарсько-побутові води зазвичай контролюються за стандартним набором показників — таких як БСК (біологічне споживання кисню), ХСК (хімічне споживання кисню), загальний азот, фосфор, зважені речовини. Натомість виробничі стоки, особливо від технологічних ліній, можуть містити специфічні сполуки, залежно від хімічних процесів, що використовуються, тому набір контрольованих параметрів значно розширюється.

Важливу роль відіграє також напрям скидання вод. Якщо підприємство скидає стоки до централізованої каналізаційної мережі, параметри контролю визначає водоканал відповідно до технічних умов і пропускної здатності своїх очисних споруд. Якщо ж скидання здійснюється безпосередньо у водойму або на ґрунт, контроль здійснюється згідно з дозволом на спеціальне водокористування, в якому зазначено перелік речовин і гранично допустимі скиди (ГДС), встановлені на основі екологічного аналізу.

Крім цього, вибір параметрів контролю залежить від екологічного ризику: якщо існує ймовірність наявності токсичних або стійких забруднювачів, таких як важкі метали, формальдегід чи поверхнево-активні речовини, їх включають до обов'язкового переліку для моніторингу. Важливим є також стан очисних споруд: якщо вони застарілі або відсутні, підприємство має контролювати стічні води більш ретельно, оскільки без очищення будь-який скиданий об'єм несе вищу екологічну загрозу.

Остаточний перелік параметрів контролю визначається вимогами екологічного законодавства, умовами дозвільної документації, а також нормативами місцевих органів влади чи підприємств-водокористувачів. У багатьох випадках до уваги беруть також міжнародні стандарти, зокрема у випадках експорту продукції або впровадження систем екологічного менеджменту (наприклад, ISO 14001) [8]. Усі ці чинники комплексно формують

систему контролю стічних вод, яка дозволяє запобігати забрудненню довкілля та забезпечувати дотримання екологічних норм.

Для підприємств целюлозно-паперової промисловості, до прикладу, доцільно здійснювати контроль стічних вод за такими показниками (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Параметри контролю стічних вод целюлозно-паперових підприємств

№	Показник	Одиниця виміру	Метод контролю	Частота
1	pH	–	ДСТУ ISO 10523:2005	Щотижнево
2	ХСК (хімічне споживання кисню)	мг/дм <sup>3</sup>	ДСТУ 1189-93	Щотижнево
3	БСК5 (біологічне споживання кисню)	мг/дм <sup>3</sup>	ДСТУ 1899-90	2 рази на місяць
4	Завислі речовини	мг/дм <sup>3</sup>	ДСТУ 4078-2001	Щотижнево
5	Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	ДСТУ 4770.3:2007	1 раз на місяць
6	Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	ДСТУ 4078-2001	1 раз на місяць
7	Формальдегід (якщо використовується в технології)	мг/дм <sup>3</sup>	фотометричний метод	1 раз на квартал
8	Поверхнево-активні речовини (ПАР)	мг/дм <sup>3</sup>	ДСТУ 4245:2003	1 раз на місяць
9	Загальний фосфор	мг/дм <sup>3</sup>	ДСТУ ISO 6878:2004	1 раз на місяць
10	Загальний азот	мг/дм <sup>3</sup>	ДСТУ ISO 11905-1:2005	1 раз на місяць
11	Температура стоків	°C	термометр	Щотижнево

Підприємству рекомендовано визначити відповідальну особу за водовідведення на підприємстві, регулярно оновлювати лабораторні аналізи та контролювати виконання умов договорів і дозволів.

## **1.2. Характеристика підприємства ПАТ "Кохавинська паперова фабрика"**

**ПАТ «Кохавинська паперова фабрика»** — одне з провідних підприємств України з виробництва санітарно-гігієнічної паперової продукції. Розташована в селі Гніздичів Жидачівського району Львівської області, фабрика розпочала свою діяльність у січні 1939 року. Спочатку вона виготовляла 2,5 т целюлози та 12 т паперу на добу. Під час Другої світової війни комбінат був майже повністю зруйнований, але відновлення виробництва розпочалося в 1945 році. У середині 1960-х років комбінат не тільки забезпечував себе сульфатною целюлозою для випуску паперу, а й 47% загального випуску її направлялись на інші підприємства України. Загалом, 80% шпагатного паперу, виробленого в Радянському Союзі, виготовлялося на Кохавинському комбінаті [9].

У 1979 році фабрика увійшла до складу Жидачівського целюлозно-паперового комбінату, а в 1995 році від'єдналася від нього, ставши самостійним підприємством. З того часу фабрика постійно вдосконалює виробництво, покращує якість продукції та санітарні умови праці.

### **Продукція та потужності**

ПАТ «Кохавинська паперова фабрика» спеціалізується на виробництві санітарно-гігієнічної продукції, зокрема туалетного паперу, паперових рушників та серветок під брендом «Кохавинка». У 2024 році фабрика наростила обсяг виробництва на 78% порівняно з попереднім роком, досягнувши обсягу 1,7 млрд грн. Випуск паперу-основи для санітарно-гігієнічної продукції збільшився на 39,5%, досягнувши 48,2 тис. т. Випуск туалетного паперу в рулонах становив 113,5 млн штук.

Частка продукції санітарно-гігієнічного призначення на вітчизняному ринку займає 34% від усіх інших виробників. Підприємство має довгострокові партнерські відносини з Європейськими країнами. Велика частка продукції припадає на експорт.

## **Сировина та сировинні потреби**

Основною сировиною для виробництва є макулатура. Підприємство закуповує її в Україні, а також у Молдови, Словаччини, Румунії та Польщі. Макулатура приймається у відповідності до вимог ДСТУ:3500:2019. Місячна потреба становить 300 т. Для забезпечення стабільної та безперервної роботи ТЕЦ, АТ «Кохавинська паперова фабрика» використовує паливну тріску різних порід лісосировини. Також ми використовуємо для власної рубильної машини дрова м'яколистяних та шпилькових порід. Місячна потреба дров складає 400 м<sup>3</sup>. Якість тріски повинна відповідати діючим стандартам ДСТУ EN 14774 – 1-3:2013. ГОСТ Р 54211-2010-визначення вологості: ДСТУ – П СЕН/TS 14775: 2012, ГОСТ Р 54185 – 2010 визначення золи, та специфікації до Договору. Якість паливної деревини повинна відповідати стандарту ТУУ -00994207-005:2018. Місячна потреба паливної тріски 1400 м<sup>3</sup> [9].

У 2024 році фабрика відкрила новий виробничо-складський комплекс, інвестувавши майже 30 мільйонів євро. Це дозволило створити додатково 200 робочих місць та збільшити потужності підприємства. Завдяки модернізації обладнання та розширенню виробництва, фабрика планує збільшити потужність до 40 тис. т/рік [10].

### **1.3. Аналіз процесу очищення стічних вод на ПАТ "Кохавинська паперова фабрика"**

Система водовідведення АТ «Кохавинська паперова фабрика» призначена для забезпечення відводу води, що в силу набутих технологічних і виробничих забруднень перетворилася в стічну воду, яку необхідно очищати перед повторним використанням.

Водовідведення на фабриці здійснюється за роздільною системою:

- водовідведення промислових стічних вод;
- водовідведення господарсько-побутових стічних вод.

Територія розташування каналізаційних мереж та очисних споруд фабрики не відноситься до заповідної.

В процесі виготовлення паперу для виробів побутового призначення в системі водозабезпечення передбачено використання свіжої, зворотної та освітленої води після очищення на флотаційній установці.

### 1.3.1. Використання свіжої води

Водопостачання підприємства для забезпечення питних та санітарно-гігієнічних потреб працівників та передача води вторинним водокористувачам здійснюється з власного підземного водозабору, який розташований на південно-західній околиці смт. Гніздичів Жидачівського району Львівської області в басейні р. Стрий. Підземний водозабір складається з двох свердловин: № 10172/1а продуктивністю 24,0 м<sup>3</sup>/годину та № 8855, яка знаходиться на консервації з 2016 року.

Водопостачання для виробничих потреб здійснюється з власного поверхневого водозабору на р. Стрий. Поверхневий водозабір здійснюється на відстані 20,8 км від гирла р. Стрий/басейн р. Дністер. Вода забирається через оголовок, розташований на правому березі річки. Берегова насосна станція обладнана насосами марки КМ 85-60-160 – 2 шт, продуктивністю 50 м<sup>3</sup>/год кожний, та ETN 80-315 - 2 шт, продуктивністю 50 м<sup>3</sup>/год кожний. Водозабір знаходиться за межами смт. Гніздичів Жидачівського району Львівської області.

Свіжа технічна вода подається на сприски високого тиску, на сприски промивки пресових сукон ПРМ №1 і ПРМ №2 та на приготування хімікатів.

Крім того, свіжа технічна вода використовується на ущільнення і охолодження сальників та двигунів ПРМ №1 та ПРМ №2, на сприски згущувачів № 1 СГД-02, № 2 СГД-02 та № 3 типу SIMPLEX- STOFANGER.

Для гідроножів сіткового столу ПРМ №1 та ПРМ №2 використовується вода з теплоенергоцеху, очищена за допомогою зворотного осмосу типу МО-4.

### 1.3.2. Очищення промислових стічних вод

Технологічна схема очищення промислових стічних вод наведена на рис.1.1.



За технологічною схемою вся стічна вода паперового виробництва, а саме — вода зі згущувачів № 1 СГД-02, № 2 СГД-02 та № 3 типу SIMPLEX-STOFANGER, очищена вода з дугового сита TS-2 поступає в бак-збірник зворотної води (1). Сюди також насосами СМ 150-125-315/4 № 101 (3) або СМ 125-80-315/4 № 102 (4) перекачується вода з підземного басейну зворотних стічних вод (2).

Вода із бака-збірника зворотної води (1) частково використовується для регулювання концентрації в акумуляційному басейні, в басейні грубого очищення маси та для промивання відходів сортувалок VSV-20 або/та VSV-30.

В підземний басейн зворотних стічних вод (2) надходить надлишок стічної води з ПРМ №1 та ПРМ №2, а також з розмелювально- підготовчого відділення — вода із зневоднювального барабана СЕП 900, перелив з УВК другого ступеня очищення ПРМ №1 та ПРМ №2 (у разі зупинення роботи дільниці очищення зворотної води) та вода з вакуумної системи.

Для очищення зворотної води і можливості її повторного використання для інших потреб в технологічному процесі виробництва паперу для виробів побутового призначення вода із бака-збірника зворотної води (1) подається у відділ очищення зворотної води.

Відділення очищення зворотної води складається з основних вузлів:

- флотатора DELTAFLOAT DF 25;
- стрічкового фільтр-преса PN 150/9S;
- установки насичення рециркуляційної води повітрям А.С.Р 0,75;
- установок для приготування флокулянтів;
- піщаного фільтр-преса ОМЕГАФІЛЬТР OF 4;
- щита керування процесом.

Вода із бака-збірника зворотної води (1) за концентрації завислих речовин 3000-4100 мг/дм<sup>3</sup> насосом СМ 150-125-315/4 № 31 (5) подається для очищення на флотатор DELTAFLOAT DF 25 (6). Надлишок води із бака-збірника зворотної води (1) насосом СМ 150-125-315/4 № 32 (7) подається по трубопроводу в баки-накопичувачі зворотних вод (дифузори) (20).

В трубопровід в лінію води після насоса СМ 150-125-315/4 № 31 (5) подається готовий до використання коагулянт Donau PAC ActiviS D. Також для підвищення ефективності процесу очищення (для створення більш дрібних частинок флокул) в потік зворотної води перед входом на флотатор DELTAFLOAT DF 25 (6) через витратомір за допомогою шнекового насосу SYDEX (8) дозується розчин флокулянту LYCRID N 12, попередньо приготований на станції приготування флокулянту ALLDOS POLYDOS 412 (9). Також в трубопровід перед входом в флотатор DELTAFLOAT DF 25 (6) подається освітлена вода під тиском 5,5-6,0 бар, попередньо насичена стиснутим повітрям в реакторі насичення A.S.R 0,75 (10).

Флотатор DELTAFLOAT DF 25 (6) (рис.1.2) відноситься до категорії відкритих ємностей і оснащений низькопрофільною флотаційною коміркою. Ферма комірки флотатора рухається за допомогою системи «зубчата рейка — шестерня», що забезпечує її рівномірний рух.

Повний оберт навколо осі ферма робить приблизно за 3 хвилини. За цей час вода, що потрапила в ємність, встигає відстоятися, і зважені речовини спливають на поверхню, з якої видаляються за допомогою збірника флотошлама.

Принцип роботи флотатора заснований на методі напірної флотації і седиментації. Освітлення води здійснюється за рахунок фізико-хімічного та механічного процесів відділення твердих речовин від рідини. На флотаторі DELTAFLOAT DF 25 (6) вхід і вихід не є нерухомими, вони обертаються навколо центру.

Зворотна вода із бака-збірника зворотної води (1) насосом СМ 150-125-315/4 N- 31 (5) надходить в центр флотаційної комірки DELTAFLOAT DF 25 і розподіляється в напрямку до бокових стінок. Це забезпечує рівномірне розподілення зворотної води по поверхні комірки і тим самим забезпечує високу якість очищення.

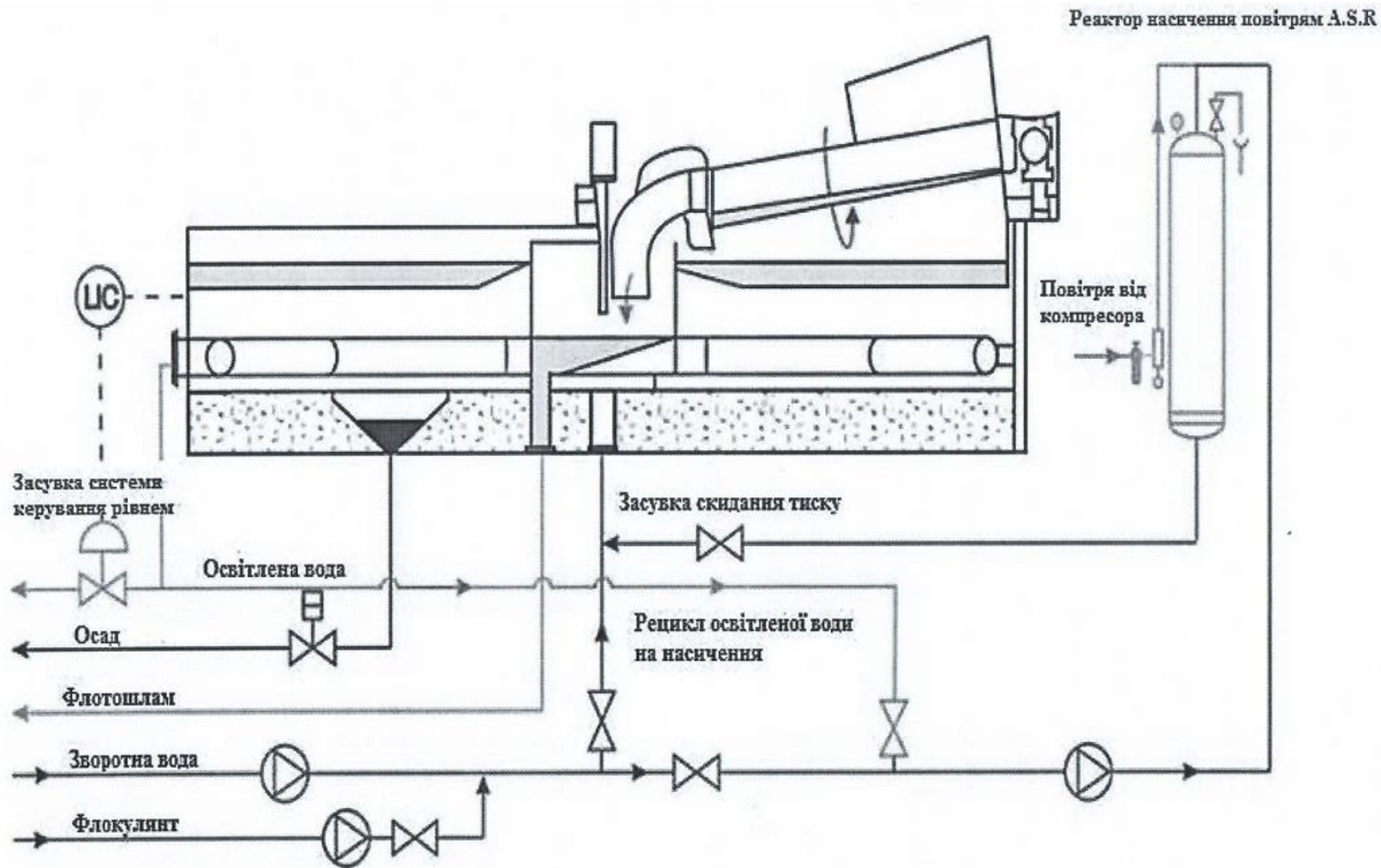


Рисунок 1.2. Флоаційна установка

Флотошлам починає формуватись за внутрішнім стаканом і його густина збільшується у відповідності його розподілення до внутрішніх стінок флотаційної комірки. Сформований флотошлам видаляється спіральним збірником флотошлама, який змонтований на фермі, що рухається і через центральну частину комірки флотатора поступає в бак осаду місткістю 4 м<sup>3</sup> (13), куди періодично скидається осад, що накопичується на дні флотатора шляхом відкриття засувки. Збірник флотошлама складається з двох частин, довжина першої частини дорівнює вільному радіусу флотаційної комірки, а довжина другої дорівнює половині радіуса комірки. При кожному оберті перша частина шламозбірника видаляє флотошлам зі всієї робочої площі комірки, а інша — збирає флотошлам тільки з зовнішньої частини поверхньої комірки. Така система дозволяє досягти рівномірного збору флотошлама з усієї поверхні комірки і підтримувати високу концентрацію флотошлама.

Освітлена вода збирається кільцеподібною трубкою, яка вмонтована у комірку флотатора і через одну або кілька вихідних труб поступає в основний колектор і далі безперервно виводиться через труби в басейн освітленої води місткістю 25 м<sup>3</sup> (11). Обертання вхідних і вихідних труб синхронізовано так, щоб під час флотації вода в резервуарі була нерухома. Таким чином, досягається ефект «нульової швидкості». Це означає, що ефективність наближається до максимальних теоретичних меж. У центральну частину басейну флотатора подається водоповітряна суміш під високим тиском, безпосередньо у водний потік, що подоється знизу. Керування рівнем води і вхідним потоком здійснюється за допомогою керуючої засувки, яка розміщена на вихідному колекторі. Всі змочувані поверхні комірки флотатора самоочищаються в процесі роботи за допомогою системи скребків.

Приготування водоповітряної суміші здійснюється в реакторі насичення рециркуляційної води повітрям A.S.R 0,75 (10), шляхом подачі в установку частини освітленої води після флотатора DELTAFLOAT DF 25 (6) за допомогою насоса підвищеного тиску № 34 (12), куди також подоється стиснуте повітря під тиском 5,5-6,0 бар. При вході до флотатора тиск води падає до нормального, при

цьому виділяється розчинене у воді повітря. Бульбашки повітря підхоплюють наявні в воді забруднення і піднімаються до поверхні води.

У басейні флотатора керований частотним перетворювачем скребок розподіляє воду рівномірно за об'ємом басейну. Швидкість каретки прорахована в співвідношенні якості води, яка надходить на очищення та необхідного ступеня очищення, і його швидкість регулюється автоматично в зв'язку зі зміною рівня води.

### ***Робота реактора насичення повітрям A.S.R 0,75***

Реактор насичення рециркуляційної води повітрям є закритою циліндричною сумністю діаметром 600 мм і довжиною 2400 мм, яка змонтована на металевій підставці.

Принцип дії реактора ґрунтується на розчиненні повітря в воді під тиском.

Камера насичення повітрям призначена для швидкого змішування і розчинення повітря в потоці води в мінімальному просторовому об'ємі. Вода надходить з високою швидкістю в камеру через вхідний направляючий конус і отримує додатковий тангенціальний напрямок руху. Через спеціальні пластикові пластини стиснене повітря надходить в швидкорухаючий спіральний потік води за всією довжиною камери. В результаті змішування дрібних бульбашок повітря з водою відбувається розчинення повітря в воді.

Залишок нерозчиненого повітря збирається в повітряну кишеню в центрі вихрового потоку камери і видаляється через запобіжний повітряний клапан.

Повітряні бульбашки утворюються в процесі роботи наступним чином.

1. Вода під тиском 5,5 – 6,0 бар надходить в систему розчинення повітря A.S.R 0,75 через вхідний штуцер. Вода подається тангенціально і по спіралі рухається за всією довжиною труби.

2. Стиснене повітря інжектуються через спеціальну панель розподілу повітря.

3. Вода і повітря змішуються в трубі протягом 10 секунд і виходять через вихідний штуцер. Нерозчинене повітря збирається в центрі і відводиться через штуцер скидання в центрі труби.

4. Скидання тиску відбувається перед резервуаром. Коли тиск падає, розчинність повітря зменшується, що сприяє утворенню мікроскопічних бульбашок у всьому об'ємі рідини. Швидкість підйому бульбашок повітря нормального розміру повинна бути не швидше, ніж 0,2-0,3 м за хвилину.

З баку-осаду місткістю 4 м<sup>3</sup> (13) шнековим насосом № 38 (14) осад з концентрацією завислих речовин 42000-68000 мг/дм<sup>3</sup> по трубопроводу перекачується на стрічковий фільтр-прес PN 150/9S (15), де відбувається його зневоднення до сухості 40-70%. Також в змішувач, який розташований на трубопроводі за допомогою шнековою насоса (16) через витратомір подається флокулянт LYCRID P-67, попередньо приготований на станції приготування флокулянта (17). Змішаний з флокулянтом осад подається у випускную камеру, в якій розміщена мішалка зі змінним числом обертів для покращення утворення флокул. Сфокульований осад подається на сітковий стіл стрічкового фільтр-преса PN 150/9S (15), де проходить часткове зневоднення осаду. В кінці сіткового столу частково зневожнений осад притискається верхньою сіткою і поступає на зневоднювальний барабан, а далі – в зону пресування. В кінці зони пресування зневоднений осад знімається з сіток на причіп за допомогою шаберів. По мірі накопичення осаду на причепі він періодично (приблизно один раз за зміну) вивозиться на гідроізолюваний майданчик. Вода після зневоднення осаду, а також вода після промивання фільтрувальних сіток змішується в піддоні, який розміщений внизу стрічкового фільтр-преса PN 150/9S (15), та самопливом по трубопроводу поступає в бак забрудненої осадом води місткістю 1,5 м<sup>3</sup> (18), звідки насосом СМ 80-50-200 №33 (19) перекачується в баки-накопичувачі зворотних вод (дифузори) (20).

Осад (скоп) після зневоднення на стрічковому фільтр-пресі PN 150/9S (15) згідно з ТУ У 17.1-22351935-003:2020 «Скоп волокнистий макулатурний. Технічні умови» може застосовуватись:

- для проведення робіт з благоустрою, плануванню територій, рекультивації порушених земельних ділянок (засипання кар'єрів, ярів, каналів, силосних ям та інше);

- як композиційна складова субстрату при вирощуванні рослин спеціального призначення — дерево-чагарникових насаджень на землях санітарно-захисних зон полігону (ззовні полігону);
- як ізолюючий матеріал для захоронення побутових відходів;
- як компонент при виготовленні будівельних матеріалів та покриттів доріг;
- як компонент при виготовленні паливних брикетів.

Вода із басейна освітленої води місткістю 25 м<sup>3</sup> (11) насосами KSB G 080-315 SP № 35 (21) або KSB G 080-315 SP № 36 (22) подається для технологічних потреб на різних стадіях приготування маси та виробництва паперу замість свіжої води:

- на вакуум-насоси ПРМ № 1 та № 2;
- на сприски зневоднювального барабану СЕП 900;
- на сприски грудного валу ПРМ № 1, ПРМ № 2 та згущувачів;
- на промивання відходів очищувачів VS-25М, ОМ-02;
- на промивання відходів сортувалок грубого сортування VDT-20 або/та VDT-30 та тонкого сортування «DIABOLO DT-1» або/та STU-80;
- на промивання відходів другого ступеня очищення УВК ПРМ № 1 та ПРМ № 2;
- на регулятори концентрації в робочому басейні та БПУ ПРМ № 1 та ПРМ № 2;
- в систему пиловловлювання;
- в підсіткову ванну ПРМ № 1 та ПРМ № 2 (при пуску ПРМ № 1 та ПРМ № 2).

Частина освітленої води подається на доочищення на піщаний фільтр ОМЕГАФІЛЬТРА OF 4 (23) (рис.1.3).

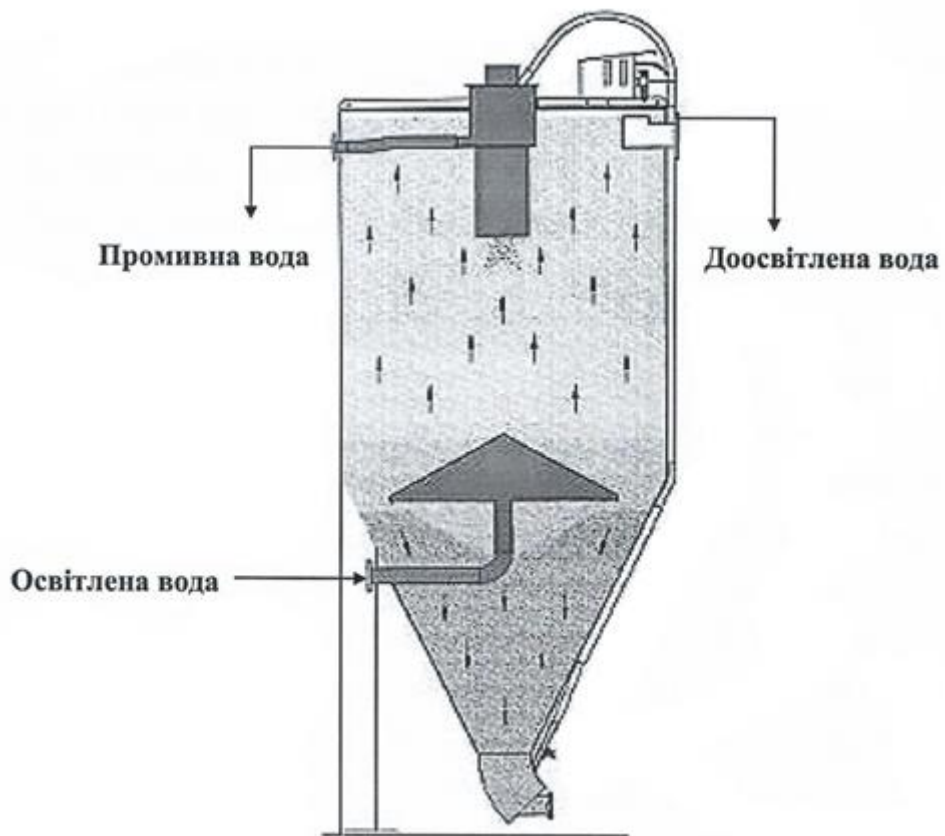


Рис.1.3. ОМЕГАФІЛЬТР OF 4

Процес доочищення освітленої води до рівня завислих речовин 10-15 мг/дм<sup>3</sup> проводиться за схемою: освітлена вода подається через нижній конусний сектор піщаного фільтра ОМЕГАФІЛЬТРа OF 4 (23), який рівномірно розподіляє потік води, що поступає за всією площею фільтра. Потік води спрямовується вгору через піщаний фільтр, залишаючи в ньому тверді фракції, і доочищена вода видаляється через верхній переливний патрубок. Забруднений важкий пісок спрямовується до нижньої частини фільтра і за допомогою ерліфтного насоса подається у верхню частину на вузол промивання. Під час турбулентного перемішування брудні частинки, що містилися в піску відокремлюються. Пісок опускається вниз, і потік води, що рухається назустріч здійснює промивання забруднень.

Забруднена вода видаляється через спеціальний патрубок, а очищений пісок повертається у верхню частину фільтрувального шару. В результаті, фільтрувальний шар знаходиться в постійному повільному русі. Таким чином і

очищення освітленої води і промивання піску здійснюється постійно, що дозволяє фільтру працювати в безперервному режимі.

Вода з промивання з рівнем завислих речовин - 800 мг/дм<sup>3</sup> самопливом по трубопроводу подається в бак забрудненої осадам води (18). При сильному забрудненні піщаного фільтра передбачено його автоматичне промивання свіжою водою, яка подається у вхідний трубопровід на заміну освітленої води. Приблизний час промивання свіжою водою становить 120 хв.

Доосвітлена вода з піщаного фільтра ОМЕГАФІЛЬТРА OF 4 (23) надходить в бак доосвітленої води місткістю 10 м<sup>3</sup> (24), яка насосом високого тиску № 43 (25) подається на спринки для промивання фільтрувальних сіток стрічкового фільтр-преса PN 150/9S. В бак доосвітленої (24) та освітленої води (11) за потреби також надходить технічна вода.

Надлишок води із басейна освітленої води (11) об'ємом 1065 м<sup>3</sup> надходить на поля фільтрації.

### 1.3.3. Поля фільтрації

Санітарно-захисна зона від полів фільтрації складає 300 м згідно з ДБН В.2.5—75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування» та «Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів».

Процес очищення стічних вод на полях фільтрації - це сукупність складних фізико-хімічних і біохімічних процесів. Сутність його полягає в тому, що при проходженні стічних вод через ґрунт у верхньому його шарі затримуються зважені і колоїдні речовини, що утворюють на поверхні частинок ґрунту густо заселену мікроорганізмами плівку. Ця плівка адсорбує на своїй поверхні органічні речовини і переводить їх в розчинний стан. Використовуючи кисень, здатний проникати в пори ґрунту, мікроорганізми переробляють розчинні органічні речовини в мінеральні сполуки.

Формування біоплівки йде послідовно і займає проміжок часу від півроку до року. У цей період стоки знезаражуються і можуть відводитися в відкриті водойми.

С.м.т. Гніздичів, де розташовані поля фільтрації АТ «Кохавинська паперова фабрика», віднесено до західного регіону. За природними умовами територія належить до рівнинної зони, тому поля фільтрації мають рівнинний рельєф.

Розрахунок полів фільтрації проводять по середньодобовій нормі навантаження, тобто кількості стічних вод, що приходиться на 1 га площі полів у середньому за добу протягом року.

Корисна площа для полів фільтрації ( $F_{ф.кор.}$ ) визначається за формулою:

$$F_{ф.кор.} = \frac{Q_w}{q_{\phi}}, \text{ га}$$

де  $Q_w$  — середньодобова витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/добу;

$q_{\phi}$  — навантаження стічних вод на поля фільтрації на добу, м<sup>3</sup>/добу.

Навантаження стічних вод на поля фільтрації на добу вказано у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3.

Навантаження стічних вод на поля фільтрації

Ґрунти	Середньорічна температура повітря, °С	Навантаження стічних вод, м <sup>3</sup> /(га доб), при заляганні ґрунтових вод на глибині, м		
		1,5	2	3
Легкі суглинки	від 0 до 3,5	-	55	60
	від 3,5 до 6	-	70	75
	від 6 до 11	-	75	85
	понад 11	-	85	100
Супісок	від 0 до 3,5	80	85	100
	від 3,5 до 6	90	100	120
	від 6 до 11	100	110	130
	понад 11	120	130	150
Пісок	від 0 до 3,5	120	140	180
	від 3,5 до 6	150	175	225
	від 6 до 11	160	190	235
	понад 11	180	210	250

Примітка: 1. Навантаження вказано для районів зі середньорічною кількістю атмосферних опадів від 300 до 500 мм.

Фільтруючими породами згідно аналізу фактичних геологічних матеріалів є піски глинисті та дрібнозернисті з перешаруванням з піском середньо- та крупнозернистим загальною потужністю до 22 м.

Загальна корисна площа полів фільтрації АТ «Кохавинська паперова фабрика» становить 60710 м<sup>2</sup> (6,071) га (57740 м<sup>2</sup> поля фільтрації промислових стоків та 2970 м<sup>2</sup> господарсько — побутових стоків). За добу на поля фільтрації поступаю 1065 м<sup>3</sup> зворотних (стічних вод).

Поля фільтрації складаються із спланованих земельних ділянок, які називаються картами з майже горизонтальною поверхнею площею 1,0-1,6 га. Кожна карта по периметру обмежена земляними валами, висотою 0,8-1,0 м. Стічні води на поля фільтрації подають в найвищу точку через розподільчий колодязь і далі в мережу розподільчої системи кожного поля окремо.

Стічна вода розподіляється по окремих картках каскадною системою (переливними, розвідними трубопроводами). Розміри карт полів фільтрації визначають залежно від рельєфу місцевості, загальної робочої площі полів, способу обробки ґрунту, кількості стічних вод, що очищуються. Відношення ширини карти до довжина слід приймати від 1:2 до 1:4. Огороджувальні валики карт влаштовуються висотою до 1 м з укосом стінок 1:2. При цьому різниця відміток сусідніх карт біля поділяючого валика не повинна перевищувати 0,8—1,0 м для запобігання просочуванню води з верхньої карти у нижню і сповзання укосів.

Випуск стічних вод на поля фільтрації здійснюють періодично після того, як профільтрується вся вода і зневодиться верхній шар ґрунту з товщиною до 1,5 м, що забезпечує проникнення у пори ґрунту атмосферного повітря.

Допустимі концентрації забруднювальних речовини в виробничих стічних водах під час їх надходження на поля фільтрації (в середньодобовій пробі), а також ступінь їх видалення в процесі очищення слід приймати згідно з «Правилами приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення», встановлених для конкретних населених пунктів або по Україні.

#### 1.3.4. Очищення господарсько-побутових стічних вод

Господарсько-побутові стічні води – стічні води від санітарно- гігієнічних приміщень, душових, приміщень харчоблоку, пральних машин подаються мережею самопливної каналізації в приймальний колодезь, який оснащений сіткою для уловлення різного роду забруднень. З приймального колодезя господарсько-побутові стічні води насосами СД 32/40 №№104,105 подаються в приймальний колодезь №1, куди також поступаю вода з автомийки.

З приймального колодезя № 1 господарсько-побутові стічні води направляються до приймального колодезя № 2 і на установку біологічного очищення «BIOTAL-100-ВМК». Регулювання подачі господарсько-побутових стічних вод до приймального колодезя №2 здійснюється за допомогою засувки.

Установка біологічного очищення «BIOTAL-100-ВМК» встановлена на території АТ «Кохванська паперова фабрика». Розмір санітарно-захисної зони згідно з ДБН Б.2.2-12 і ДБН Б В.2.5-75 становить 15 м.

Установка біологічного очищення «BIOTAL-100-ВМК» складається з окремих споруд — спеціального будинку, в якому розташоване технологічне обладнання (SBR-2,3 реактори (4 шт.), компресори, фільтри) та 7 підземних монолітних залізобетонних колодезів діаметром 2,0 м (приймальні колодезі (3 шт.), SBR-1 реактори (4 шт.)).

Установка «BIOTAL-100-ВМК» встановлена в приміщенні, яке захищено від дії атмосферних опадів та безпосереднього попадання прямих сонячних променів, вологи та пилу, з підтриманням постійної вентиляції та температури повітря не нижче ніж + 5 °С.

На установку біологічного очищення стічних вод «BIOTAL-100-ВМК» дозволяється скидати господарсько-побутові стічні води без перевищення гранично-допустимих концентрацій забруднень, встановлених в «Правилах приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення», затверджених наказом №9 316 від 01.12.2017р. Міністерством регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України (а саме: рН - 6,5-9,0; температура - не більше ніж 40 °С; нафта та нафтопродукти - не

більше ніж 20 мг/дм<sup>3</sup>; жири - не більше ніж 50 мг/дм<sup>3</sup> тощо), та в кількості, що не перевищує добову продуктивність установки 100 м<sup>3</sup>/добу.

Господарсько-побутові стічні води після механічного очищення перетікають від першого до третього реактора SBR-1 і частково біологічно очищуються, піддаючись багаторазовим, циклічно повторюваним процесам аерації і перемішування при дефіциті повітря, завдяки чому тут також відбувається процес денітрифікації при наявності нітритів і нітратів, що надійшли зі зворотним активним мулом з SBR-2 і SBR-3. При цьому активний мул постійно циркулює між реакторами SBR-1, тим самим досягається поетапна адаптація мікроорганізмів активного мулу з поетапним розбавленням господарсько-побутових стічних вод повторно-використаним мулом по ходу руху від першого до третього SBR-1 реактора.

Господарсько-побутові стічні води, що пройшли обробку в SBR-1, реверсними ерліфтами перетікають в SBR-2. В SBR-2, аналогічно з SBR-1, мулова суміш піддається багаторазовим, циклічно повторюваним, процесам аерації і перемішування.

Оскільки в SBR-1 окислюється більше ніж 50% органіки, то в SBR-2, паралельно з подальшим окисленням органіки, починається процес нітрифікації. Частково очищені стічні води з SBR-2 перекачуються реверсними ерліфтами в SBR-3.

Знезараження господарсько-побутових стічних вод здійснюється за допомогою розчину гіпохлориту натрію, який подаються невеликими дозами насосом-дозатором. Розрахункова доза активного хлору складає 3г/м<sup>3</sup> води.

Установка біологічного очищення «BIOTAL» працює автоматично і не потребує щоденного обслуговування. Контроль за станом роботи установки здійснюють представники уповноважених ТОВ «BIOTAL» сервісних центрів. Установка біологічного очищення «BIOTAL» є системою закритого типу, що виключає шкідливі викиди забруднюючих речовин в атмосферу.

Очищені господарсько-побутові стічні води відкачуються з SBR-3 і надходять в нижню частину RBF і далі на поле фільтрації (картам№ 12, загальною площею 2970 м<sup>2</sup>).

Твердими відходами від роботи очисних споруд є надмірний мул, який збирається в окремих колодязях. Кількість мулу з очисних споруд не перевищує 25 кг/добу, у зв'язку з цим проводиться спорожнення колодязів для надлишкового мулу 2 рази на рік. Зброджений, знезаражений мул вибирається з колодязів і використовується для приготування компостних добрив.

### 1.3.5. Приготування та дозування хімікатів

#### *Приготування та дозування флокулянта LYCRID N 12*

Станція приготування Alldos Polydos 412 призначена для приготування розчину флокулянта з сухих та рідких речовин.

Станція приготування Alldos Polydos 412 працює в автоматичному режимі з максимальною продуктивністю 1,0 м<sup>3</sup>/год за концентрації 0,05 – 1,0 % і складається з:

- трьохкамерної ємності;
- ультразвукового сенсора;
- дозатора для сухої речовини;
- змішувача;
- мішалок;
- ротаметра продуктивністю 3000 дм<sup>3</sup>/год;
- запірнього клапана;
- магнітного клапана;
- редукційного клапана;
- шнековий насос потужністю 80-400 дм<sup>3</sup>/год;
- панель керування.

Приготування та подача флокулянту здійснюється автоматично з постійною і покроковою підготовкою розчину флокулянта по трикамерному проточному принципу.

Ємність розділена на три камери. Камери розбавлення, дозрівання і дозування забезпечують необхідний час дозріванню. Розділення ємності запобігає змішуванню готового і свіжого розчинів флокулянта, а також забезпечує постійний і безперебійний відбір розчину.

Після досягнення мінімального рівня LSA - (рис.2.4) автоматично відкривається магнітний клапан і вода надходить в камеру розчинення.

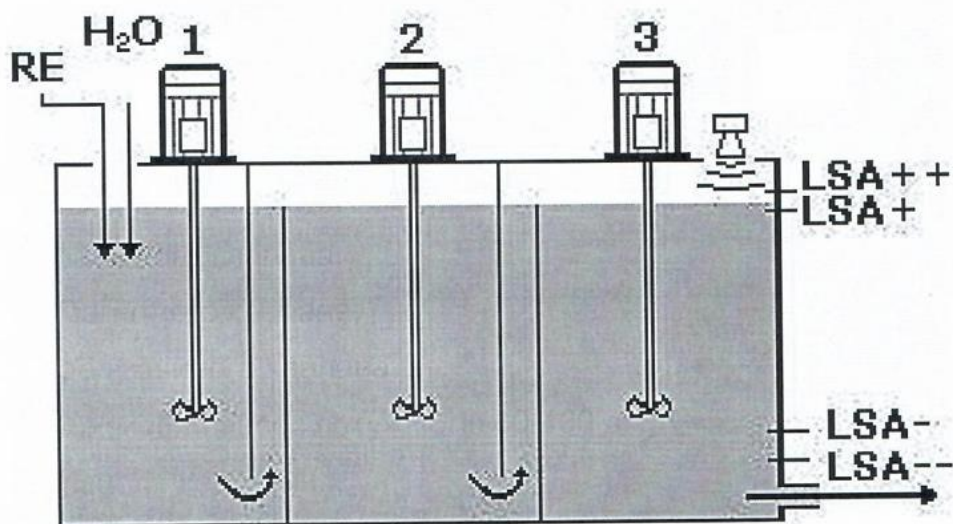


Рис.2.4. Схема роботи станції

Контактний витратомір вимірює витрату води. Якщо витрата води достатня, то вмикається в роботу дозатор сухої речовини. Дозатор сухої речовини працює не постійно, а у визначеному циклі. Час дозування складає 10 секунд.

Сухий флокулянт поступає у змішувач. Завдяки особливій конструкції змішувача, вода створює вакуум, що забезпечує швидке пиловловлювання і запобігає її осадженню в змішувачі і утворенню наростів флокулянта. Змішувач забезпечує перше початкове змочування сухого флокулянта водою.

В першій камері розбавлений розчин флокулянта LYCRID N 12 переливається між стінками першої та другої камери в камеру дозрівання. Після визначеного часу дозрівання розчин флокулянта LYCRID N 12 попадає в камеру

дозування і звідки готовий розчин дозується шнековим насосом SYDEX в потік зворотної води перед входом на флотатор DELTAFLOAT DF 25.

Після досягнення рівня LSA+ дозатор сухої речовини припиняє дозування, але вода ще деякий час продовжує надходити в камеру розчинення і змішування, і тим самим запобігає утворенню налипання флокулянта.

#### *Приготування та дозування флокулянта LYCRID P 67*

Станція приготування флокулянта SP 2000 призначена для приготування розчину флокулянта з сухих речовин.

Станція приготування SP 2000 флокулянта LYCRID P 67 з максимальною продуктивністю 1,0 м<sup>3</sup>/год за концентрації 0,05-0,5% і складається з:

- дозатора;
- бункера сухого флокулянта;
- апарата для розчинення;
- мішалки для готового розчину;
- мішалки для камери приготування;
- мішалки для камери змішування;

Максимальна пропускна здатність станції складає 2000 дм<sup>3</sup>/год.

Порошок флокулянта завантажується в бункер і за допомогою шнекового дозатора подається в центр воронки, куди також тангенціально подається свіжа очищена вода. Вода утворює водоворот, який забезпечує рівномірне змішування сухого флокулянта з водою, утворюючи ефект «вентурі» доти, поки весь порошок не попаде в камеру змішування. В першій і другій камері є мішалки для кращого перемішування.

Розчин флокулянту LYCRID P 67 з бачка готового розчину дозується через витратомір на фільтр-прес PN 150/9S.

#### *Дозування коагулянта Donau Pac Activis*

Коагулянт Donau Pac Activis готовий до використання подається в трубопровід в лінію води на флотатор DELTAFLOAT DF 25 після насоса CM 150-125-315/4 № 31 в кількості заданої з пульта керування.

## 1.4. Висновок

Проблема очищення промислових стічних вод — це не лише екологічна, а й економічна, технічна, правова та соціальна проблема. Її актуальність лише зростає в умовах зміни клімату, скорочення прісноводних ресурсів і посилення екологічних стандартів. Вирішення цієї проблеми є ключовим елементом сталого розвитку промисловості та безпеки довкілля.

Вирішення цієї проблеми потребує таких кроків:

- Впровадження сучасних технологій очищення (мембранні системи, біологічне очищення, адсорбція тощо).
- Створення ефективної системи моніторингу та контролю.
- Залучення державних і приватних інвестицій у сферу водоочищення.
- Підвищення екологічної відповідальності бізнесу.

## РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ПІДБІР МЕТОДИК ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬ-НИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Існуючі методики та методи очищення стічних вод

Фізико-хімічні методи очищення стічних вод відіграють важливу роль в системі очищення промислових стічних вод, особливо коли необхідно видалити важкорозчинні речовини, мінеральні домішки, органічні сполуки і токсичні речовини. Такі методи поєднують фізичні, механічні та хімічні процеси з метою досягнення високого ступеня очищення води. Вони характеризуються високою ефективністю як для очищення побутових стічних вод, так і для промислових підприємств.

#### *Фізичні методи очищення стічних вод*

Фізичні методи очищення стічних вод є одними з найстаріших та найпростіших способів водоочищення. Їх суть полягає у використанні фізичних процесів для видалення зважених речовин та великих часток зі стічних вод без використання хімічних реагентів. Ці методи застосовуються як на початкових етапах очищення, так і для досягнення вищої якості очищення у поєднанні з іншими технологіями.

#### Механічне осадження (відстоювання)

Механічне осадження, або відстоювання, — це один із базових методів механічного очищення стічних вод, який використовується для відокремлення завислих частинок під дією сили тяжіння. Процес полягає в тому, що забруднена вода надходить у спеціальні резервуари — відстійники, де її рух значно сповільнюється. Коли швидкість потоку стає мінімальною, тверді частинки, густина яких вища за густину води, поступово опускаються на дно, утворюючи осад, тоді як легкі домішки можуть спливати на поверхню у вигляді піни чи плівки. Таким чином вода освітлюється, а механічні забруднення видаляються з її складу без використання будь-яких хімічних реагентів.

Відстоювання широко застосовується для очищення стічних вод побутового й промислового походження. Воно дозволяє видалити пісок, грубі та середньодисперсні частинки, волокнисті домішки, які часто зустрічаються у

целюлозно-паперовій промисловості, а також частину органічних речовин, що перебувають у зваженому стані. Ефективність процесу визначається розміром та густиною частинок, температурою і в'язкістю води, а також часом перебування стоків у відстійнику.

Конструктивно відстійники бувають горизонтальні, вертикальні, радіальні та тонкошарові. У горизонтальних спорудах вода рухається паралельно до поверхні, і частинки осідають поступово в міру просування потоку. Вертикальні відстійники забезпечують рух води знизу догори, завдяки чому тверді домішки осідають у центральній частині резервуара. Радіальні відстійники мають круглу форму, і рух води в них відбувається від центру до периферії, що забезпечує рівномірний розподіл потоку й зручне видалення осаду. Тонкошарові або ламельні відстійники містять похилі пластини чи трубчасті модулі — вони значно збільшують площу осадження, що дозволяє зменшити розміри обладнання та скоротити час відстоювання.

Сам процес осадження складається з кількох послідовних етапів: рівномірного розподілу потоку води в резервуарі, гравітаційного осідання частинок, накопичення осаду на дні та його видалення спеціальними механізмами, а також відведення освітленої води через переливи або лотки. Тривалість відстоювання залежить від типу відстійника й характеру забруднень: для первинних споруд вона становить приблизно дві години, для вторинних — до трьох, тоді як у тонкошарових установках процес може тривати лише кілька хвилин.

Перевагами механічного осадження є простота, низькі енергетичні витрати, надійність і можливість очищення великих обсягів води. Однак метод не дозволяє повністю видалити дрібнодисперсні та колоїдні частинки, тому часто використовується як попередній етап перед біологічним чи фізико-хімічним очищенням. Незважаючи на обмеження, відстоювання залишається одним із найважливіших процесів у системах очищення стічних вод, оскільки суттєво знижує навантаження на подальші етапи та забезпечує стабільну роботу всієї технологічної лінії.

## Сита та решітки

Використання сит і решіток є одним із найперших і найпростіших етапів механічного очищення стічних вод, який дає змогу видалити з потоку великі та грубодисперсні тверді домішки. Коли забруднена вода надходить на очисні споруди, вона проходить через металеві решітки або сита з певним розміром отворів. Через ці отвори проходить сама рідина, тоді як великі частинки — ганчір'я, пластик, деревина, шматки паперу, листя, побутове сміття та інші грубі забруднення — затримуються на поверхні. Такий етап очищення необхідний для того, щоб запобігти засміченню насосів, трубопроводів, пісколовок та іншого обладнання, яке є вразливим до крупних фракцій.

Решітки можуть бути грубого, середнього та тонкого очищення залежно від ширини між прутами: від кількох сантиметрів у найпростіших варіантів до кількох міліметрів у тонких решіток. У промисловості та на сучасних міських очисних спорудах часто застосовують механізовані решітки, де очищення поверхні від накопичених відходів здійснюється автоматично за допомогою гребків або транспортерних пристроїв. Це значно зменшує потребу в ручній праці та дозволяє безперервно підтримувати пропускну здатність системи. У менш складних або невеликих системах інколи використовують ручні решітки, які потребують періодичного очищення оператором.

Сита, на відміну від решіток, мають менший розмір отворів і здатні затримувати дрібніші частинки. Вони застосовуються тоді, коли необхідно підвищити якість механічного очищення або коли стічні води містять багато волокнистих матеріалів, як у целюлозно-паперовій промисловості. Сита можуть бути плоскими або циліндричними, працювати в режимі постійного потоку або мати обертову конструкцію, яка полегшує знімання затриманого матеріалу.

Проходження стоків через решітки та сита не тільки покращує загальну якість очищення, а й значно підвищує надійність наступних етапів, таких як відстоювання, флотація, біологічне очищення чи фільтрація. Видалені тверді домішки збираються окремо, зневоднюються та вивозяться на подальшу

утилізацію. Таким чином цей початковий етап є ключовим для забезпечення ефективної роботи всієї системи очищення стічних вод.

### Фільтрація

Фільтрація є одним із найважливіших методів механічного та фізико-хімічного очищення стічних вод, який ґрунтується на пропусканні води через шар пористого матеріалу. У процесі фільтрації тверді частинки та частина колоїдних речовин затримуються в товщі фільтрувального завантаження, а очищена вода проходить далі. Метод використовується як на етапах попереднього, так і на стадіях доочищення та знесолення води.

Суть процесу полягає в тому, що стічна вода рівномірно подається на поверхню фільтра, після чого проходить крізь спеціально підібраний фільтруючий шар. Завантаженням можуть бути пісок, гравій, антрацит, подрібнений шлак, гранульовані полімери, активоване вугілля та навіть мембранні матеріали в сучасних системах. Частинки забруднень затримуються завдяки їхньому розміру, формі, адгезійним властивостям, а також фізичним процесам, що відбуваються всередині шару: механічному просіюванню, прилипанню, захопленню у мікропорах і дифузійному переносу.

Фільтри поділяють на повільні та швидкі залежно від швидкості руху води. Повільні піщані фільтри працюють із низькою швидкістю та забезпечують високу якість очищення, оскільки частинки затримуються не лише механічно, а й завдяки біологічній плівці, яка утворюється на поверхні фільтрувального шару. Швидкі фільтри зазвичай використовуються після коагуляції та відстоювання, коли необхідно видалити залишкові пластівці та дрібнодисперсні частинки. Вони мають значно більшу пропускну здатність, але потребують регулярного промивання, яке здійснюється зворотним потоком води або водоповітряної суміші для видалення накопичених забруднень.

Особливе місце займає глибока фільтрація, коли вода очищується не лише на поверхні, а й у всьому об'ємі фільтрувального шару. Такі системи забезпечують високу ступінь затримання завислих речовин і використовуються у випадках, коли потрібна майже питна якість очищеної води. Ще один напрям

розвитку технологій — мембранна фільтрація, що включає мікрофільтрацію, ультрафільтрацію, нанофільтрацію та зворотний осмос. Тут очищення відбувається через напівпроникні мембрани, які затримують навіть найдрібніші частинки, бактерії, віруси та розчинені солі.

У системах очищення стічних вод фільтрація відіграє роль завершального бар'єру, який дозволяє досягти високої прозорості води, видалити залишки завислих і тонкодисперсних речовин, зменшити концентрацію органічних домішок та підготувати воду для подальшого знезараження або технічного використання. З огляду на свою ефективність, універсальність та порівняно невисокі експлуатаційні витрати фільтрація є одним із ключових процесів у сучасних водоочисних технологіях.

### Центрифугування

Центрифугування є методом розділення стічної води на тверду й рідку фракції за допомогою відцентрової сили, яка у багато разів перевищує силу тяжіння. На відміну від відстоювання, де частинки осідають повільно під дією гравітації, у центрифугуванні вони розділяються значно швидше завдяки високій швидкості обертання барабана. Принцип роботи полягає в тому, що стічна вода надходить у обертову камеру, де тверді частинки, які мають більшу густину, відкидаються до стінок барабана, утворюючи шар осаду, а рідка частина збирається ближче до центру й відводиться окремим каналом. У результаті за короткий час вдається отримати добре зневоднений осад і майже повністю освітлену рідину.

Центрифугування особливо ефективно у випадках, коли стічні води містять тонкодисперсні частинки або коли звичайне відстоювання займає надто багато часу. Метод широко застосовується для обробки активного мулу, шламів промислових підприємств, а також для зневоднення осаду, що утворюється після фізико-хімічного очищення. Завдяки високій продуктивності центрифуги дозволяють суттєво зменшити об'єм осаду, що підлягає подальшій утилізації або компостуванню.

Сучасні центрифуги можуть бути різних типів — дискові, барабанні, декантерні. Декантерні центрифуги є найпоширенішими в очищенні стічних вод, оскільки працюють безперервно, здатні обробляти великі об'єми та забезпечують стабільне зневоднення. Процес центрифугування може поєднуватися з додаванням флокулянтів, які сприяють укрупненню частинок і підвищують якість розділення.

Перевагами цього методу є висока швидкість, компактність обладнання, можливість автоматизації та ефективна робота з важкими для осадження частинками. Однак центрифуги мають і недоліки: вони є енерговитратними, вимагають регулярного технічного обслуговування та мають більш складну конструкцію порівняно з традиційними механічними спорудами. Незважаючи на це, центрифугування залишається одним із найефективніших способів швидкого та глибокого відокремлення твердих домішок зі стічних вод, особливо в промислових системах очищення.

### Флотація

Флотація — це фізико-хімічний метод очищення стічних вод, який ґрунтується на прикріпленні найдрібніших забруднень до повітряних пухирців та їх піднятті на поверхню води. Оскільки багато частинок мають малу густину або погано осідають у звичайних умовах, флотація дозволяє ефективно виділити їх у вигляді піни, що легко знімається механічними пристроями. Такий спосіб особливо корисний тоді, коли традиційне відстоювання є неефективним або потребує надто багато часу.

Процес флотації починається з подачі стічної води у спеціальний апарат — флотаційну камеру, у якій створюється потік дрібних повітряних бульбашок. Вони утворюються внаслідок розчинення повітря під тиском і його раптового вивільнення у воду (напірна флотація), механічного диспергування повітря мішалками або подачі газу через пористі матеріали. Коли бульбашки пролітають крізь воду, вони прилипають до гідрофобних або легких частинок — жирів, нафтопродуктів, волокон, дрібних завислих речовин — і утворюють «флотокомплекси». Завдяки цьому комплекси стають значно легшими та швидко

підіймаються на поверхню, формуючи стійкий шар піни або суспензії. Цей шар періодично знімається скребками або переливається у спеціальний лоток для подальшої утилізації.

Флотація широко застосовується в різних галузях. У харчовій промисловості її використовують для видалення жирів та білкових залишків, у нафтопереробці — для вилучення нафтопродуктів, у целюлозно-паперовій промисловості — для видалення дрібних волокон, клеїв та наповнювачів. Особливо ефективною є напірна флотація (DAF), де утворюються надзвичайно малі бульбашки, які можуть підняти навіть тонкодисперсні частинки та забезпечити високу прозорість очищеної води. Часто процес поєднують із коагулянтами та флокулянтами, які укрупнюють частинки і полегшують їх захоплення пухирцями.

Перевагами флотації є швидкість процесу, можливість видалення важкоосаджуваних домішок, висока ефективність для жирів та легких органічних речовин, а також порівняно компактне обладнання. Однак метод потребує енергії для створення тиску чи роботи мішалок, чутливий до якості попереднього підготовки стоку і може давати велику кількість піни, яку потрібно правильно утилізувати.

У результаті флотація забезпечує глибоке очищення стічної води від легких, дрібних і гідрофобних забруднень, підвищує ефективність наступних етапів очищення та часто використовується як ключовий метод у системах обробки промислових стоків.

### Аерація

Аерація — це процес насичення води киснем шляхом пропускання через неї повітря або механічного перемішування. Аерація сприяє як очищенню, так і біологічним процесам в подальших етапах, активуючи розкладання органічних речовин. Це процес насичення стічної води повітрям або чистим киснем, який застосовується передусім у біологічному очищенні. Її основна роль полягає в забезпеченні мікроорганізмів достатньою кількістю кисню, необхідною для окиснення органічних забруднень. У присутності кисню бактерії активно

розкладають органічні речовини, перетворюючи їх на воду, вуглекислий газ та стабільний активний мул. Саме тому аерація є ключовою частиною роботи аеротенків — основних споруд біологічного очищення.

Процес полягає в подачі повітря у воду за допомогою компресорів і спеціальних пристроїв — аераторів. Це можуть бути дрібнопухирчасті дифузори, які створюють мікроскопічні бульбашки з великою площею поверхні, або механічні поверхневі аератори, що перемішують воду і насичують її киснем за допомогою інтенсивного турбулентного перемішування. Чим дрібніші бульбашки повітря, тим ефективніше збагачення води киснем, оскільки вони довше перебувають у товщі рідини й швидше розчиняються.

Аерація виконує кілька важливих функцій. Окрім постачання кисню, вона забезпечує безперервне перемішування мулової суміші, запобігаючи утворенню зон застою та осіданню активного мулу на дні споруди. Це створює рівномірні умови для роботи мікроорганізмів у всьому об'ємі аеротенка. Також аерація сприяє видаленню з води летких речовин, наприклад сірководню, аміаку або вуглекислого газу, зменшуючи неприємні запахи та покращуючи загальну якість стоку. У деяких випадках її використовують для окиснення неорганічних сполук, наприклад, переведення розчиненого заліза та марганцю в нерозчинні форми, які потім легко видалити механічним способом.

Існує кілька режимів аерації: інтенсивна для глибокого окиснення органічних речовин, помірна для підтримання мінімального рівня кисню або переривчаста, яка використовується у системах з оптимізацією енергоспоживання. Правильно підібрана аерація визначає ефективність очищення: якщо кисню замало, процеси гниття починають переважати, а якість очищення різко погіршується; якщо його занадто багато, система стає енерговитратною без суттєвого приросту ефективності.

Таким чином, аерація є невід'ємним етапом біологічного очищення стічних вод. Вона забезпечує життєдіяльність мікроорганізмів, підтримує рівномірну структуру мулової суміші, сприяє окисненню органічних і деяких неорганічних сполук та створює умови для отримання якісно очищеної води.

## Гідроциклони

Гідроциклони використовуються для відділення твердих часток від води за допомогою відцентрової сили. Вони ефективні при очищенні води від піску та інших твердих домішок і працюють на основі гідродинамічних принципів.

Гідроциклони для очищення стічних вод — це спеціальні апарати, призначені для механічного виділення твердих частинок із рідини за рахунок дії відцентрових сил, що виникають у закрученому потоці. На відміну від традиційного відстоювання, де осаджування частинок відбувається під дією гравітації і потребує тривалого часу, гідроциклони дозволяють виділяти тверді домішки значно швидше, при цьому обладнання займає менше місця і не має рухомих механічних частин, що спрощує експлуатацію.

Принцип роботи гідроциклону полягає в подачі стічної води тангенціально у циліндрично-конічний корпус апарата, що створює потужний вихровий рух. Під дією відцентрової сили важкі частинки, такі як пісок, мул, волокна, частинки глини або шламу, відкидаються до стінок корпусу і рухаються вниз у конусну частину, звідки вони виводяться у вигляді згущеного осаду. Легка, майже очищена вода рухається всередині вихрового потоку до центральної частини апарата і відводиться через верхній патрубок. Таким чином відбувається швидке і ефективне розділення твердих і рідких фаз.

У системах очищення стічних вод гідроциклони застосовують на різних стадіях. Найчастіше їх використовують для попереднього виділення піску і грубих завислих частинок перед відстійниками, щоб зменшити навантаження на них, або для згущення осаду після фізико-хімічного або біологічного очищення перед подальшим зневодненням у центрифугах або на фільтр-пресах. Ефективність роботи гідроциклонів залежить від швидкості подачі води, розміру та густини частинок, перепаду тиску та геометрії апарата.

Основними перевагами використання гідроциклонів у системах очищення стічних вод є компактність, безрухомі деталі, висока швидкість обробки великих обсягів рідини, а також здатність значно зменшувати обсяг твердого осаду, що підлягає подальшій утилізації. Завдяки цим властивостям гідроциклони широко

застосовуються в промислових та комунальних системах очищення стічних вод, особливо там, де потрібно ефективно видаляти піщані, мулові або волокнисті домішки.

*Переваги фізичних методів:*

Простота: Методи не вимагають використання хімічних реагентів, що знижує вартість процесу.

Економічність: Витрати на фізичні методи зазвичай нижчі, ніж на хімічні або біологічні методи.

Безпека: Вони не створюють додаткових хімічних забруднень або токсичних відходів.

*Недоліки фізичних методів:*

Фізичні методи не можуть видаляти розчинені речовини або мікроорганізми. Вони ефективні лише для видалення великих і зважених часток, але не здатні видалити дрібнодисперсні або колоїдні речовини.

***Хімічні методи очищення стічних вод***

Хімічні методи очищення стічних вод використовують хімічні реагенти для видалення забруднень і поліпшення якості води. Ці методи є ефективними для видалення розчинених речовин, важких металів, токсичних сполук і біологічних забруднювачів, таких як бактерії або віруси. Вони часто застосовуються у промислових системах водоочищення, де потрібне більш ретельне очищення або обробка спеціальних типів забруднень.

Основні хімічні методи очищення

Коагуляція та флокуляція

Очищення води методами коагуляції та флокуляції — це важливий фізико-хімічний процес, який дозволяє видаляти з води колоїдні, дрібнодисперсні та органічні забруднення, які важко вилучити іншими механічними методами.

Коагуляція полягає в додаванні до води спеціальних хімічних реагентів — коагулянтів (наприклад, сірчаноокислого алюмінію, хлориду заліза, полімерних сполук). Ці речовини нейтралізують електричний заряд колоїдних частинок і

стабілізованих завислих речовин, які зазвичай відштовхуються одна від одної і не осідають. Внаслідок цього відбувається їх агрегація — злипання у більші утворення, які вже здатні ефективніше осідати або утворювати осад.

Флокуляція — це наступний етап, коли ці дрібні скупчення (флокули) збільшуються у розмірі завдяки додаванню флокулянтів (наприклад, полімерів або інших полісахаридів) і механічному перемішуванню. В результаті утворюються великі агрегати, які легко відокремлюються від води за допомогою відстоювання, фільтрації або флотації.

Ці методи зазвичай застосовують після первинного механічного очищення, щоб значно підвищити якість води перед біологічною обробкою або безпосередньо для очищення технічної чи питної води. Коагуляція і флокуляція дозволяють знизити мутність, кольоровість, вміст органічних речовин, важких металів і деяких мікроорганізмів.

На практиці процес відбувається в спеціальних камерах або реакторах, де спочатку додають коагулянт, проводять швидке перемішування для розподілу реагенту, а потім повільне перемішування для формування флокул. Далі вода подається у відстійники, де зважені флокули осідають на дно, а очищена вода переходить на наступні етапи обробки.

Ця технологія є ефективною, порівняно простою і широко використовується у водоочисних спорудах міського і промислового призначення.

### Окислення

Окислення в очищенні води — це фізико-хімічний процес, під час якого шкідливі органічні речовини, деякі мінеральні домішки, розчинені метали та мікроорганізми перетворюються в менш токсичні або більш легко видаляються форми за допомогою окисників. Основна мета окислення — знизити забрудненість води, покращити її якість і підготувати до подальших етапів очищення.

Для окислення використовують різні реагенти: хлор, озон, пероксид водню, кисень, а також комбіновані системи, наприклад, озон у поєднанні з

ультрафіолетом. Вибір окисника залежить від характеру забруднень, необхідної ефективності і умов обробки.

Процес окислення може знищувати бактерії, віруси, руйнувати органічні сполуки, зокрема феноли, нафтопродукти, пестициди, а також переводити розчинені залізо і марганець у нерозчинні форми, які потім видаляють механічними методами. Крім того, окислення сприяє розкладанню запахів і кольорових домішок.

Окислювальні процеси можуть проходити як у вигляді контактних реакторів, так і безпосередньо у воді при підвищеній інтенсивності перемішування та подачі окисника. Контроль параметрів — концентрації окисника, часу контакту, рН та температури — є важливим для досягнення максимального ефекту без утворення шкідливих побічних продуктів.

### Нейтралізація

Нейтралізація передбачає додавання кислот або лугів для коригування рівня рН стічної води. Цей процес важливий для усунення агресивності води перед подальшими етапами очищення або скиданням її в довкілля. В основному нейтралізація проводиться для кислотних або лужних промислових стоків.

Процеси нейтралізації в очищенні води — це хімічні реакції, спрямовані на регулювання кислотно-лужного балансу (рН) стічної води. Вони є важливим етапом підготовки води для подальшої обробки або безпечного скиду в навколишнє середовище, оскільки значне відхилення рН від нейтральних значень (приблизно 7) може бути шкідливим для живих організмів, пошкоджувати очисне обладнання та знижувати ефективність інших технологічних процесів.

Нейтралізація здійснюється за допомогою додавання до води кислот або лугів, залежно від її початкової реакції. Якщо вода має підвищену кислотність (низьке рН), до неї додають лужні речовини, наприклад гідроксид натрію (каустична сода), карбонат кальцію або вапно. Якщо ж вода лужна (високе рН), використовують кислоти — сірчану, соляну або фосфорну в розведеному вигляді.

Під час нейтралізації відбуваються хімічні реакції між кислотами та лугами, у результаті яких утворюються вода і солі, що зазвичай мають нейтральний рН. Цей процес часто проводять у спеціальних реакторах або змішувальних камерах з ретельним перемішуванням для досягнення однорідності та швидкості реакції.

Контроль рН є критичним, оскільки надмірне зсування у будь-яку сторону може викликати нові проблеми, наприклад осадження нерозчинних солей, які ускладнюють подальше очищення, або корозію обладнання. Тому часто застосовують автоматичні системи дозування реагентів, які підтримують рН у заданих межах.

Процеси нейтралізації використовують як у системах очищення промислових стічних вод, де забруднення можуть бути сильно кислими або лужними, так і в муніципальних очисних спорудах для корекції параметрів перед біологічною обробкою або знезараженням.

#### Осадження (хімічне осадження)

Для видалення з води важких металів або інших розчинених неорганічних речовин використовуються хімічні реагенти, які переводять їх у нерозчинний стан (осад). Зазвичай застосовуються реагенти на основі гідроксидів, карбонатів або сульфідів, що утворюють нерозчинні сполуки, які можна легко відфільтрувати або осадити.

Процеси осадження в очищенні води — це фізико-хімічні методи видалення розчинених або колоїдних домішок із води шляхом утворення нерозчинних осадів, які потім відокремлюють механічно. Зокрема, хімічне осадження передбачає додавання до води певних реагентів, що викликають хімічні реакції з забрудненнями, внаслідок чого утворюються тверді сполуки — осади.

У рамках хімічного осадження часто застосовують реагенти, такі як гідроксиди металів (наприклад, гідроксид алюмінію, гідроксид заліза), вапно ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), сода ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), а також інші хімічні сполуки, які змінюють розчинність забруднень. Наприклад, при додаванні вапна відбувається

осадження розчинених солей важких металів у вигляді нерозчинних гідроксидів або карбонатів. У деяких випадках відбувається також зв'язування фосфатів або сірководню.

Хімічне осадження зазвичай супроводжується попередньою коагуляцією і флокуляцією, що сприяє укрупненню частинок і полегшує їх осадження. Після утворення осаду воду подають у відстійники або осаджувачі, де тверді частки опускаються на дно і можуть бути вилучені.

Цей процес ефективний для видалення важких металів, фосфатів, оксидів заліза і марганцю, а також деяких органічних речовин. Осадження підвищує прозорість води, знижує її токсичність і готує до подальших етапів очищення, таких як біологічне очищення або фільтрація.

### Іонний обмін

Це метод, при якому забруднені іони в стічній воді замінюються на нешкідливі іони за допомогою спеціальних іонообмінних смол. Метод широко використовується для очищення води від важких металів, нітратів, радіоактивних ізотопів та інших забруднювачів. Іонний обмін дозволяє ефективно очищати воду від іонних домішок, знижуючи її токсичність.

Іонний обмін — це фізико-хімічний метод очищення води, який ґрунтується на здатності спеціальних матеріалів — іонообмінних смол або сорбентів — обмінювати одні іони, розчинені у воді, на інші іони, що містяться в матеріалі. Цей метод широко застосовується для видалення солей важких металів, кальцію та магнію (жорсткість води), амонієвих іонів, а також інших небажаних катіонів і аніонів із питної чи технічної води.

Процес іонного обміну відбувається в колонках або реакторах, заповнених іонообмінною смолою. Коли вода проходить крізь шар смоли, іони забруднень заміщуються на безпечні іони, наприклад натрію або водню, які містяться в матеріалі. В результаті вода стає менш жорсткою або звільняється від небезпечних металів і токсичних сполук.

Іонний обмін буває двох основних типів: катіонітовий (заміна катіонів, наприклад  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) і аніонітовий (заміна аніонів, наприклад  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ). У

деяких системах використовують комбінації обох типів для повного знесолення води. Після насичення смоли забрудненими іонами її регенерують спеціальними розчинами — соляною кислотою, содою або іншими реагентами, після чого матеріал готовий до повторного використання.

Переваги методу іонного обміну полягають у високій ефективності видалення специфічних домішок, можливості отримання майже дистильованої води і відносній компактності обладнання. Недоліки включають потребу у регулярній регенерації смоли, чутливість до механічних забруднень та обмеження щодо обсягу оброблюваної води без попереднього очищення.

### Адсорбція

Застосування процесів адсорбції в очищенні води — це процес видалення розчинених забруднень шляхом їхнього прикріплення до поверхні твердого матеріалу — адсорбенту. На відміну від хімічних реакцій, при адсорбції речовини не змінюють свій хімічний склад, а лише концентруються на поверхні сорбенту. Цей метод ефективний для видалення органічних забруднень, барвників, запахів, залишків пестицидів, фенолів, важких металів і інших токсичних сполук.

Найпоширенішим адсорбентом є активоване вугілля, яке завдяки пористій структурі і великій площі поверхні здатне поглинати значні об'єми забруднень. Інші адсорбенти включають цеоліти, полімерні смоли, природні мінерали та глини.

Процес відбувається у спеціальних колонках або фільтрах, через які пропускають воду, насичену домішками. Забруднення адсорбуються на поверхні матеріалу, а очищена вода проходить далі для наступних етапів обробки.

Ефективність адсорбції залежить від властивостей адсорбенту, температури, рН води, концентрації і природи забруднень. Адсорбенти після насичення потрібно регенерувати або замінювати, щоб відновити їхню поглинальну здатність. Регенерація може бути хімічною, термічною або механічною залежно від типу адсорбенту та забруднень.

## Дезінфекція

Дезінфекція води полягає у знищенні патогенних мікроорганізмів за допомогою хімічних реагентів, таких як хлор, діоксид хлору або озон. Цей метод використовується для знезараження води перед її повторним використанням або скиданням в природні водойми.

Дезінфекція при очищенні промислових стоків — це заключний етап водоочищення, який полягає у знищенні або інактивації мікроорганізмів, бактерій, вірусів та інших патогенів у воді. Мета цього процесу — зробити воду безпечною для скиду в навколишнє середовище або повторного використання в технічних процесах.

Основні методи дезінфекції промислових стоків включають:

Хімічна дезінфекція – використання окисників або дезінфікуючих речовин. Найпоширенішими є хлор та його сполуки (хлорне вапно, гіпохлорит натрію), озон і перекис водню. Ці речовини руйнують клітинні мембрани мікроорганізмів, окислюють білки та нуклеїнові кислоти, що веде до їх загибелі.

Ультрафіолетове опромінення (УФ-дезінфекція) – фізичний метод, який знищує мікроорганізми шляхом пошкодження їх ДНК та РНК. Він не залишає хімічних залишків у воді і широко використовується у комбінації з іншими методами.

Термічна дезінфекція – застосовується рідко, переважно для невеликих обсягів води, шляхом нагрівання до температури, яка руйнує мікроорганізми.

Дезінфекція проводиться після всіх основних стадій очищення, коли вода вже позбавлена більшості завислих часток, органічних домішок і токсичних речовин. Це важливо, оскільки механічні та фізико-хімічні забруднення можуть зменшувати ефективність дезінфекції, особливо при використанні хлору або УФ.

Ефективність дезінфекції контролюють за допомогою лабораторних показників — наявності бактерій групи кишкових паличок (*E. coli*), загальної мікробіологічної чисельності та відсутності патогенних організмів.

У результаті правильно організованої дезінфекції промислові стоки стають безпечними для скидки у водойми, використання у виробничих процесах або навіть повторного технічного використання.

Переваги хімічних методів:

-Висока ефективність: Хімічні методи можуть ефективно видаляти важкі метали, органічні забруднення, токсичні речовини та патогени.

-Швидкість процесу: Багато хімічних методів забезпечують швидке очищення води.

-Можливість точного контролю: Вони дозволяють точно регулювати процес очищення залежно від характеру забруднень.

Недоліки хімічних методів:

– Використання хімічних реагентів може бути дорогим, особливо якщо потрібні великі обсяги очищеної води.

– Деякі методи можуть генерувати побічні продукти або осади, які потребують подальшої утилізації

-Деякі хімічні речовини, такі як хлор, можуть бути шкідливими для здоров'я або навколишнього середовища, якщо вони не належно обробляються або утилізуються.

Хімічні методи очищення стічних вод є незамінними для видалення токсичних і небезпечних речовин, з якими не можуть впоратися механічні або фізичні методи. Вони відіграють важливу роль у промисловому водоочищенні, де часто присутні важкі забруднення. Однак ці методи часто потребують комбінування з іншими способами для досягнення комплексного очищення.

### ***Біологічні методи очищення стічних вод***

Є найбільш поширеними та ефективними для видалення розчинених органічних забруднень (БСК, ХСК) та поживних речовин (азоту та фосфору). Вони використовують діяльність мікроорганізмів для перетворення забруднюючих речовин на нешкідливі продукти (вуглекислий газ, вода, газоподібний азот) та нову біомасу (активний мул).

Основні біологічні методи поділяються на групи залежно від стану біомаси:

1. Методи з прикріпленою (нерухомою) біомасою. У цих методах мікроорганізми ростуть, прикріплюючись до нерухомої або рухомої поверхні (носія), утворюючи біоплівку.

*Біореактори з рухомим біозавантаженням (MBBR).* Мікроорганізми ростуть на невеликих пластикових носіях, які вільно плавають і постійно перемішуються у реакторі. Перевагами є висока концентрація біомаси, стійкість до коливань навантаження, можливість модернізації існуючих систем, не вимагає рециркуляції активного мулу. Застосовується для високоефективного видалення органіки та нітрифікація.

*Біотенки.* Стічна вода пропускається (просочується) через шар інертного наповнювача (каміння, пластик), на поверхні якого росте біоплівка. Перевагами є простота конструкції, низьке енергоспоживання.

*Біологічні ротаційні диски.* Принцип роботи полягає в тому, що диски (носії), на якій росте біоплівка, повільно обертаються, по черзі занурюючись у стічну воду (для живлення) та піднімаючись у повітря (для кисню).

## 2. Методи з суспендованою (зваженою) біомасою

У цих методах мікроорганізми (активний мул) вільно плавають у стічній воді, яка постійно перемішується.

*Традиційна система активного мулу.* Стічна вода змішується з активним мулом в аераційному резервуарі, де відбувається очищення. Потім мул відділяється у вторинному відстійнику, а його більша частина повертається назад у танк (рециркуляція). Перевагами є гнучкість та висока ефективність при стабільному навантаженні.

*Реактори періодичної дії.* Тут усі етапи очищення (наповнення, аерація, відстоювання, злив) відбуваються в одному резервуарі послідовно в часі. До переваг відносять гнучкість, високу якість очищеної води, особливо підходить для невеликих обсягів або стоків зі змінним навантаженням.

*Мембранні біореактори.* Поєднання аераційного резервуару (активний мул) і мембранної фільтрації (ультра- або мікрофільтрації) для розділення очищеної води та мулу. Переваги: Дозволяє працювати при дуже високій концентрації мулу, забезпечує високу якість очищеної води, не потребує вторинного відстійника.

### 3. Методи для спеціального очищення

*Видалення азоту (нітрифікація та денітрифікація).* Нітрифікація – це окислення амонійного азоту до нітратів (потрібен кисень – аеробна зона). Денітрифікація – це відновлення нітратів до газоподібного азоту ( $N_2$ ) (потрібна відсутність кисню – аноксична зона).

*Біологічне видалення фосфору.* Використовуються спеціальні мікроорганізми, які накопичують поліфосфати. Вони поглинають фосфор у надлишку в аеробних умовах, далі вивільняють його в анаеробних умовах.

### ***Вибір схеми очищення стічних вод***

Вибір правильної схеми очищення стічних вод залежить від кількох ключових факторів, які визначають тип забруднень, обсяги стічних вод, екологічні вимоги та економічну ефективність процесу. Основні кроки та критерії, які потрібно врахувати, щоб правильно підібрати схему очищення стоків.

- Визначити тип забруднень у стічних водах. Це можуть бути органічні речовини (нафтопродукти, жири, масла, пестициди); неорганічні речовини (важкі метали, солі, мінерали); токсичні сполуки (хімічні відходи, радіоактивні елементи); зважені частки (піщинки, осадові частки); мікробіологічні забруднення (бактерії, віруси, грибки).

- Оцінка обсягу та варіативності стічних вод
- Вимоги до очищення та законодавчі нормативи
- Вибір відповідних методів очищення
- Економічна оцінка.

При виборі схеми враховується економічна доцільність:

- Вартість обладнання;
- Витрати на хімічні реагенти;
- Енерговитрати;
- Вартість обслуговування системи;
- Витрати на утилізацію осадів та відходів.

Для досягнення необхідного рівня очищення застосовують комбіновані схеми, що включають кілька етапів очищення. Система очищення повинна передбачати можливість регулярного контролю якості води на всіх етапах процесу. Це включає моніторинг основних показників (температура, рівень рН, вміст забруднень) та можливість оперативного коригування процесу.

## **2.2. Дослідження фізико-хімічного очищення відібраних зразків промислових стічних вод**

Для аналізу використовувалися стічні води підприємства ПАТ «Кохавинська паперова фабрика». Зразок води взято до очищення.

Дослідження проводилися у лабораторії компанії "ЗІКО" – лідера українського ринку системної інженерії води. Яка займається розробкою та впровадженням професійних інженерних рішень у сфері водопостачання, фільтрації води, водовідведення та очищення стічних вод [11].

Для фізико-хімічного очищення відібраних зразків промислових стічних вод застосувалися комбінації із трьох реагентів: вапно, каустик – для корекції рН середовища; коагулянт – для переведення забруднюючих речовин в тверду нерозчинну форму; флокулянт – для зменшення кількості завислих речовин в стоках, а також пришвидшення процесів утворення осаду.

### ***Для корекції рН середовища:***

Вапно негашене. Біла або біло-сіра кристалічна речовина, яка може бути у вигляді грудок або порошку (рис.2.1). Додають для нейтралізації кислотності та осадження домішок. Енергійно реагує з водою, виділяючи тепло (це процес «гасіння»), в результаті чого утворюється гідроксид кальцію ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).



Рис.2.1. Вапно негашене

Каустик. Технічна назва сильної їдкої речовини, що означає в даному випадку гідроксид натрію (NaOH) 10%-й розчин. Застосовується для обробки промислових стоків для видалення важких металів, очищення та знежирення каналізаційних труб. В промислових стічних водах, що мають кислу реакцію, гідроксид натрію використовується для нейтралізації кислот та підняття рН до нормального рівня. При роботі з гідроксидом натрію необхідно дотримуватися суворих заходів безпеки, оскільки це їдка речовина.

***Коагулянт:***

Алюмовмісний коагулянт. Низькоосновний коагулянт на основі гідроксихлориду алюмінію (рис.2.2).



Рис.2.2. Низькоосновний коагулянт на основі гідроксихлориду алюмінію

Хімічна формула:  $Al_2(OH)_nCl_{6-n}$ , що відповідає поліалюмінієвим хлоридам (PAC). Високоякісний реагент для очищення води, який діє за рахунок

укрупнення зважених частинок і зв'язування забруднень, що полегшує їх видалення. Він ефективний у широкому діапазоні рН, при низьких температурах і дозволяє досягти високого ступеня очищення при низьких робочих дозах.

Його дія полягає в коагуляції, тобто укрупненні зважених частинок і зв'язуванні забруднюючих речовин для подальшого їх осадження. Характерна висока ефективність при низьких температурах та високому вмісті органічних та зважених речовин, робота в широкому діапазоні рН, а також низькі робочі дози. Має кислу реакцію середовища, тому може викликати корозію металів і сплавів. Доступний у різних концентраціях, наприклад, 15-30%.

Переваги застосування [12]:

- висока здатність до коагулювання;
- зменшена норма дозування;
- низька чутливість до температури оброблюваної води;
- висока швидкість реакції при знижених температурах;
- показник залишкового алюмінію в очищеній воді нижчий за регламентований ДСанПіН № 2.2.4-171-10;
- практично не змінюють лужність води;
- працюють у широкому діапазоні рН.

Залізовмісний коагулянт. Коагулянт хлорид заліза III (хлорне залізо) (рис. 2.3).



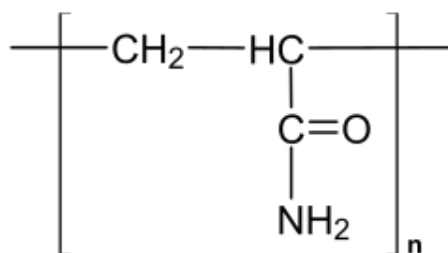
Рис. 2.3. Коагулянт хлорид заліза III

Є гігроскопічною речовиною, яка може бути у вигляді водного розчину або кристалогідрату (найчастіше гексагідрату,  $\text{FeCl}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ). Ефективний коагулянт та каталізатор, який відіграє ключову роль у технології очищення стічних вод та процесі метанового зброджування.

Механізм дії даного коагулянту аналогічний іншим солям заліза та алюмінію, і полягає в процесі дестабілізації зважених частинок, їх укрупненні та видаленні з води. Із низкою забруднюючих речовин (сульфіди, фосфати) вступає у хімічну реакцію з утворенням нерозчинних солей.

Видаляє зважені речовини, колірність, фосфати, СПАР, нафтопродукти та інші забруднювачі [13]. Видаляє сульфідний запах та зменшує хімічне та біологічне споживання кисню.

**Флокулянт:** Флокулянт 1011 — це аніонний полімерний флокулянт марки Magnafloc 1011 (або подібний, як Puroflock 1011). Це полімер з формулою  $(-\text{CH}_2\text{CHCONH}_2-)_n$ , має лінійно-ланцюгову структуру.



Це високорозчинний синтетичний поліакриламід високої молекулярної маси, який утворює компактні осади з позитивно заряджених забруднень [14]. Принцип дії полягає у згущенні забруднень з позитивним зарядом в осад, який легко видаляється.

Для досліджень використовувалося шість варіантів комбінування реагентів, їх пропорцій та послідовності їх додавання (табл.2.1).

Таблиця 2.1.

Варіанти комбінування реагентів, їх пропорцій та послідовності додавання

№ досліду (варіант комбінування)	Тип реагенту та його кількість на 100 мл проби води
1	2
1	+алюмовмісний коагулянт (3 кр.) + флокулянт 1011(3 кр.)

1	2
2	+ каустик NaOH (3 кр.) + алюмовмісний коагулянт (3 кр.) + флокулянт 1011(3 кр.) + алюмовмісний коагулянт (2 кр.) + флокулянт 1011(2 кр.)
3	+ вапно (негашене) 0,7 г (0,5 ч.л.) + алюмовмісний коагулянт (3 кр.) + флокулянт 1011(3 кр.)
4	+ каустик NaOH (3 кр.) + залізовмісний коагулянт (3 кр.) + флокулянт 1011(5 кр.)
5	+ каустик NaOH (5 кр.) + алюмовмісний коагулянт (5 кр.) + флокулянт 1011(5 кр.)
6	+ каустик NaOH (6 кр.) + алюмовмісний коагулянт (7 кр.) + флокулянт 1011(7 кр.) + каустик NaOH (2 кр.) + алюмовмісний коагулянт (2 кр.) + флокулянт 1011(2 кр.) + флокулянт 1011(1 кр.)

Для кожного варіанту визначали рН середовища та фіксували візуальні спостереження.

Для вимірювання рН середовища досліджуваних проб використовувався рН-метр EZODO 8200 (рис.2.4).



Рис.2.4. рН-метр EZODO 8200

### 2.3. Визначення хімічного споживання кисню (ХСК) проб води

Хімічне споживання кисню проб води здійснювалося біхроматним арбітражний методом. Для визначення ХСК пробу відбирали без осаду (фільтрат).

Метод вимірювань ХСК ґрунтується на окисленні органічних і неорганічних речовин, що містяться у воді, калієм двохромовоокислим у кислому середовищі при кип'ятінні. Для підвищення повноти окислення органічних речовин до проби додають як каталізатор сірчаноокисле срібло. Частина калію двохромовоокислого відновлюється присутньою речовиною, що здатна до окислення, а залишок відтитровується розчином амоній-заліза (II) сірчаноокислого.

Величину ХСК розраховують за кількістю відновлюваного калію двохромовоокислого. 1 моль калію двохромовоокислого відповідає 1,5 молям кисню (O<sub>2</sub>).

Виміряне ХСК можна вважати приблизним до теоретичного споживання кисню. Ступінь, з якою аналітичні результати наближаються до теоретичного значення, залежить від повноти окислення. Велика кількість органічних сполук окислюється на 90-100%.

Величина значення ХСК залежить від складу води, яку аналізують.

Метод вимірювання є чутливим до деяких заважаючих факторів, зокрема до вмісту хлоридів. Заважаючий вплив хлоридів ліквідують таким способом. При концентрації хлоридів більш ніж 1 г/дм<sup>3</sup> додають сульфат ртуті (II) в кількості, що перевищує у 15 разів вміст хлоридів. Одночасно вводять 5 см<sup>3</sup> концентрованої сірчаної кислоти для кращого розчинення сульфату ртуті (II). При вмісті хлоридів 1-2 г/дм<sup>3</sup> мінімально визначуване значення ХСК - 250 мг/дм<sup>3</sup> O; для більш низьких значень ХСК - результати невірогідні. Заважаючий вплив сульфідів можна ліквідувати, якщо додати калій двохромовоокислий і невелику кількість концентрованої сірчаної кислоти (5 см<sup>3</sup>) до проби перед визначенням і залишити суміш на кілька хвилин у холодному місці для окислення речовин, що

легко окислюються, а також сірчаних сполук (меркаптанів, органічних сульфідів і дисульфідів).

### *Засоби вимірювань, реактиви і матеріали [15]*

#### Засоби вимірювання і допоміжне обладнання:

- терези аналітичні, 2-го класу, тип ТЛР-200, похибка 0,0002;
- печі електричні;
- штативи лабораторні;

#### Посуд:

- колби скляні термостійкі лабораторні, місткістю 250 см<sup>3</sup>;
- зворотні холодильники ХШ 6;
- піпетки місткістю 10 і 20 см<sup>3</sup> 2-го класу точності, виконання 1;
- бюретки місткістю 25 см<sup>3</sup>, 2-го класу точності, виконання 1;
- циліндри місткістю 100 см<sup>3</sup>, колби місткістю 1000 см<sup>3</sup> 2-го класу точності, спосіб визначення номінальної місткості - наливання;

- воронка Бюхнера;
- шпатель порцеляновий;

#### Реактиви та матеріали - скляні кульки або шматочки пемзи;

- вода дистильована;
- калій двохромовокислий;
- ртуті(II) оксид;
- кислота сірчана концентрована;
- срібло сірчаноокисле;
- амоній-залізо(II) сірчаноокисле (сіль Мора);
- моногідрат 1,10 - фенантроліну;
- залізо сірчаноокисле (II) 7-водне;
- N-фенілантранілова кислота;
- калій фталевокислий кислий.

#### Проведення досліджень

Досліджується три проби: вхідна, очищена та холості.

1,0 см<sup>3</sup> проби (доводять дистильованою водою до 30,0 см<sup>3</sup>) поміщають у колбу зі шліфом для кип'ятіння. Додають 0,2 г сульфату ртуті (II), 0,2 г срібла сірчаноокислого, 10 см<sup>3</sup> 0,0417 моль/дм<sup>3</sup> розчину калію двохромовокислого. Суміш перемішують. Обережно перемішуючи, приливають 40 см<sup>3</sup> концентрованої сірчаної кислоти.

Рівномірно кип'ятять 10 хв. Кип'ятіння проводять у витяжній шафі під тягою (рис.2.5).



Рис.2.5. Кип'ятіння проб

Далі суміш охолоджують до кімнатної температури, від'єднують холодильник, змивають продукти реакції з холодильника у колбу. Додають у колбу 50 см<sup>3</sup> дистильованої води і суміш знову охолоджують до кімнатної температури. Далі додають 8 крапель N-фенілантранілової кислоти і титрують надлишок калію двохромовокислого титрованим розчином заліза (II) сірчаноокислого до зміни забарвлення індикатора.

Перехід забарвлення для N-фенілантранілової кислоти – з червонофіолетового у смарагдово-зелений (рис.2.6). Як кінцеву точку титрування беруть першу різку зміну кольору.



Рис.2.6. Перехід забарвлення з червонофіолетового у смарагдово-зелений при титруванні розчином заліза (II) сірчаноокислого

Таким же чином обробляють холосту пробу з 30 см<sup>3</sup> дистильованої води.

Необхідно пильнувати, щоб при кип'ятінні зберігався золотисто-жовтий відтінок рідини. Якщо проба стає жовтозеленою, то це означає, що тієї кількості калію двохромовокислого, що добавляли, бракує для повного окислення. В цьому випадку слід забезпечити потрібне розбавлення води.

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1. Результати дослідження фізико-хімічного очищення відібраних зразків промислових стічних вод

Проведено аналіз проби промислових стоків, взятої до очищення.

Як видно з рис.3.1 колір проби брудно-молочний з великим вмістом зависей та осадом і має характерний для цієї галузі запах.



Рис.3.1. Зовнішній вигляд вихідної проби

Дослідження проводилися на пробах води об'ємом 100 мл.



pH проби становило 7,99 ( $pH_{\text{вих}}$ ).

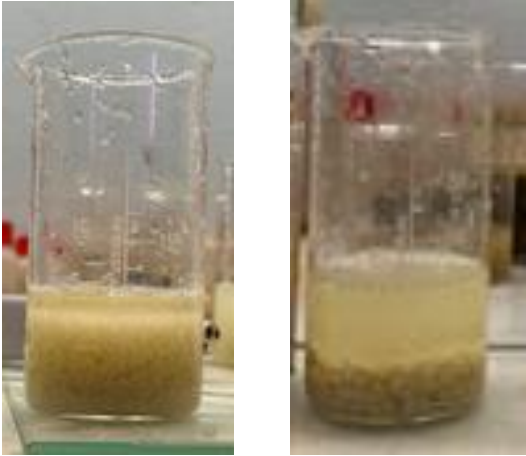
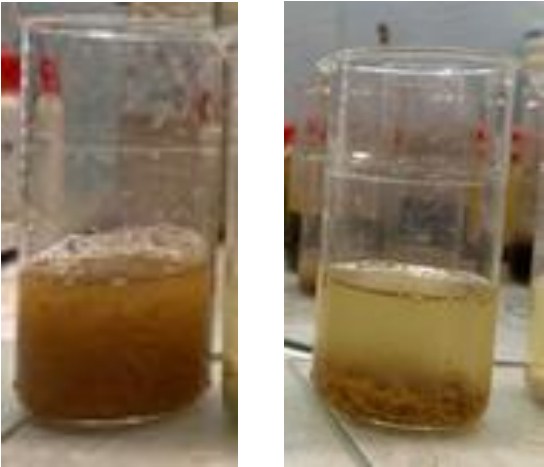
Для фізико-хімічного очищення відібраних зразків промислових стічних вод застосувалися комбінації із трьох реагентів: вапно, каустик – для корекції pH середовища; коагулянт – для переведення забруднюючих речовин в тверду нерозчинну форму; флокулянт – для зменшення кількості завислих речовин в стоках, а також пришвидшення процесів утворення осаду.


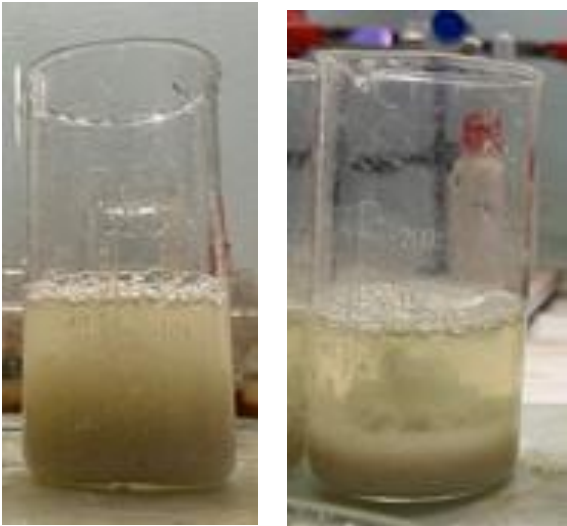
У таблиці 3.1 подано результати експериментальних досліджень промислових стічних вод ПАТ «Кохавинська паперова фабрика» при додавання різних реагентів у різних пропорціях та послідовності.

Таблиця 3.1.

## Результати експериментальних досліджень промислових стічних вод

№ п/п	Реагент, пропорції та послідовність додавання	Фото	Візуальні спостереження
1	2	3	4
1	+алюмовмісний коагулянт (3 кр.) + флокулянт 1011(3 кр.)		<p>pH=7,99 великі за розміром флокули осідають, але рідина залишається мутною</p>
2	+ каустик NaOH (3 кр.) +алюмовмісний коагулянт (3 кр.) + флокулянт 1011(3 кр.) +алюмовмісний коагулянт (2 кр.) + флокулянт 1011(2 кр.)		<p>pH=9 великі за розміром флокули осідають, але рідина залишається мутною</p>

1	2	3	4
3	+ вапно (негашене) 0,7 г (0,5 ч.л.) + алюмовмісний коагулянт (3 кр.) + флокулянт 1011(3 кр.)		<p style="text-align: center;">pH=11,15</p> <p style="text-align: center;">великі за розміром флокули не надто великі, осідають, прозоріша, ніж у попередніх варіантах, але залишається мутною</p>
4	+ каустик NaOH (3 кр.) + залізовмісний коагулянт (3 кр.) + флокулянт 1011(5 кр.)		<p style="text-align: center;">pH=9</p> <p style="text-align: center;">великі за розміром флокули характерного для залізовмісних сполук забарвлення осідають, рідина залишається мутною</p>

1	2	3	4
5	+ каустик NaOH (5 кр.) + алюмовмісний коагулянт (5 кр.) + флокулянт 1011(5 кр.)		<p style="text-align: center;">pH=9,68            великі за розміром флокули            осідають,            рідина практично прозора</p>
6	+ каустик NaOH (6 кр.) + алюмовмісний коагулянт (7 кр.) + флокулянт 1011(7 кр.) + каустик NaOH (2 кр.) + алюмовмісний коагулянт (2 кр.) + флокулянт 1011(2 кр.) + флокулянт 1011(1 кр.)		<p style="text-align: center;">pH=10,69            частково утворені флокули з            часом зруйнувалися,            утворився не щільний осад,            з часом рідина освітлюється</p>

Молекули алюмовмісного коагулянта нейтралізують електричний заряд дрібних частинок у воді. Після того, як заряд зникає — частинки перестають відштовхувати одна одну і починають збиратися у дрібні мікрофлокули. В результаті каламутність зменшується, а часточки стають нестабільними, але вони ще не достатньо великі, щоб швидко осісти.

Після додавання флокулянта його довгі полімерні “нитки” чіпляють одразу багато частинок. Флокулянт “зшиває” дрібні мікрофлокули у великі флокули. Утворюються великі, щільні “пластівці”, які є настільки важкі та щільні, що швидко осідають на дно. Відбувається швидке осадження або згущення.

Цікавим є порівняння 5 та 6 дослідів, оскільки для осадження зависей було використано однакові речовини, але у 6 пробі їх кількість була більшою. На рис.3.2 подано візуальне порівняння.



Рис.3.2. Порівняння 5 та 6 дослідів

Як видно із рис.3.2 збільшення кількості реагентів не дало позитивного результату. Це можна пояснити таким чином. При передозуванні коагулянта частинки знову набувають заряду і флокуляція не відбувається. вода залишається каламутною, а сам коагулянт починає "різати" вже зібрані флокули. Спочатку на кілька секунд вода стає чистішою, а потім знову мутніє.

При передозуванні флокулянта полімер обволікає частинки, але не зв'язує їх між собою, флокули стають слизькими і “розповзаються”, шлам стає

желеподібним. Візуально замість нормальних крупних флокул одержано дрібний гель.

Отже, найкращий ефект освітлення стічних вод дало комбінування реагентів у 5 досліді. Тому визначення хімічного споживання кисню проведено на цій пробі.

### 3.2. Результати досліджень хімічного споживання кисню

Дослідження хімічного споживання кисню здійснювали на вхідній пробі та пробі 5 досліді. Для досліджень брали 1 мл проби і доводили її до об'єму 30 мл (тобто додавали 29 мл дистильованої води). Також готуємо холосту «нульову» пробу з дистильованої води.

Хімічне споживання кисню в мг кисню на 1 л стічних вод визначаємо за формулою:

$$ХСК = \frac{(a - b) \cdot N \cdot 8 \cdot 1000}{V} \quad (3.1)$$

де  $a$  – об'єм розчину солі Мора, який іде на титрування холостої проби, мл;

$b$  – об'єм розчину солі Мора, який іде на титрування проби, мл;

$N$  – нормальність титрованого розчину солі Мора (0,25н);

8 – еквівалент кисню;

$V$  – об'єм проби, який взяли на аналіз, мл.

Таким чином, ХСК вхідної проби буде становити:

$$ХСК_{\text{вх.}} = \frac{(11 - 9,3) \cdot 0,25 \cdot 8 \cdot 1000}{1} = 3400 \text{ мг/л}$$

А ХСК очищеної проби становитиме:

$$ХСК_{\text{оч.}} = \frac{(11 - 10,7) \cdot 0,25 \cdot 8 \cdot 1000}{1} = 600 \text{ мг/л}$$

Результати визначення ХСК (хімічного споживання кисню) проб дало такі результати (табл. 3.2).

## Визначення хімічного споживання кисню

Вид проби	Об'єм проби, який взяли на аналіз, мл	Тривалість кипіння, хв	Об'єм титрування, мл	ХСК. мг/л
«Нульова» холоста проба	-	10	11	-
Вхідна проба	1	10	9,3	3400
Очищена проба	1	10	10,7	600

Ступінь очищення визначаємо за формулою:

$$CT_{оч.} = \left(1 - \frac{XCK_{оч.}}{XCK_{ex.}}\right) \cdot 100\%, \quad \% \quad (3.2)$$

$$CT_{оч.} = \left(1 - \frac{600}{3600}\right) \cdot 100\% = 83\%$$

Отже, комбінування реагентів за 5 варіантом дозволяє очистити стічні води на 83%.

Для фізико-хімічного очищення відібраних зразків промислових стічних вод доцільно використати комбінування із трьох реагентів: NaOH – для корекції рН середовища; коагулянт алюмовмісний – для переведення забруднюючих речовин в тверду нерозчинну форму; флокулянт – для зменшення кількості завислих речовин в стоках, а також пришвидшення процесів утворення осаду.

Освітлена вода має майже безбарвне забарвлення.

При скиданні очищених стічних вод рекомендується передбачити доочищення на біологічних очисних спорудах та дозування гіпохлориту натрію для знезараження та уникнення появи неприємних запахів [16].

Запропонована блок-схема зображена на рис.3.3.



Рис.3.3. Блок-схема очищення стічних вод

### 3.3. Висновок

Для фізико-хімічного очищення промислових стічних вод доцільно використати комбінування із трьох реагентів за 5 варіантом, що дозволяє очистити стічні води на 83%: NaOH – для корекції рН середовища; коагулянт алюмогемічний – для переведення забруднюючих речовин в тверду нерозчинну форму; флокулянт – для зменшення кількості завислих речовин в стоках, а також пришвидшення процесів утворення осаду.

Для забезпечення стабільності при очищенні стоків паперового виробництва з ХСК 600 мг/л найбільш доцільною та технологічною буде система доочищення, яка включає біологічне очищення та дезінфекцію води.

## РОЗДІЛ 4. ЕКОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ

### 4.1. Пропозиції щодо удосконалення процесу очищення стічних вод

Якщо порівняти запропонований варіант комбінування реагентів, а саме алюмовмісний коагулянт і аніонний флокулянт, із реагентами, які застосовуються на виробництві, то вони співпадають. Але у нашому випадку, додавання каустику сприяло освітленню рідини, тому доцільно ввести його у схему очищення.

Далі на виробництві очищена вода надходить на поля фільтрації, які на даному етапі потребують модернізації, тому мною запропоновано використати для біологічного очищення води аеробні процеси, оскільки вони забезпечують високу ступінь доочищення [17].

Запропоновано використовувати біореактори з рухомим біозавантаженням (Moving-bed biofilm reactor – MBBR). Така система є модифікацією аеротенку, в яких біоплівка закріплена на невеликих пластикових елементах (носіях), які вільно перемішуються у воді (рис.4.1).

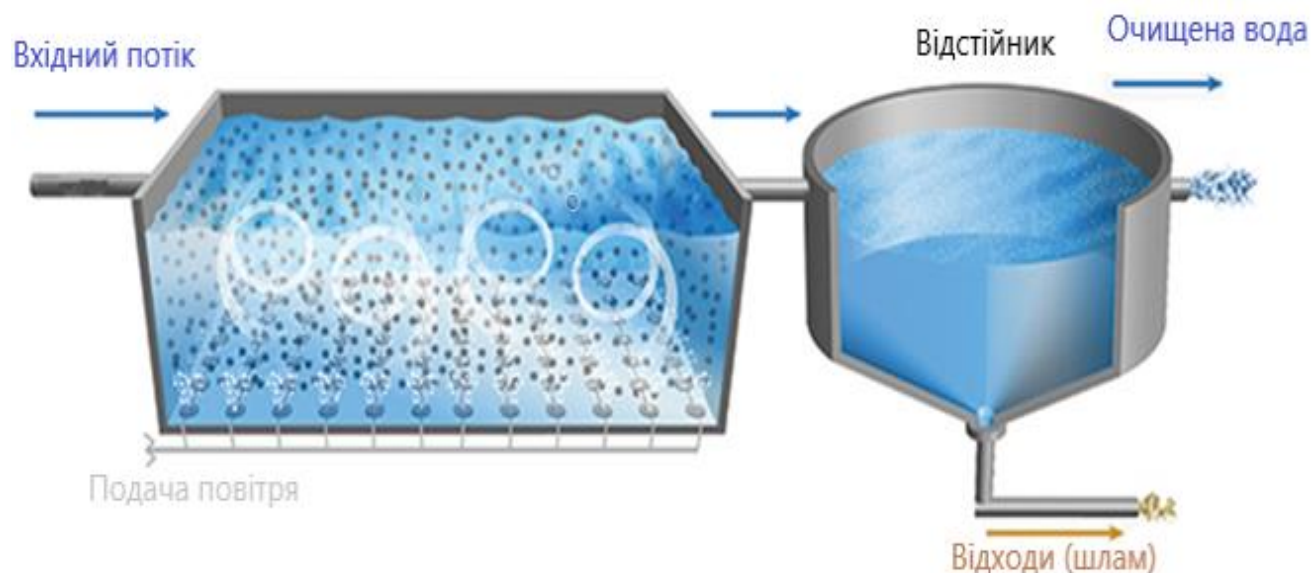


Рис.4.1. Схема доочищення води у біореакторі MBBR

Основним елементом цієї схеми є аеробний біореактор MBBR де мікроорганізми, які закріплені на носіях, споживають органічні забруднення. Складовими компонентами реактора є: *ємність*, у якій відбувається сам процес; *носії біоплівки* – пластикові елементи, які вільно рухаються, з великою питомою поверхнею; *система аерації* (подає кисень, необхідний для життєдіяльності аеробних бактерій і забезпечує постійне перемішування носіїв у всьому об'ємі); *сітка (сита-утримувачі)*, встановлюється на виході, щоб утримувати носії біоплівки всередині реактора.

Формування біоплівки відбувається таким чином - мікроорганізми (бактерії) прикріплюються до поверхні носіїв і формують біоплівку. Ця плівка є активною біомасою, яка здійснює очищення.

У біореакторі відбуваються процеси окислення органічних речовин (БСК/ХСК) до  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$  та нітрифікації (за наявності необхідних умов і часу): з  $\text{NH}_4^+$  до  $\text{NO}_2^-$ , а також з  $\text{NO}_2^-$  до  $\text{NO}_3^-$ .

Біологічне очищення відбувається як на активному мулі (частина мікроорганізмів), так і на носіях (біоплівка) [18]. Носії мають велику питому поверхню, що дозволяє утримувати багато біомаси (рис.4.2).



Рис. 4.2. Носій з біоплівкою у біоплівковому реакторі з рухомих шаром

## Аераційна решітка

Для рівномірного перемішування суспендованого середовища по всьому реактору використовується система з нержавіючої сталі у вигляді грубої бульбашкової аерації. Вона також забезпечує перемішування, яке необхідне для видалення старої біоплівки з внутрішньої поверхні, а також підтримання рівня розчиненого кисню, необхідного для проходження процесу біологічного очищення.

На виході з реактора встановлюються сита-утримувачі, які пропускають очищену воду, але затримують пластикові носії всередині системи, зберігаючи таким чином високу концентрацію біомаси. Надлишок біоплівки, що відшаровується, виноситься зі стоком і осідає у вторинному відстійнику.

Відстійник виконує функцію механічного відділення зважених речовин (відшарованого надлишкового мулу, що виходить з MBBR-реактора) від очищеної води.

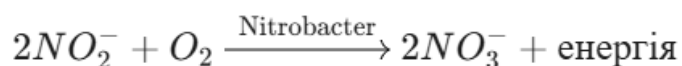
Особливістю MBBR реактора є те, що на відміну від традиційного активного мулу, тут немає рециркуляції мулу назад у реактор. Весь осаджений мул зазвичай відправляється на ущільнення/зневоднення.

У біореакторах MBBR використовується складна мікроекосистема, де мікроорганізми живуть і працюють набагато стабільніше та концентрованіше, ніж у зваженому активному мулі.

Найпоширенішою групою є *гетеротрофні бактерії*, відповідають за основне біологічне очищення. Вони споживають і розкладають більшість забруднень (БСК та ХСК) у стічних водах. Вони використовують кисень (в аеробному реакторі) для окислення органічних речовин, перетворюючи їх на воду, вуглекислий газ та нову біомасу. Гетеротрофні бактерії, як правило, швидко ростуть і формують зовнішні шари біоплівки.

*Автотрофні* нітрифікуючі бактерії – це спеціалізована група бактерій, критично важлива для видалення азоту (амонію), що особливо важливо для глибокого доочищення. Типовими представниками є *Nitrosomonas* (окислюють

амоній до нітритів) та *Nitrobacter* (окислюють нітрити до нітратів). Нітрифікуючі бактерії ростуть дуже повільно.



У традиційних системах активного мулу їх часто важко утримати, оскільки вони виносяться з системи. Носії MBBR створюють для них захищену зону глибоко всередині біоплівки, забезпечуючи довгу тривалість життя мулу саме для цих повільно зростаючих організмів. Це є однією з найбільших переваг MBBR.

**Денітрифікуючі бактерії** (для повного видалення азоту з води). Вони перетворюють нітрати ( $NO_3$ ), утворені нітрифікуючими бактеріями, на газоподібний азот ( $N_2$ ), який просто виходить в атмосферу. Для цього процесу потрібна аноксична (без кисню) зона та джерело органічного вуглецю. В MBBR такі умови створюються у внутрішніх, безкисневих шарах товстої біоплівки (куди кисень не встигає дифундувати).

У біоплівці також присутні: найпростіші (Protozoa) та коловертки (Rotifers) – вони «пасуться» на зовнішньому шарі бактерій, допомагаючи контролювати надлишковий ріст, очищаючи воду від диспергованих бактерій та покращуючи якість біологічного мулу. Грибки можуть з'явитися при низькому рН або при наявності специфічних забруднювачів, хоча в добре функціонуючій системі домінують бактерії.

Переваги MBBR реактора:

Невелика площа порівняно з традиційними аеротенками, оскільки висока концентрація біомаси на носіях забезпечує більшу продуктивність на одиницю об'єму.

Висока ефективність очищення від органічних забруднень (БПК, ХПК) та азоту.

Висока стійкість до коливань гідравлічного та органічного навантаження, оскільки біоплівка захищена на носіях.

Немає необхідності в рециркуляції активного мулу, а також у зворотному промиванні носіїв.

Технологію MBBR можна легко інтегрувати та використовувати для модернізації вже існуючих очисних споруд (наприклад, для збільшення продуктивності або додавання процесу нітрифікації).

Довгий термін життя біоплівкового мулу на носіях сприяє росту повільно зростаючих мікроорганізмів

Для доочищення води приймемо об'єм 200 тис.м<sup>3</sup>/рік.

Тоді середня добова витрата становитиме:

$$Q_{\text{доб}} = \frac{Q_{\text{річ}}}{n} \text{ м}^3/\text{добу} \quad (4.1)$$

де  $Q_{\text{річ}}$  – об'єм води на очищення в рік, м<sup>3</sup>;

$n$  – кількість днів роботи в рік.

$$Q_{\text{доб}} = \frac{200000}{365} = 548 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Така витрата є середньою для промислового підприємства. Системи із закріпленою біоплівкою добре підходять для цієї категорії, оскільки вони відрізняються компактністю та стійкістю.

Для стоків із ХСК 600 мг/л такий тип очищення (біофільтри, біоконтактори) є хорошим варіантом, особливо якщо необхідно забезпечити стабільну роботу та зменшити площу забудови порівняно з класичними аеротенками.

В результаті очищення планується зменшити ХСК до 100 мг/л. Тобто ефективність очищення ( $E$ ) становитиме

$$E = \frac{XCK_{\text{д}} - XCK_{\text{п}}}{XCK_{\text{д}}} \cdot 100\%, \% \quad (4.2)$$

де  $XCK_{\text{д}}$  і  $XCK_{\text{п}}$  – хімічне споживання кисню до і після очищення, мг/л.

$$E = \frac{600 - 100}{600} \cdot 100\% = 83,3\%$$

Оскільки співвідношення між ХСК і БСК становить  $BCK/XCK=0,4$ , то

$$BCK = 0,4 \cdot 600 = 240 \text{ мг/л} = 240 \text{ г/м}^3$$

Прийемо питому потужність біоплівкового реактора з рухомим шаром (SAR) 1-3 г БСК/м<sup>2</sup>·добу.

Загальне добове навантаження по БСК ( $L_{BCK}$ ):

$$L_{BCK} = Q_{доб} \cdot BCK, \text{ кг}_{BCK}/\text{добу} \quad (4.3)$$

$$L_{BCK} = 548 \text{ м}^3 / \text{добу} \cdot 240 \text{ г} / \text{м}^3 = 131520 \text{ г}_{BCK}/\text{добу} = 131,5 \text{ кг}_{BCK}/\text{добу}$$

Для біоплівкового реактора з рухомим шаром об'єм реактора (V) пов'язаний з необхідною активною площею біоплівки ( $A_{bio}$ ), яка залежить від носія. Площу розраховують, виходячи з поверхневого навантаження (SAR):

$$A_{bio} = \frac{L_{BCK}}{SAR}, \text{ м}^2 \quad (4.4)$$

Для надійного очищення прийемо  $SAR = 1,5 \text{ г БСК/м}^2 \cdot \text{добу}$ . Тоді

$$A_{bio} = \frac{131520}{1,5} = 87680 \text{ м}^2$$

Для розрахунку мінімального об'єму реактора прийемо такі характеристики носіїв біоплівки:

Питома площа носія ( $A_{пит}$ ): Площа біоплівки на одиницю об'єму носія. Приймаємо  $A_{пит} = 500 \text{ м}^2/\text{м}^3$ .

Ступінь заповнення ( $C_{зап}$ ): Відсоток об'єму реактора, заповнений носіями. Приймаємо  $C_{зап} = 60\%$  (або 0,6).

Формула для розрахунку об'єму реактора (V):

$$V = \frac{A_{bio}}{A_{пит} \cdot C_{зап}}, \text{ м}^3 \quad (4.5)$$

$$V = \frac{87680}{500 \cdot 0,6} = 292, \text{ м}^3$$

Приймаємо об'єм 300 м<sup>3</sup>.

Гідравлічний час утримання становитиме (ГЧУ):

$$ГЧУ = \frac{V}{Q_{доб}}, \text{ діб} \quad (4.6)$$

$$ГЧУ = \frac{292}{548} = 0,55 \text{ доби} = 13 \text{ год}$$

Проведені розрахунки показують, що реактор буде працювати стабільно і забезпечить глибоке очищення ХСК/БСК, навіть з урахуванням складної органіки паперових стоків.

Оскільки під час фізико-хімічного очищення використовувався каустик, для забезпечення ефективного біологічного доочищення необхідно контролювати рН, щоб він знаходився в межах 6,5-7,5. Для цього за потреби необхідно використати кислотні реагенти:  $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ,  $CO_2$ .

Найчастіше на промислових об'єктах для корекції лужного рН використовують сірчану кислоту  $H_2SO_4$ . Нейтралізація відбувається у спеціальному резервуарі-усереднювачі або реакторі нейтралізації [19]. У резервуар занурюється рН-метр (сенсор), який постійно вимірює показник води. Дані з рН-метра передаються на автоматичну дозуючу станцію. Станція відкриває клапан і подає розчин кислоти  $H_2SO_4$  у воду. Вода інтенсивно переміщується для швидкої та рівномірної реакції. Дозування припиняється, коли рН досягає встановленого цільового значення (наприклад, 7,0), забезпечуючи готовність стоків до біологічної обробки. Цей процес є надзвичайно важливим для захисту та стабільної роботи біологічної установки.

Для знезараження очищених стоків пропонується використати технічний гіпохлорит натрію з 10–15% активного хлору. Витрата ( $D_{\text{хлору}}$ ) становитиме 5 мг активного хлору на літр стоків (5 г на  $1 \text{ м}^3$ ). Тоді використовуючи розчин концентрацією 20 %, витрата становитиме 25 мг розчину на  $1 \text{ м}^3$  стічних вод.

Розрахунок необхідного об'єму контактного резервуара, в якій вода контактує з гіпохлоритом натрію протягом заданого часу  $T_{\text{конт}}=30 \text{ хв}$  (0,5 год).

$$V_{\text{конт}} = Q_{\text{год}} \cdot T_{\text{конт}} \quad (4.7)$$

$Q_{\text{год}}$  – середньогодинна витрата води  $Q_{\text{год}}=Q_{\text{доб}}/24=548/24=22,83 \text{ м}^3/\text{год}$

$$V_{\text{конт}} = 22,83 \cdot 0,5 = 11,415, \text{ м}^3$$

Для забезпечення необхідного часу контакту 30 хвилин при середньогодинній витраті 22,83 м<sup>3</sup>/год потрібен контактний резервуар об'ємом приблизно 11,5 м<sup>3</sup>.

Розрахунок добової витрати реагенту (активного хлору) – це кількість чистого активного хлору, яка необхідна для обробки добового об'єму стічних вод.

$$M_{\text{хлору}} = Q_{\text{доб}} \cdot D_{\text{хлору}} \text{ кг / добу} \quad (4.8)$$

$D_{\text{хлору}}$  – витрата хлору, г/м<sup>3</sup>.

$$M_{\text{хлору}} = Q_{\text{доб}} \cdot D_{\text{хлору}} = 548 \cdot 5 = 2740 \text{ г / добу} = 2,74 \text{ кг / добу}$$

Для дезінфекції добового об'єму води потрібно 2,74 кг чистого активного хлору.

Розрахунок добової витрати комерційного розчину гіпохлориту натрію. Кількість комерційного 20% розчину гіпохлориту натрію, який необхідний, щоб забезпечити 2,74 кг активного хлору.

Концентрація розчину: 10% = 100 г/л. Тобто, в одному літрі розчину міститься 100 г активного хлору.

$$V_{\text{розч}} = \frac{M_{\text{хлору}}}{C_{\text{розч}}}, \text{ л/добу} \quad (4.9)$$

$$V_{\text{розч}} = \frac{M_{\text{хлору}}}{C_{\text{розч}}} = \frac{2740}{100} = 27,4 \text{ л/добу}$$

Тобто для дезінфекції потрібно дозувати 27,4 л 10% розчину гіпохлориту натрію на добу.

Розрахунок швидкості дозування  $v_{\text{доз}}$  (для дозуючого насоса). Дозуючий насос повинен працювати безперервно, тому розрахуємо погодинну швидкість дозування.

$$v_{\text{доз}} = \frac{V_{\text{розч}}}{24}, \text{ л/год} \quad (4.10)$$

$$v_{\text{доз}} = \frac{V_{\text{розч}}}{24 \text{ год}} = \frac{27,4}{24} = 1,14 \text{ л/год}$$

Дозуючий насос повинен мати продуктивність не менше 1,14 л/год 10% розчину. Рекомендується обрати насос із запасом, наприклад, 2,0 л/год, щоб мати можливість збільшити дозування при зміні якості води.

#### 4.2. Розрахунок вартості та витрати реагентів на очищення води

Розрахунок вартості реагентів для очищення на 83% за 5 варіантом комбінування реагентів 1 м<sup>3</sup> стічних вод та річної кількості стічних вод, які не є обіговими, а скидаються у мережі (175 тис м<sup>3</sup> – 15%) подано у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Вартість та витрата реагентів на очищення 1 м<sup>3</sup> стічних вод

Реагенти	Витрата на 1 м <sup>3</sup> стічних вод	Ціна за одиницю, грн	Вартість на 1 м <sup>3</sup> стічних вод, грн
Реагент коригування рН NaOH р-н 10%, л	0,25	160,00	40,00
Коагулянт алюмовмісний, л	0,332	35,41	11,76
Флокулянт 1011 р-н 0,01%, л	0,0001	265,00	0,26
Гіпохлорит натрію NaOCl р-н 10%, л	0,05	54,07	1,35
Разом			<b>53,37</b>

#### 4.3. Висновок

Для забезпечення стабільності при очищенні стоків паперового виробництва з ХСК 600 мг/л найбільш доцільною та технологічною буде система доочищення, яка включає біореактор з рухомим біозавантаженням (об'єм реактора 300 м<sup>3</sup>). Вона забезпечує високу стійкість до промислових забруднень, компактність та якісне очищення.

Для дезінсекції запропоновано застосовувати контактний резервуар об'ємом приблизно 11,5 м<sup>3</sup> із використанням 10% розчину гіпохлориту натрію.

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Заходи охорони праці для виробництва виробів санітарно-гігієнічного призначення

На підприємствах повинні створюватися безпечні та здорові умови праці, відповідно до Кодексу законів про працю. Технологічні процеси, робоче місце, механізми, обладнання, знаряддя праці та машини, засоби індивідуального і колективного захисту, як і санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних документів.

Завдання охорони праці полягає мінімізації ризиків травм та захворювань працівників при забезпеченні комфорту і сприятливих умов для якомога продуктивнішої роботи.

Реальні виробничі умови часто містять шкідливі і небезпечні фактори:

- температура, вологість та запилення в робочій зоні;
- рівень статичної електрики та напруги (небезпечний рівень) в електричній мережі;
- шум і вібрація в робочій зоні;
- освітлення робочої зони (недостатнє).

#### ***Повітря робочої зони***

Мікроклімат у робочій зоні є важливим фактором, який враховується під час оцінки умов праці (за нормами ДСН 3,3,6,042-99). Для нормалізації стану повітря у виробничих приміщеннях застосовуються такі технологічні заходи:

- теплоізоляція поверхні обладнання (якщо температура зовнішніх поверхонь більша 60 °С);
- вентиляція приміщення загальнообмінна;
- герметизація технологічного обладнання;
- підтримання у цеху таких умов: температура повітря 20 - 26 °С, вологість 40 – 60 %, швидкість руху повітря 0,20 м/с;
- у робочих зонах операторів кондиціонування повітря (використання спліт-систем);

- передбачення парового опалення у зимовий період з температурою 70 - 75 °С у всіх виробничих приміщеннях;
- забезпечення засобами індивідуального захисту інженерно-технічного персоналу та працівників, які обслуговують технологічне обладнання.

### ***Небезпека ураження електричним струмом***

Електричний струм, проходячи через тіло викликає опіки, судоми, непритомність, зупинку дихання та серцевого ритму, тому може бути смертельно небезпечним для людини. В умовах експлуатації електроустановок на виробництві захист персоналу від ураження електричним струмом має велике значення.

Живильна електромережа є трифазною, чотирипровідною, з глухим заземленням, змінний струм, напруга 350/220 В, із нейтральною точкою.

Потрібно дотримуватись таких заходів для уникнення ураження електричним струмом:

В робочому стані: – електрична ізоляція, повинна вкривати поверхню струмопровідних елементів;

– неізольовані струмопровідні частини огорожувати або розміщувати на недосяжній висоті;

– передбачити блокувальні пристрої для унеможливлення потрапляння людей через необережність під напругу.

В аварійному стані:

– занулення;

– захисне заземлення;

– захисне відключення.

Для забезпечення електробезпеки працівників передбачені такі технічні і організаційні заходи:

– навчання та інструктаж щодо безпечних методів праці;

– застосування захисного заземлення;

– використання захисного відключення;

– встановлення плакатів та знаків інформування;

- використання малої напруги (12 В) для ручного електроінструменту та переносних світильників;
- для елементів конструкцій, які проводять електричний струм використовувати ізоляцію (опір ізоляції  $R_{із} \geq 0,5$  МОм);
- використовувати огорожувальні пристрої;
- встановлювати попереджувальну сигналізацію та блокування.

### ***Пожежна безпека виробництва***

Через присутність у повітрі горючого пилу в папероробному цеху існує значна небезпека виникнення пожежі. Пил утворюється в сушильній частині, на накаті, на поздовжньо-різальному верстаті, а також на складі сировини.

Клас зони приміщення – П-Па. Висока температура повітря в сушильній частині, робить цю зону машини особливо небезпечною.

Для протипожежного захисту передбачаються такі заходи:

- встановлення датчиків автоматичного контролю температури повітря ТСМ і ТСВ 0,679;
- чітке дотримання параметрів технологічного процесу, бо підвищення температури сушіння призводить до підвищення пожежонебезпеки приміщення;
- утримання робочого місця та устаткування у чистоті (своєчасне видалення пилу та паперу, а також оливи з нерухомих конструкцій і приводів, паропроводів, підшипників тощо).

Потенційно пожежі можуть виникати на таких ділянках: безпосередньо в цеху папероробної машини та у приміщенні насосної. Причинами загоряння можуть бути коротке замикання при пошкоджені ізоляції електроустаткування, електричні іскри, прямий удар блискавки у приміщення виробниче, розряди статичної електрики.

Об'єкт забезпечується II ступенем вогнестійкості відповідно до ДБН В.1.1 7:2016. До первинних засобів пожежогасіння відносяться вогнегасники, пожежний інвентар (ящики з піском, бочки з водою, совкові лопати, пожежні відра, протипожежні покривала) та пожежний інструмент (ломи, гаки, сокири).

У цеху у найбільш небезпечних місцях розташовуються вуглекислотні вогнегасники (на накаті, в сушильній частині, обробці паперу). Вогнегасники та пожежний інвентар червоного кольору, а бочки з водою та ящики з піском підписані відповідно білою фарбою. Бочки для зберігання води, укомплектовані пожежним відром місткістю не менше 8 л, встановлюють у виробничому приміщенні. Ящики з піском укомплектовують совковою лопатою. Місткість ящиків 0,5, 1,0 та 3,0 м<sup>3</sup>.

Протипожежні покривала розміром не менш як 2×1 м та 2×2 м, виготовляють з теплоізоляційного негорючого полотна або грубої бавовняної тканини. Компресорну та насосну кімнати обладнують системою порошкового пожежогасіння (ДБН В.2.5-13-98). Для зовнішнього пожежогасіння виробничих будівель застосовують пожежні гідранти кільцевої протипожежної мережі.

### ***Виробничий шум та вібрація***

Організм людини і саме органи чуття дуже чутливі до шуму та вібрації, які створюються механізмами та обладнанням папероробної машини. Ці фактори можуть стати причиною виникнення глухоти чи хворобливого стану. Рівень шуму може досягати 100 дБ. Для зменшення впливу шуму та вібрації для операторів папероробних машин встановлюють звукоізоляційну кабінку у цеху. Нормовані параметри шуму –рівень звуку 20 дБ та ГДК виробничого шуму не більше 85 дБ (ДСН 3.3.6.037-99). У цеху з виробництва виробів сантарно-гігієнічного призначення виробничий шум досягає близько 95 дБ. Цей показник перевищує допустимі норми ДСН 3.3.6.037-99.

Під час роботи операторів виробничого обладнання для запобігання дії шкідливого впливу шуму та вібрації необхідно вжити таких заходів:

– забезпечити персонал, що обслуговує компресорне і насосне відділення, індивідуальними засобами захисту (м'які прогумовані вкладки, які знижують шум на 18-20 дБ).

– встановити звукоізоляційні кабінки для спостереження та дистанційного керування (завдяки 7 мм товщині стінок кабінки забезпечується зниження шуму до 65 дБ відповідно до ДСН 3.3.6.037-99).

Встановлення в окремих приміщеннях насосів, електродвигунів чи іншого обладнання. Якщо виконати такі заходи нереально, то робочі зони відгороджують або використовують індивідуальні засоби захисту.

### ***Виробниче освітлення***

У цеху використовується як природне, так і штучне освітлення. Природне освітлення є одностороннім, забезпечується вікнами і діє протягом денного часу. Оскільки виробництво безперервне, то передбачають для вечірнього та нічного часу штучне освітлення.

Згідно з ДБН В.2.5-28:2018, коли висота виробничого приміщення до 6 м при односторонньому бічному освітленні, то мінімальне значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) визначається в точці, яка розташована на перетині вертикальної площини характерного розрізу приміщення і умовної робочої поверхні на відстані 1 м від стіни чи лінії максимального заглиблення зони, найбільш віддаленої від світлових прорізів.

При висоті виробничого приміщення (великогабаритне) понад 6 м, коли бічне освітлення, то мінімальне значення КПО нормується в точці на умовній робочій поверхні, яка розташована віддалено від світлових прорізів:

- для роботи зорової I – IV розрядів на висоті від підлоги 1,5 м;
- для роботи зорової V – VII розрядів на висоті від підлоги 2 м;
- для роботи зорової VIII розряду на висоті від підлоги 3 м.

При верхньому чи комбінованому природному освітленні різного призначення приміщень нормується середнє значення КПО в точках, які розташовані на перетині вертикальної площини характерного розрізу приміщення і підлоги (умовної робочої поверхні). На відстані 1 м від поверхні стіни чи перегородки або осі колон приймається перша і остання точки.

Робоче освітлення забезпечується у всіх приміщеннях будівель, місцях, призначених для проходу та роботи людей чи руху транспорту. Якщо приміщення мають різні умови природного освітлення та режими роботи, то потрібно передбачити окреме керування освітленням таких зон.

## 5.2. Охорона праці інженерного персоналу

Основним завданням інженера з охорони навколишнього середовища (ОНС) підприємства є контроль за додержанням у підрозділах чинного екологічного законодавства, інструкцій, стандартів і нормативів охорони довкілля; розробляти проекти перспективних і поточних планів з охорони довкілля та контролювати їх; організовувати роботу з очищення промислових стічних вод, викидів шкідливих речовин в атмосферу, зменшення або повна ліквідація технологічних відходів, раціональне використання земельних і водних ресурсів; контроль за якістю питної, стічної води; контроль за додержанням технологічних режимів природоохоронних об'єктів.

Працівник, прийнятий на роботу інженера з ОНС повинен пройти вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, проходити періодичну перевірку знань з питань охорони праці 1 раз в 3 роки. Результати інструктажу заносяться у відповідний журнал, а перевірка знань оформляється відповідним протоколом засідання комісії з перевірки знань з питань охорони праці.

Інженер з ОНС зобов'язаний:

- дбати про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей у процесі виконання робіт;
- дотримуватись вимог безпечного виконання робіт у відповідності до законодавства з охорони праці, стандартів, безпеки праці, правил, норм та інших нормативних документів з охорони праці;
- виконувати комплексні заходи і плани щодо покращення умов праці, санітарно-оздоровчі заходи, накази, розпорядження, приписи вищих служб, органів нагляду, відділу охорони праці підприємства;
- дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку, режиму праці та відпочинку; виконувати вимоги інструкції з охорони праці: протипожежної безпеки, електробезпеки; вміти користуватися засобами пожежогасіння;

- знати і вміти надати першу медичну допомогу потерпілим від нещасних випадків:

- знати план дій у разі виникнення аварійних ситуацій.

Під час роботи на інженера з ОНС можуть впливати такі шкідливі виробничі фактори: - неякісне освітлення робочого місця; - можливе ураження електричним струмом; - шум; - транспорт, що рухається;

Інженер з ОНС має бути забезпечений спеціальним робочим одягом, взуттям: куртка утеплена; чоботи утеплені; чоботи резинові; куртка флісова; штани робочі / халат; футболка; тапочки (сабо) шкіряні на гумовій підошві. Одяг і взуття повинні бути чистими та відповідати зросту і розміру.

Під час виконання робіт інженер з ОНС зобов'язаний виконувати вимоги санітарних норм та правил особистої гігієни: - утримувати у чистоті робоче місце, прилади та інструменти; - правильно і дбайливо користуватись санітарно-побутовими приміщеннями, засобами індивідуального захисту; - утримувати спецодяг і спецвзуття у чистому вигляді; - мити руки з милом перед кожним прийманням їжі, після дотику з забрудненими предметами, після закінчення роботи.

#### Вимоги безпеки перед початком роботи

Перед початком роботи інженер з ОНС повинен одягнути спецодяг і спецвзуття, перевірити справність обладнання, шнурів живлення, розеток, освітленість робочого місця. Переконавшись у наявності засобів пожежогасіння, перевірити наявність вільного доступу до запасних виходів на випадок надзвичайної ситуації. При виявленні несправностей обладнання, електропроводки повідомити чергового електрика підприємства та не приступати і не допускати підлеглих працівників до роботи до повного усунення недоліків.

#### Вимоги безпеки під час роботи

Інженер з ОНС має виконувати тільки ту роботу, з якої пройшов навчання, інструктаж з охорони праці і до якої допущений керівником підприємства. Під

час знаходження на робочому місці інженер з ОНС не повинен здійснювати дії, які можуть спровокувати нещасний випадок.

Інженер з ОНС повинен дотримуватись правил переміщення у виробничих і складських приміщеннях, користуватися тільки відведеними для руху проходами. Не захащувати встановлені проходи і проїзди. Перебувати на безпечній відстані від машин і механізмів, що працюють у виробничих і складських приміщеннях підприємства. Не дозволяється знаходитись і робити роботи під піднятим вантажем, на шляху руху транспорту.

При виконанні своїх посадових обов'язків, територією підприємства необхідно переміщуватись по пішохідних доріжках і спеціальних містках, прокладених над комунікаціями, реагувати на сигнали водіїв транспортних засобів. Бути уважним, проходячи біля тросів, ланцюгів і канатів. Не наступати на кришки колодязів та інші перекриття ям, траншей і котлованів.

Оскільки характер роботи інженер з ОНС може бути роз'їзним, працівнику необхідно чітко дотримуватися встановленого маршруту переміщення, не вступати в конфлікти з перехожими.

#### Вимоги безпеки після закінчення роботи

Після закінчення роботи інженер з ОНС повинен: Навести порядок на робочому місці, оглянути обладнання. Вимкнути всі електроприлади. Прибрати засоби індивідуального захисту у відведені для цього місця. Вимити руки теплою водою з милом. Закінчивши роботу, зняти спецодяг, спецвзуття, прибрати його в індивідуальну шафу, виконати вимоги правил особистої гігієни.

#### Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

В ході виконання посадових обов'язків інженера з ОНС можуть виникнути такі аварійні ситуації: порізи, поломки електроприладів, пожежі, ураження електричним струмом

1. При порізах необхідно потерпілому надати до медичну допомогу: очистити рану від бруду, накласти стерильну пов'язку і направити в медичний пункт.

2. У разі аварійної ситуації, в результаті поломки електроприладів або порушення режимів їх роботи, потрібно негайно припинити роботу, вимкнути електроприлад, вимкнути живлення від електромережі, викликати спеціалістів технічної служби.

3. У разі виявлення пожежі (ознак горіння), загоряння конструкцій, діяти відповідно до вимог інструкції з пожежної безпеки:

- перевірити, чи викликана пожежної-рятувальна служба;

- вимкнути, у разі необхідності, електричне і газове живлення;

- у разі загрози життю людей негайно організувати їх рятування (евакуацію), вивести за межі небезпечної зони усіх працівників, які не беруть участі у гасінні пожежі;

- припинити роботи в будівлі, крім робіт, пов'язаних із заходами по ліквідації пожежі

- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у гасінні пожежі;

- одночасно з гасінням пожежі організувати евакуацію і захист матеріальних цінностей;

- організувати зустріч підрозділів пожежної охорони, надати їм допомогу в локалізації та ліквідації пожежі;

- після прибуття на пожежу пожежних підрозділів необхідно забезпечити їх безперешкодний доступ до місця виникнення пожежі.

4. Якщо є потерпілі, необхідно надати їм першу медичну допомогу, повідомити керівника підприємства, а при необхідності, викликати швидку медичну допомогу.

5. Послідовність подання до медичної допомоги:

- припинити дію на організм факторів, що спричинили нещасний випадок, які загрожують здоров'ю чи життю потерпілого (звільнити від дії електричного струму, винести з ураженої зони) і оцінити його стан;

- за необхідності вжити заходів щодо рятування потерпілого у порядку першочерговості (відновити прохідність дихальних шляхів, провести штучне дихання, зовнішній масаж серця, зупинити кровотечу, накладити пов'язку тощо);
- вжити заходів для відправки потерпілого в найближчий медичний заклад.

### **5.3. Вимоги техніки безпеки під час роботи з хімічними реагентами**

*Визначення ХСК біхроматним методом потребує дотримання особливих застережних заходів*, бо включає операції кип'ятіння проб з концентрованою сірчаною кислотою і калієм двохромовоокислим. Ці операції слід проводити у халаті, рукавичках, масці, у витяжній шафі.

Підливати сірчану кислоту у воду слід обережно, у термостійкому посуді, перемішуючи вміст колби. Необхідно бути обережним у роботі зі сріблом сірчаноокислим у зв'язку з його токсичністю. Особа, яка виконує дослідження, має бути проінструктованим про застережні заходи під час роботи з реактивами: сірчаною кислотою, розчином калію двохромовоокислого у сірчаній кислоті, сульфатом ртуті(II),-сульфатом срібла, а також під час праці з електронагрівальними приладами і хімічним посудом.

#### ***Правила безпечного поводження з гіпохлоритом натрію***

При роботі з гіпохлоритом натрію необхідно дотримуватися таких правил безпеки:

- ✓ Обов'язково проводити інструктажі з техніки безпеки для всіх працівників, які працюють з реагентом;
- ✓ Використовувати індивідуальні засоби захисту: окуляри, гумові рукавички, захисний одяг;
- ✓ Забезпечити наявність джерела чистої води (душового комплексу) в безпосередній близькості від робочого місця;
- ✓ Обладнати приміщення ефективною системою вентиляції для видалення парів хлору;

- ✓ Маркувати всі ємності з розчином згідно з встановленими вимогами та нормами;
- ✓ Не змішувати гіпохлорит натрію з кислотами та аміаком — це може призвести до виділення токсичних газів;
- ✓ Зберігати в прохолодному, темному місці подалі від прямих сонячних променів.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконаної магістерської роботи проаналізовано технологічний процес очищення стічних вод підприємства з виготовлення виробів санітарно-гігієнічного призначення ПАТ "Кохавинська паперова фабрика".

Під час аналізу зразків стічних вод та вибору задовільного варіанту комбінації реагентів використано шість варіантів, які містили: коагулянти – низькоосновний коагулянт на основі гідроксихлориду алюмінію та хлорид заліза III; флокулянт 1011; каустик; вапно. Найзадовільніший результат отримано при застосування 5 варіанту у комбінуванні на 100 мл води: каустик NaOH (5 кр.) + алюмовмісний коагулянт (5 кр.) + флокулянт 1011(5 кр.). При цьому рН становить 9,68.

Комбінування реагентів за 5 варіантом дозволяє зменшити ХСК з 3400 мг/л до 600 мг/л, що забезпечує очищення 83%.

Запропоновано використати для біологічного очищення води з ХСК 600 мг/л аеробні процеси, які забезпечують високу ступінь доочищення –біореактор з рухомим біозавантаженням (Moving-bed biofilm reactor – MBBR). Така система є модифікацією аеротенку, в яких біоплівка закріплена на невеликих пластикових елементах (носіях), які вільно перемішуються у воді. Запропоновано об'єм реактора 300 м<sup>3</sup>. Площа біоплівки на одиницю об'єму носія 500 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Система забезпечує високу стійкість до промислових забруднень, компактність та якісне очищення.

Для дезінсекції запропоновано застосовувати контактний резервуар об'ємом приблизно 11,5 м<sup>3</sup> із використанням 10% розчину гіпохлориту натрію. Витрата активного хлору становитиме 5 мг на літр стоків (5 г на 1 м<sup>3</sup>).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водна стратегія України на період до 2050 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2022 р. № 1134-р. Офіційний вісник України. 2022. № 88. С. 63. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80#Text>. (Дата звернення: 12.06.2025).
2. Водний кодекс України : Закон України від 6 червня 1995 р. № 213/95-ВР. Відомості Верховної Ради України. 1995. № 24. С. 189. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>. (Дата звернення: 12.06.2025).
3. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25 червня 1991 р. № 1264-XII. Відомості Верховної Ради України. 1991. № 41. С. 546. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>. (Дата звернення: 12.06.2025).
4. Про затвердження Порядку розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти та Переліку забруднюючих речовин, скидання яких у водні об'єкти нормується : Постанова Кабінету Міністрів України від 11 вересня 1996 р. № 1100. Офіційний вісник України. 1996. № 17. С. 136. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1100-96-%D0%BF#Text>. (Дата звернення: 12.06.2025).
5. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування : Зміна № 1 : чинні від 2013-10-01. Київ : Мінрегіон України, 2013. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativi/dbn/1-1-0-177>.
6. ДСТУ 3041-95. Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Гідросфера. Використання і охорона води. Терміни та визначення : [Чинний від 1996-01-01]. Київ : Держстандарт України, 1996. 47 с. (Національний стандарт України).
7. Про затвердження Правил приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення та Порядку визначення розміру плати, що справляється за понаднормативні скиди стічних вод до систем централізованого водовідведення : Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та

житлово-комунального господарства України від 01 грудня 2017 р. № 316. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0033-18#Text>. (Дата звернення: 12.06.2025).

8. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001:2015, IDT) : [Чинний від 2017-07-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 32 с. (Національний стандарт України).

9. Керівний нормативний документ. Охорона навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів. Метрологічне забезпечення. Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в поверхневих і стічних водах : КНД 211.1.4.021-95. Київ : [б. в.], 1995. 9 с.

10. Степова О. В., Трохименко Г. Г. Технології захисту водного середовища : навчально-методичний посібник для спеціальностей 101 "Екологія", 183 "Технології захисту навколишнього середовища" всіх форм навчання. Полтава : [б. в.], 2022. 306 с.

11. Епоян С. М. та ін. Фізико-хімічні та біологічні методи очистки стічних вод : навчальний посібник. Харків : ХНУБА, 2012. 297 с.

12. Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія очистки промислових стічних вод». Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 73 с.

13. Кохавинська папірня розширилася і збільшила виробництво на 60 % : [стаття]. ЛІГА.Бізнес. URL: [https://biz.liga.net/ua/all/all/novosti/kokhavynska-papirnia-rozshyrylasia-i-zbilshyla-vyrobnytstvo-na-60?utm\\_source=chatgpt.com](https://biz.liga.net/ua/all/all/novosti/kokhavynska-papirnia-rozshyrylasia-i-zbilshyla-vyrobnytstvo-na-60?utm_source=chatgpt.com). (Дата звернення: 21.09.2025).

14. Технологія MBBR (moving bed biofilm reactor) біофільтр. Greenlife. URL: <https://greenlife.in.ua/ua/a408523-tehnologiya-mbbr-moving.html>. (Дата звернення: 07.10.2025).

15. Головна сторінка. Кохавинська папірня. URL: <https://www.kpf.ua>. (Дата звернення: 21.09.2025).

16. Головна сторінка. Зіко. URL: <https://ziko.com.ua>. (Дата звернення: 15.11.2025).

17. Гідроксихлориди алюмінію – ПоліВАК. Coagulant. URL: <https://coagulant.com.ua/catalog/gidroksihloridi-alyuminiyu-polvak>. (Дата звернення: 16.11.2025).

18. Iron Chloride (III). ITS Water Group. URL: <https://www.itswatergroup.com/uk/product/iron-chloride-iii>. (Дата звернення: 16.11.2025).

19. Флокулянти Magnafloc. XEF. URL: [https://xef.com.ua/produkti-kramnicya/flokulyanti/magnafloc/?v=3943d8795e03&srsltid=AfmBOorx9K-Gt8NbsPAX9bnqpr1HMpGeVOHLVXV\\_qEy7eJCtqwT3k\\_rl](https://xef.com.ua/produkti-kramnicya/flokulyanti/magnafloc/?v=3943d8795e03&srsltid=AfmBOorx9K-Gt8NbsPAX9bnqpr1HMpGeVOHLVXV_qEy7eJCtqwT3k_rl). (Дата звернення: 16.11.2025).