

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Нафти, газу та екології

Кафедра екології, води та природоохоронних технологій.

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему **Дослідження процесу мембранного очищення стічних вод олійно-жирових виробництв**

Здобувача Тарануха О.С.

2 курсу ТЗС-467 групи

Керівник доцент Бондар С.М.

**Кваліфікаційна робота допускається до захисту**

Рішення кафедри від \_\_\_\_\_ 2023 р., протокол № \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри ЕВтаПТ \_\_\_\_\_ Олексій ГАРКОВИЧ

Одеса - 2023 рік

# ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Нафти, газу та екології

Кафедра екології, води та природоохоронних технологій.

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**завідувач кафедри**  
к-т біол. наук, доц.

\_\_\_\_\_ **О.Л. Гаркович**

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року

## **ЗАВДАННЯ**

### **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

**Тарануха Олександра Сергіївна**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження процесу мембранного очищення стічних вод олійно-жирових виробництв».

Затверджена наказом ОНТУ від “27” 01 2023 року, наказ № 21-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 01.12.23.

3. Вихідні дані до роботи методи очистки стічних вод; матеріали переддипломної практики: етапи визначення оптимальних режимів функціонування процесу очищення стічних вод від олійно-жирових відходів.

4. Перелік питань, які потрібно розробити здійснити аналіз даних науково-технічної літератури, схарактеризувати основні технологічні етапи проведення науково-дослідницької роботи з визначення оптимальних режимів функціонування процесу очищення стічних вод від олійно-жирових відходів, експериментально встановити залежності між основними факторами процесу очищення стічних вод.

5. Перелік графічного матеріалу (з зазначенням обов'язкових креслень) таблиці та схеми, що відображають хід виконання випускної кваліфікаційної роботи

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Аналіз даних науково-технічної літератури з проблеми	Бондар С.М., к.т.н, доц.	02.08	29.08
2. Матеріали та методи дослідження	Бондар С.М., к.т.н, доц.	29.08	19.09
3. Обґрунтування та експериментальне дослідження технологій очищення стічних вод олійно-жирових	Бондар С.М., к.т.н, доц.	19.09	17.10
4. Експериментальні дослідження	Бондар С.М., к.т.н, доц.	17.10	07.11
5. Охорона праці та ЦЗ	Гаркович О.Л., к.б.н, доц.	07.11	30.11

7. Дата видачі завдання 02.08.2023 р.

Керівник \_\_\_\_\_ Сергій БОНДАР

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Олександра ТАРАНУХА

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Олійно-жирові відходи як джерело забруднень довкілля	29.08.23	
2	Технології очистки стічних вод від олійно-жирових виробництв	29.08.23	
3	Матеріали та методи дослідження	19.09.23	
4	Дослідження процесу ультрафільтрації стічних вод процесу рафінації жирів.	17.10.23	
5	Обґрунтування та експериментальне дослідження технологій очищення стічних вод олійно-жирових	07.11.23	
6	Охорона праці та ЦЗ	30.11.23	
7	Оформлення результатів виконаної роботи	01.12.23	

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Олександра ТАРАНУХА

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Сергій БОНДАР

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник \_\_\_\_\_ Олександра ТАРАНУХА

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи: сторінок – 84, рис. – 17 табл. – 5, формули – 9, література – 36.

**Перелік ключових слів:** управління відходами, мембранні установки, олійно-жирова галузь, навколишнє середовище.

**Тема:** Дослідження процесу мембранного очищення стічних вод олійно-жирових виробництв

**Об'єкт досліджень:** процес мембранного очищення стічних вод, які утворюються під час виробництва олій та жирів. Цей процес включає в себе використання мембран, які фільтрують та видаляють забруднюючі речовини зі стічних вод, розщеплюючи їх на складові частини та забезпечуючи очищення води від шкідливих речовин.

**Предмет досліджень:** процес мембранного очищення стічних вод, що виникають в результаті виробництва олій та жирів.

**Мета досліджень** полягає у вдосконаленні та оптимізації процесу мембранного очищення стічних вод олійно-жирових виробництв з метою зниження негативного впливу на довкілля та створення ефективного, економічно вигідного та екологічно безпечного методу обробки відходів

Кваліфікаційна робота магістра складається з таких розділів:

**Розділ 1.** У 1 розділі висвітлено проблеми олійно-жирових виробництв та вплив на навколишнє середовище. Викладена загальна характеристика жирів як джерела забруднень довкілля, схарактеризовані технології очистки води. Здійснено аналіз перспектив впровадження сучасних способів та засобів очистки води, забруднених оліями.

**Розділ 2.** Матеріали та методи дослідження. Визначені об'єкти, охарактеризовані методи дослідження та розроблена програма проведення дослідження.

**Розділ 3.** Обґрунтовано пропозиції щодо впровадження технології очищення олійно-жирових забруднень методами мембранної очистки. Теоретично обґрунтовано та експериментально перевірено можливість застосування тестування керамічних мембран для очищення води, від олій.

**Розділ 4.** Наведено правила безпеки та обов'язкові вимоги для роботи в лабораторії. Здійснено аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів. Схарактеризовано вимоги до охорони праці при організації робочого місця працівника.

**Розділ 5.** У розділі в рамках інформації щодо надзвичайних ситуацій, було розраховано характер ризик загибелі при аварійній ситуації на об'єкті хімічної промисловості.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП .....</b>	<b>5</b>
<b>РОЗДІЛ 1. МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ОЛІЙНО-ЖИРОВИХ ВИРОБНИЦТВ .....</b>	<b>7</b>
1.1. Загальна характеристика стічних вод олійно жирових виробництв .....	7
1.2. Методи очищення стічних вод олійно-жирових виробництв .....	12
1.3. Класифікація процесів мембранного розділення .....	15
1.4. Конструкції апаратів для проведення мембранних процесів .....	25
1.5. Сучасні дослідження ультрафільтрації стічних вод олійно жирових підприємств. ....	31
<b>РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....</b>	<b>34</b>
2.1. Методика визначення сухого залишку стічних вод .....	34
2.2. Методика визначення завислих речовин .....	35
2.3. Методика роботи з рефрактометром .....	36
2.4. Методика визначення БПК .....	38
2.5. Методика визначення ХПК .....	39
<b>РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ОЛІЙНО-ЖИРОВИХ ВИРОБНИЦТВ .....</b>	<b>42</b>
3.1. Об'єкт досліджень .....	42
3.2. Застосування мембран ультрадіапазону .....	44
3.3. Визначення продуктивності мембран .....	47
3.4. Забруднення мембран .....	50
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....</b>	<b>64</b>
4.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів .....	64
4.2. Заходи і засоби для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації. ....	65
4.3. Забезпечення необхідного санітарного стану виробництва. ....	66
4.4. Заходи і засоби для захисту працюючих від ураження електричним струмом, блискавкозахист і захист від статичної електрики .....	66
4.5. Забезпечення пожежовибухобезпеки .....	67
4.6. Вимоги до охорони праці при організації робочого місця працівника. ....	68

4.7. Забезпечення нормативних значень показників мікроклімату і чистоти повітря. ....	69
4.8. Освітлення робочого місця, заходи і засоби для забезпечення нормованих показників освітлення. ....	70
<b>РОЗДІЛ 5. ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.....</b>	<b>72</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>75</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>76</b>

## ВСТУП

Процес мембранного очищення стічних вод олійно-жирових виробництв є вкрай важливою у зв'язку з поширеним використанням олій та жирів у промислових процесах, що призводить до значного забруднення навколишнього середовища. Особливо актуальною стає проблема забруднення водою і ґрунту внаслідок викидів та виливів стічних вод з підприємств, що займаються виробництвом олій і жирів.

Відходи від олійно-жирового виробництва містять різноманітні забруднюючі речовини, такі як олії, жири, емульгатори та інші хімічні сполуки, які можуть викликати серйозні наслідки для водних екосистем та здоров'я людини. Мембранне очищення стічних вод виявляється одним із перспективних напрямків вирішення цієї проблеми, оскільки воно дозволяє ефективно видалити забруднюючі речовини та поділити стічні води на компоненти з мінімальним викидом шкідливих речовин в навколишнє середовище.

Дослідження процесу мембранного очищення в контексті олійно-жирового виробництва є важливим кроком у розвитку технологій, спрямованих на зменшення негативного впливу промисловості на довкілля. Розробка та оптимізація мембранних технологій для ефективного очищення стічних вод може призвести до створення більш сталих та екологічно безпечних методів обробки відходів олійно-жирових виробництв, що в свою чергу сприятиме збереженню природних ресурсів та здоров'ю нашого екосистеми.

**Мета дослідження** полягає у вдосконаленні та оптимізації процесу мембранного очищення стічних вод олійно-жирових виробництв з метою зниження негативного впливу на довкілля та створення ефективного, економічно вигідного та екологічно безпечного методу обробки відходів.

Завдання дослідження включають:

- Розкриття характеристик та визначення основних забруднюючих речовин, які присутні у відходах, що формуються під час виробництва олій і жирів;
- Вивчення технологічних аспектів мембранного очищення;
- Оцінка ефективності застосування мембранного очищення на основі видалення забруднюючих речовин і забезпечення відповідності вимогам нормативів якості води;
- Аналіз та оцінка впливу запропонованого методу очищення на навколишнє середовище, включаючи зменшення викидів шкідливих речовин та покращення якості водойм та ґрунту;
- Висунення рекомендацій для впровадження розробленого методу в промисловість з метою його широкомасштабного застосування та покращення стану довкілля;

**Об'єкт дослідження** є процес мембранного очищення стічних вод, які утворюються під час виробництва олій та жирів. Цей процес включає в себе використання мембран, які фільтрують та видаляють забруднюючі речовини зі стічних вод, розщеплюючи їх на складові частини та забезпечуючи очищення води від шкідливих речовин.

**Предмет дослідження** є процес мембранного очищення стічних вод, що виникають в результаті виробництва олій та жирів.

**Методи дослідження:** присвяченої процесу мембранного очищення стічних вод олійно-жирових виробництв, можуть включати різноманітні підходи для отримання обґрунтованих результатів.

Основні методи дослідження:

- Проведення докладного аналізу літературних джерел, наукових статей та публікацій, що стосуються мембранного очищення стічних вод;
- Аналіз складу стічних вод;
- Експерименти з мембранним очищенням;
- Економічний аналіз;

## РОЗДІЛ 1.

### МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ОЛІЙНО-ЖИРОВИХ ВИРОБНИЦТВ

#### 1.1. Загальна характеристика стічних вод олійно-жирових виробництв

Стічна вода, олійно-жирових виробництв, є суттєво завантаженою як органічними, так і неорганічними розчиненими речовинами. Це водосполучення відрізняється високими показниками біохімічної та хімічної кислотності, а також вмістом завислих речовин, фосфору та сульфатів.

У галузях переробки сільськогосподарського сектора, де витрати на матеріали та енергію становлять понад 80% у собівартості продукції, особливо важливо знизити матеріаломісткість. Це можна здійснити шляхом широкого впровадження відходів-нуль, комплексного використання сировини та вторинних ресурсів у комбінованому виробництві. Ще одним ключовим аспектом є забезпечення екологічної безпеки заводів, які виробляють харчові продукти, та мінімізація негативного впливу відходів на довкілля. Харчова промисловість є однією з найбільш матеріаломістких галузей, тому раціональне використання сировини стає надзвичайно важливим. Проблема утилізації відходів - одна з найбільш суттєвих для підприємств харчової промисловості.

Харчова промисловість у галузевому перерізі для України виглядає так (рис.1.1.).



Рис.1.1 –Харчова промисловості у галузевому перерізі для України виглядає так.

Згідно з аналізом, підприємства у галузі харчової промисловості зосереджені переважно у західній та південно-східній частині країни,

областях з високою концентрацією водних об'єктів. Це свідчить про те, що контроль за скидом стічних вод в цих регіонах виявляється більш важливим для попередження забруднення водойм. Останнім часом спостерігається процес технічного оновлення підприємств, зокрема, у сфері виробництва харчової олії. Зміна технологій призводить до зміни якості стічних вод, що утворюються. Більшість підприємств, які виробляють олію, не очищують промислові стоки, виливаючи сотні тонн забруднень у водойми. Там, де є очисні споруди, вони, як правило, відповідають старим вимогам щодо очищення побутових стічних вод, тож неефективно очищують промислові стоки. Це приводить до небезпеки забруднення поверхневих вод органічними речовинами з виробництва їжі. Ці речовини сприяють процесам гниття, зараженню бактеріями, цвітінню води та негативно впливають на екосистему. Для багатьох підприємств стає серйозною проблемою відповідне очищення стічних вод. Часто виникає необхідність у пошуку надійних та ефективних очисних споруд, які забезпечують стабільно високу якість очищення, а також у реконструкції та розширенні наявних споруд для поліпшення екологічних показників.

Високий показник біохімічної кислотності (БСК) вказує на значну кількість органічних сполук у стічній воді, що може викликати проблеми для водних екосистем. Це може включати залишки мила та інших органічних забруднювачів, які можуть впливати на водне середовище.

Високий показник хімічної кислотності (ХСК) та вміст неорганічних речовин, таких як фосфор та сульфати, можуть свідчити про використання хімічних реагентів або наявність неорганічних сполук у воді. Це може виникнути внаслідок використання деяких хімічних компонентів у складі соапстоків або інших процесів переробки.

Для зменшення негативного впливу стічних вод, які утворюються при переробці різних олій та жиру, можливі заходи включають удосконалення технологій переробки, використання біологічних методів очищення води, а також впровадження систем відновлення та переробки води. Такі заходи

допоможуть зменшити вміст органічних та неорганічних розчинених речовин у стічних водах, поліпшуючи якість водних ресурсів та знижуючи негативний вплив на довкілля.

Також зростання цін на паливно-енергетичні ресурси примушує компанії в Україні думати про більш обґрунтоване використання енергії, ефективне використання відходів виробництва, таких як стічні води [1].

Унікальні природно-кліматичні умови України створюють сприятливі умови для вирощування соняшнику на практично всій території країни. Найбільш вигідні землі для цього знаходяться в степовій зоні та південному лісостепу. Соняшник займає понад 90% загального обсягу виробництва олійних культур в Україні, а його посівні площі становлять не менше 10% загальної посівної площі.

Щорічний валовий збір постійно зростає, і в 2015 році досяг рекордних 11,2 мільйонів тонн. Українська олія визнана лідером на міжнародному ринку. Однак із збільшенням виробництва продукції також збільшуються потужності олійно-жирової промисловості [2]. Розширення потужностей підприємств виробництва харчової олії на поточному етапі розвитку призводить до утворення значних обсягів відпрацьованих вод, які утворюють стічні води виробничого процесу.

Основними забруднювальними компонентами стічних вод є органічні речовини, переважно жирові, які очисні споруди не можуть повністю очистити до рівня, що відповідає санітарним вимогам. Це створює значну екологічну небезпеку, оскільки призводить до забруднення поверхневих вод органічними речовинами.

Галузь харчової та переробної промисловості, подібно до багатьох інших сфер господарювання, є джерелом негативного впливу на навколишнє середовище. Різноманітність видів сировини та готової продукції, які виробляється, разом із різноманіттям та різним рівнем екологічної безпеки промислових технологій, призводить до значних відмінностей у кількості та забрудненості виробничих відходів.

Ці проблеми вимагають системного підходу та впровадження ефективних технологій очищення стічних вод для зменшення негативного впливу промисловості на довкілля.

Найбільший негативний вплив на довкілля мають м'ясна, цукрова, спиртова, олійно-жирова та дріжджова галузі харчової промисловості [2].

Щорічно в Україні під час функціонування підприємств харчової промисловості накопичується значна кількість жировмісних відходів. Важливо відзначити, що ці відходи відрізняються багатокомпонентністю складу, яка може значно коливатися в залежності від режиму роботи конкретного підприємства. Це становить одну з ключових проблем, що виникають перед науковцями при розробці методів обробки відходів олійно-жирової промисловості, і більшість існуючих технологій застосовуються лише з певними обмеженнями [1].

Олійно-жирова промисловість є складною галуззю харчової індустрії, що об'єднує виробництва олії, жирів, харчового масла, маргарину та реалізації їхньої продукції. Ця галузь використовує насіння олійних культур, таких як соняшник, льон, бавовник, соя, гірчиця, арахіс, рапс, конопля та інші, як вихідну сировину.

У результаті переробки насіння олійних культур отримують продукти первинної переробки (олію та шрот), продукти більш глибокої переробки (майонез, маргарин, мило, жири кондитерські, оліфи), кісточкову крихту [3].

Галузь виробництва олії та жирів в Україні демонструє позитивну динаміку та збільшення обсягів виробництва. У 2012 році вона склала значну частину загального обсягу розвитку сільськогосподарського виробництва (АПК). Зокрема, виробництво олійно-жирової продукції становило приблизно 30%, в той час як у продукції харчової промисловості цей показник склав близько 50% [3]. Характерна тенденція до зростання обсягів виробництва, що разом з тим спричиняє збільшення впливу на екологічну ситуацію в країні.

Жировмісні стічні води відносяться до висококонцентрованих промислових стоків. Для деструкції їхніх забруднень необхідне будівництво складного комплексу очисних споруд. Застосування існуючих механічних та фізико-хімічних методів очищення жировмісних стічних вод не є економічно доцільним, оскільки ці методи потребують значних витрат, не забезпечують достатнього ефекту очищення і призводять до утворення нових відходів, які вимагають додаткової утилізації [1].

Зазвичай стічні води підприємств олійно-жирової промисловості мають характеристики каламутності, сірого кольору та містять пластівчасту суспензію. Реакція середовища є активною, з рН приблизно 6,7, а вміст жиру коливається від 256 до 396 мг/л. Жир переважно присутній у вигляді олій, і невеликі кількості можуть покривати поверхню води, що ускладнює процес розчинення кисню. Проходячи через каналізаційні мережі, олії можуть прилипати до стінок каналу, агломерувати з іншими забрудненнями, що призводить до зменшення перетину потоку.

Крім того, у стічних водах присутні органічні кислоти та азотовмісні речовини. Велика кількість органічних сполук, які швидко розкладаються, може спричиняти кислотну ферментацію, що призводить до гниття. Стічні води підприємств, залежно від характеристик стоків, виливаються в різні каналізаційні мережі [1].

Отже, створені жировмісні відходи, коли вони потрапляють в навколишнє середовище, викликають негативний вплив, перш за все, на водні ресурси. Існуючі системи очищення від жирових забруднень, використані на більшості підприємств, як правило, не є достатньо ефективними та потребують впровадження нових технологічних рішень [3].

Стічні води з виробництва олій та жирів можуть мати значний екологічний вплив через вміст органічних речовин, жирів, розчинників та інших компонентів, які можуть бути шкідливими для навколишнього середовища. Ось деякі характеристики стічних вод з цих виробництв:

Високий вміст органічних речовин: Олійно-жирові виробництва часто мають велику кількість органічних сполук у стічних водах, таких як жири, олії, емульгатори та інші органічні забруднення.

Емульговані речовини: Вода може містити емульговані олії, що утворюють стійкі емульсії, складні для очищення традиційними методами.

Забруднення розчинниками: Виробництво також може використовувати розчинники для очищення, які потім потрапляють у стічні води і можуть мати токсичний вплив на довкілля [10].

Висока БПК і ХПК: Біохімічна та хімічна кислотність (БПК і ХПК) можуть бути значно вищими, порівняно зі стандартами, через наявність органічних речовин.

Потенційні шкідливі ефекти: Вміст таких речовин у великих концентраціях може негативно впливати на водні екосистеми, роблячи воду непридатною для використання, знижуючи кисневий режим водойм та інші негативні наслідки для тварин та рослин.

## **1.2.Методи очищення стічних вод олійно-жирових виробництв**

Очищення стічних вод олійно-жирових виробництв вимагає ефективних методів, оскільки ці стічні води містять олії, жири, суспендовані частки і хімічні забруднення. Ось декілька методів, які використовуються для очищення таких стічних вод:

**Мембранне очищення:** Мембрани фільтрують олії та жири, дозволяючи чистій воді проходити через них. Цей метод дозволяє видалити майже всі олійні забруднення та інші частки, залишаючи воду практично без забруднень. Метод очищення стічних вод за допомогою мембран базується на властивостях пористих тіл пропускати деякі речовини передусім, відносно інших. Різновиди мембранного поділу, які використовуються у водопромисловій технології, включають діаліз, електродіаліз, мікрофільтрацію, ультрафільтрацію та зворотний осмос. В залежності від механізму перенесення речовини мембранні методи можна розділити на

дифузійні, електричні та гідродинамічні. До дифузійних методів належать газова дифузія і діаліз. Електродіаліз відбувається при накладанні електричного поля. Фільтрація, ультрафільтрація і зворотний осмос є прикладами гідродинамічних методів [4].

**Переваги:** мембрани здатні видаляти мікроскопічні частки, бактерії та віруси, що робить їх ефективними для очищення води від різних забруднень. Сучасні технології дозволяють створювати мембрани з високою продуктивністю та ефективністю, знижуючи витрату води. Мембранне обладнання може бути компактним та мобільним, що робить його придатним для використання в різних умовах та локаціях.

**Недоліки:** пристрої для мембранного очищення можуть бути високою вартістю в порівнянні з іншими методами очищення. Мембрани можуть бути чутливими до забруднень, що вимагає регулярного обслуговування та очищення. Також деякі типи мембран потребують високого тиску для оптимальної роботи, що може бути обмежувальним фактором [5].

**Коагуляція та флокуляція:** Коагуляція та флокуляція — це два основних процеси водопідготовки та очищення стічних вод, спрямовані на утворення великих агломератів (флокул), які легко можуть бути видалені з розчину або стічних вод. Обидва ці процеси є ключовими етапами в процесах обробки води та стічних вод для забезпечення їхньої якості та ефективного очищення.

**Переваги:** швидкий процес, ефективний для різноманітних забруднень.

**Недоліки:** вимагає правильного дозування хімікатів, може призводити до утворення осаду.

**Флотація:** Флотаційні установки дозволяють видалити олії та жири, які залежать на поверхні стічних вод, шляхом впливу повітряних бульбашок. Олії та жири утворюють плівку на поверхні, яку можна зібрати.

**Переваги:** ефективно видаляє різні типи забруднень, включаючи олії та жири.

**Недоліки:** велике утворення осаду, високі енергетичні витрати.

**Біологічна очистка:** Біологічна очистка включає в себе використання мікроорганізмів для розкладання органічних забруднень, включаючи олії та жири. Цей метод використовується після видалення основних олійних забруднень.

Найбільш ефективним рішенням для біологічного очищення стічних вод є аеротенки — спеціальні споруди для біологічного очищення, що працюють за принципом біологічних ставків. Якщо відкриті водойми не можна використовувати в зимовий період, то ці установки функціонують цілий рік.

**Переваги:** ефективно для обробки біологічно активних стічних вод.

**Недоліки:** потребують уваги до температурних та хімічних параметрів, можуть втрачати ефективність при коливанні об'єму виробництва.

**Адсорбція:** В адсорбції використовують адсорбенти, такі як активоване вугілля, для забору олій та жирів зі стічних вод.

Очищення методом адсорбції ґрунтується на можливості деяких твердих матеріалів з ультрамікроскопічною структурою (адсорбентів) селективно вилучати та накопичувати окремі компоненти розчинів на своїй поверхні.

Адсорбційний метод очищення води широко використовується для глибокого видалення розчинених органічних речовин (фенолів, гербіцидів, пестицидів, ароматичних нітросполук, ПАР і барвників) зі стічних вод. Основні переваги цього методу включають високу ефективність (80-95%), можливість очищення стічних вод, що містять кілька речовин, а також можливість відновлення цих речовин. В залежності від природи взаємодії адсорбату (речовини, яка поглинається) та адсорбента (речовина, яка поглинає), виділяють фізичну адсорбцію, активовану адсорбцію і хемосорбцію.

**Недоліки:** потребує регенерації або заміни вугілля, високі витрати на утримання.

**Електрокоагуляція:** Цей метод використовує прикладення електричного струму до стічних вод для утворення коагулюючих агентів та виділення забруднень.

Промислові стічні води, що містять стійкі забруднення, очищують за допомогою електролізу, використовуючи розчинні сталеві або алюмінієві аноди. Під впливом струму відбувається розчинення металу, що призводить до переходу катіонів заліза або алюмінію у воду. При контакті з гідроксидними групами вони утворюють гідроксиди металів у формі пластівців, що сприяють інтенсивній коагуляції [9].

**Переваги:** електрокоагуляція ефективно видаляє суспендовані частки, колоїди та іони металів з води. Зазвичай не потребує додаткового використання коагулянтів або флокулянтів, що зменшує витрати на реагенти. Використовується в очищенні питної води, стічних вод, а також у виробництві та інших галузях [6]. Процес легко піддається регулюванню параметрів, таких як електричний струм, що дозволяє досягти оптимальних умов очищення.

**Недоліки:** вимагає значних витрат електроенергії, що може збільшити експлуатаційні витрати. Електроди потребують обслуговування та періодичного очищення від накипу або осаду. Специфічні умови та тип води можуть впливати на ефективність електрокоагуляції.

Вибір конкретного методу очищення залежить від характеристик стічних вод, вимог до якості очищення та бюджетних обмежень підприємства. Зазвичай комбінація декількох методів може бути найефективнішою для досягнення бажаного результату

### **1.3.Класифікація процесів мембранного розділення**

Мембранні процеси як засоби розділення стали досить новими. У середині ХХ століття мембранна фільтрація не вважалася технічно

важливим методом розділення. Проте на сьогоднішній день мембранні технології широко використовуються, а їх застосування постійно розширюється. Економічно, перехід від XX до XIX століття представляє перехідний період між розвитком перших покоління мембранних процесів, таких як мікрофільтрація (МФ), ультрафільтрація (УФ), зворотний осмос (ЗО), електродіаліз (ЕД) та діаліз, і другого покоління мембранних процесів, таких як газорозділення (ГР), первапорація (ПВ), мембранна дистиляція (МД) і розділення за допомогою рідких мембран (РМ) [7]. Існує різноманітність мембранних процесів, які базуються на різних принципах розділення або механізмах і можуть бути використані для розділення об'єктів різних розмірів – від частинок до молекул. Незважаючи на ці відмінності, у всіх мембранних процесах є спільний елемент - мембрана. Схематичне уявлення процесу показано на рисунку 1.2.

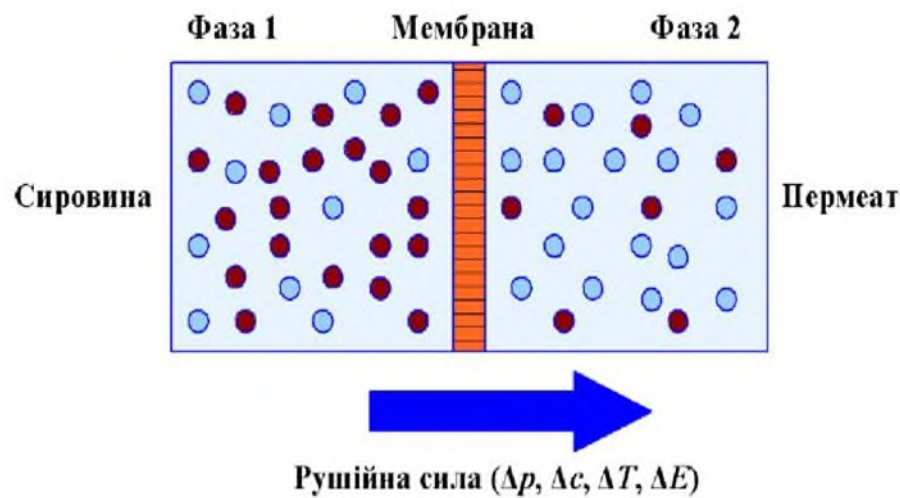


Рис. 1.2. Схема двофазної системи.

Рис. 1.2 Фаза 1, зазвичай відома як сировинна фаза або просто сировина, розділяється мембраною від фази 2, яку називають пермеатом. Розділення відбувається через те, що один компонент з сировини проникає через мембрану швидше, ніж інший (або інші) компоненти. Варто зауважити, що в загальному випадку мембрана не є абсолютно чи ідеально селективним бар'єром пропуску. Мембранні процеси класифікуються за видом основної рушійної сили процесу. Ця рушійна сила може бути

градієнтом хімічного або електрохімічного потенціалу. Проте для технічних розрахунків таких процесів, так само як і для інших обмінних процесів, за основну рушійну силу мембранного процесу приймають градієнт того чи іншого фактору, що визначає швидкість даного процесу, наприклад градієнт тиску, температури і т.д. Отже, основними рушійними силами мембранних процесів можуть бути:

Градiєнт тиску – процеси, пов'язані з баромембраною (зворотний осмос, нанофільтрація, ультрафільтрація і мікрофільтрація).

Градiєнт концентрації – дифузійно-мембранні процеси (діаліз, первапорація, мембранне розділення газів, тощо).

Градiєнт електричного потенціалу – електромембранні процеси (електродіаліз, електроосмос).

Градiєнт температури – термомембранні процеси (мембранна дистиляція).

У деяких випадках в мембранних процесах використовується комбінація кількох зазначених рушійних сил. У кожному процесі мембранного розділення мембрани використовуються для часткового розділення сумішей. Мембрана пропускає один компонент швидше, ніж інший, через відмінності фізичних та/або хімічних властивостей мембрани і компонентів розділюваної суміші. Транспорт через мембрану відбувається під впливом рушійних сил на окремий компонент початкової (сировинної) суміші (фаза 1 рисунку 1.3.).

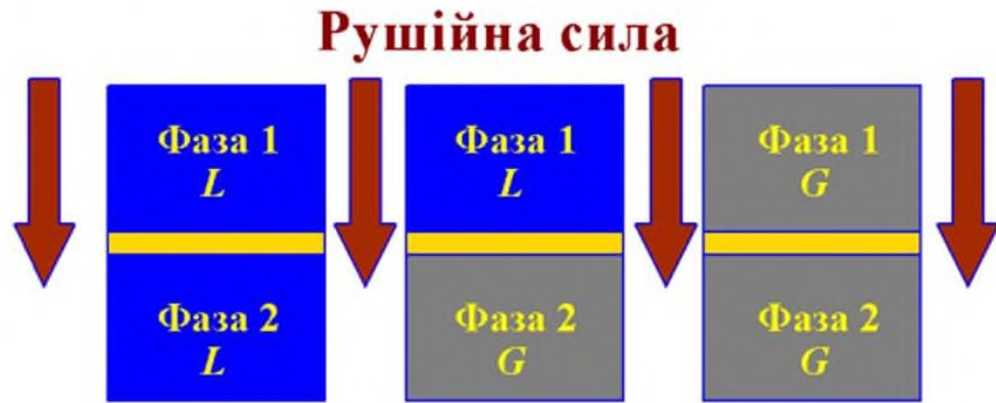


Рис. 1.3. Схема фаз, розділених мембраною.

У багатьох сценаріях швидкість переміщення маси через мембрану пропорційна силі, що її приводить. Іншими словами, зв'язок між потоками та силами може бути узагальнено феноменологічним рівнянням певного виду:

$$J = -A \frac{dX}{dx}$$

Коефіцієнт  $A$ , у феноменологічному рівнянні, представляє собою показник, а  $dX/dx$  – це рушійна сила, яка виражена через градієнт величини  $X$  (наприклад, температури, концентрації або тиску) вздовж координати  $x$ , перпендикулярної до поверхні мембрани. Ця сила може мати вигляд градієнта тиску, концентрації, електричного потенціалу або температури. Огляд різних мембранних процесів та рушійних сил можна знайти у таблиці 1.1. У разі, коли мембрану проникає лише один компонент, можна використовувати лінійні зв'язки для опису його транспорту через мембрану. Однак у випадку, коли проникають два чи більше компонентів, такі зв'язки загалом не застосовуються, оскільки виникають явища взаємозв'язку потоків і сил, які описуються законами термодинаміки для необоротних процесів. Окрім рушійної сили, є ще один фактор, який впливає на селективність і потік крізь мембрану – саме властивості мембрани.

Фактично, характеристики мембрани, її будова та матеріал визначають

широкий спектр можливих застосувань – від розділення великих частинок до сортування молекул, які ідентичні за розміром чи формою. У випадках, коли необхідно зупиняти частинки з діаметром більше 100 нм, застосовують більш проникну структуру [12]. Гідродинамічний опір таких мембран мінімальний, і для отримання значних потоків достатньо невеликої рушійної сили (тиску). Цей тип мембранних процесів відомий як мікрофільтрація.

Мембранний процес	Фаза 1	Фаза 2	Рушійна сила
Мікрофільтрація	L	L	$\Delta P$
Ультрафільтрація	L	L	$\Delta P$
Зворотній осмос	L	L	$\Delta P$
Пьезодіаліз	L	L	$\Delta P$
Газорозділення	G	G	$\Delta P$
Діаліз	L	L	$\Delta C$
Осмос	L	L	$\Delta C$
Первапорація	L	G	$\Delta P$
Електродіаліз	L	L	$\Delta E$
Термоосмос	L	L	$\Delta T$
Мембранна дистиляція	L	L	$\Delta T$

Таблиця 1.1 Деякі мембранні процеси і рушійні сили

Щоб видалити макромолекули з водних розчинів (з молекулярною масою від 104 до більше ніж 106), необхідно мати більш щільну структуру мембрани, що призводить до вищого гідравлічного опору. Ультрафільтрація застосовується у випадках, коли необхідно видалити низькомолекулярні компоненти, які мають приблизно однакові компоненти. Тут використовується вельми щільна асиметрична мембрана, що призводить до високого гідродинамічного опору. Цей процес відомий як гіперфільтрація або зворотний осмос. При переході від мікрофільтрації до ультрафільтрації та зворотного осмосу гідродинамічний опір значно зростає, що потребує більшої рушійної сили. Водночас потік продукту через мембрану і розмір

молекул або частинок значно зменшуються. Величина отриманого потоку продукту залежить від застосованих тисків та опору мембрани. Типові значення тисків і потоків такі:

- мікрофільтрація:  $\Delta P = 0,1 \dots 2$  бар,  $J > 0,5$  м<sup>3</sup> / (м<sup>3</sup> · бар · добу)
- ультрафільтрація:  $\Delta P = 1 \dots 5$  бар,  $J = 0,1 \dots 0,5$  м<sup>3</sup> / (м<sup>3</sup> · бар · добу)
- зворотній осмос:  $\Delta P = 10 \dots 100$  бар,  $J > 0,05$  м<sup>3</sup> / (м<sup>3</sup> · бар · добу)

Сьогодні до класу промислових мембранних процесів відносять мікрофільтрацію, ультрафільтрацію і зворотний осмос. Інші методи, які належать до цієї категорії, включають електродіаліз та газорозділення. Електродіаліз — це процес, в якому рушійною силою мембранного транспорту є різниця електричних потенціалів. Його можна використовувати тільки у випадках наявності заряджених частинок. Особливістю є використання іонізованих або заряджених мембран.

Інші методи, такі як первапорація, розділення за допомогою рідких мембран і мембранна дистиляція, часто класифікують як мембранні процеси другого покоління. Перапорація — це процес, де відбувається фазовий перехід від рідини до пари у пермеаті. Це означає, що потрібно нагрівати систему до температури, коли речовина починає випаровуватися. Цей метод часто використовується для зневоднення органічних сумішей. Термоосмос використовує щільну гомогенну структуру замість мікропористої. У порівнянні з мембранною дистиляцією тут немає фазового переходу, тому й параметри розділення відрізняються.

Коли рушійною силою виступає різниця концентрацій з обох сторін, такий метод може бути недостатнім. Перенесення здійснюється за допомогою дифузії, а розділення досягається завдяки різній швидкості дифузії через різницю молекулярної маси гомогенної мембрани. Цей процес

називається діалізом. Найбільш важливе застосування діалізу – в області медицини для лікування хворих на ниркову.

Процеси мембранного розділення включають різні методи, що використовують мембрани для відокремлення різних компонентів розчину чи суміші. Ось загальна класифікація процесів мембранного розділення:

### **За основною фізичною взаємодією:**

#### **1. Мікрофільтрація:**

Використовує мембрани з порами відносно великого розміру для видалення часток із розчину чи рідини. Основним принципом є використання мембран, які мають пори з розмірами зазвичай від 0,1 до 10 мікрметрів.

#### **2. Ультрафільтрація:**

Є процесом фільтрації, який використовує мембрани з порами відносно малими, зазвичай в межах 0,005-0,1 мікрметра. Цей метод дозволяє видаляти більш дрібні частки та розчинені речовини, ніж мікрофільтрація.

#### **3. Обернена осмос:**

Обернена осмоса (ОО) – це процес очищення води, в якому вода примушується пройти через напівпроникнуту мембрану, що відсіює різні забруднення. Цей метод використовує тиск для переміщення води через мембрану, залишаючи за собою забруднення та домішки.

Отримуваний потік продукту залежить від застосованих тисків і опорів мембрани. Типові значення тисків і потоків такі:

- мікрофільтрація:  $\Delta P = 0,1 \dots 2$  бари,  $J > 0,5$  м<sup>3</sup> / (м<sup>3</sup> · бари · добу)
- ультрафільтрація:  $\Delta P = 1 \dots 5$  бар,  $J = 0,1 \dots 0,5$  м<sup>3</sup> / (м<sup>3</sup> · бар · добу)
- зворотній осмос:  $\Delta P = 10 \dots 100$  бар,  $J > 0,05$  м<sup>3</sup> / (м<sup>3</sup> · бар · добу)

### **За призначенням та областю застосування:**

#### **1. Фільтрація води:**

Фільтрація води – це процес видалення забруднень та часток з води, щоб забезпечити безпеку та якість для різноманітних використань. Цей

метод використовує різні матеріали та техніки для утримання або хімічного розкладання забруднень.

## **2. Очищення стічних вод:**

Очищення стічних вод – це важлива технологічна операція, спрямована на зменшення вмісту забруднень у воді до такого рівня, що не завдає шкоди довкіллю та здоров'ю. Цей процес включає в себе використання різноманітних методів та технологій для видалення твердих частинок, хімічних речовин, бактерій та інших забруднювачів.

## **3. Виробництво харчових продуктів:**

Застосування методів виробництва харчових продуктів включає в себе відокремлення та концентрацію компонентів. Це є ключовим етапом у виробництві безпечних та високоякісних харчових продуктів.

## **4. Медичні застосування:**

В медичній галузі застосування методів фільтрації та очищення відіграє важливу роль у діагностиці, лікуванні та виробництві лікарських засобів. Ці методи сприяють вдосконаленню медичної практики та забезпеченню безпеки пацієнтів.

## **За використанням матеріалом мембрани:**

### **1. Полімерні мембрани:**

Полімерні мембрани представляють собою важливий елемент в сучасних технологіях фільтрації та розділення різних речовин у різних галузях промисловості. Вони виготовляються з різних полімерних матеріалів, таких як поліамід, поліестер, поліетилен і інші. Основні переваги та недоліки цього типу мембран визначають їхню широку застосовуваність та обмеження.

### **2. Керамічні мембрани:**

Керамічні мембрани є ефективним інструментом у сфері фільтрації та розділення різних речовин у промисловості. Згідно з їхнім будовою та властивостями, цей тип мембран здатний працювати в екстремальних умовах та використовується в різних галузях, де важлива чистота продукту.

Виготовлені з керамічних матеріалів, що надає їм високу термостійкість та хімічну стійкість.

### **3. Металеві мембрани:**

Металеві мембрани представляють собою важливий елемент технології фільтрації та розділення, використовуваний у різних галузях промисловості. Цей тип мембран відрізняється своєю міцністю та стійкістю до агресивних середовищ, що робить його ефективним інструментом для численних застосувань.

Переваги вищих потоків, забезпечуваних анізотропними мембранами, настільки великі, що практично всі комерційні процеси використовують такі мембрани. Дотепер вважалося, що матеріалами мембран є органічні полімери, і, фактично, більшість мембран є полімерними. Однак за останні роки зросло зацікавлення в мембранах, виготовлених з менш традиційних матеріалів.

Керамічні мембрани, як особливий клас мікропористих мембран, застосовуються для ультрафільтрації та мікрофільтрації, де важливі опір розчиненню та термічна стійкість. Щільні металеві мембрани, зокрема паладієві мембрани, розглядаються для розділення водню, і підтримувані рідкими плівками були розроблені для полегшеного транспорту носіїв. Також були проведені спроби виготовити мембрани з дерева [10].

Також мембранні процеси відрізняються також і **типом використовуваних мембран**. Основні типи мембран показані на рисунку (1.4.)

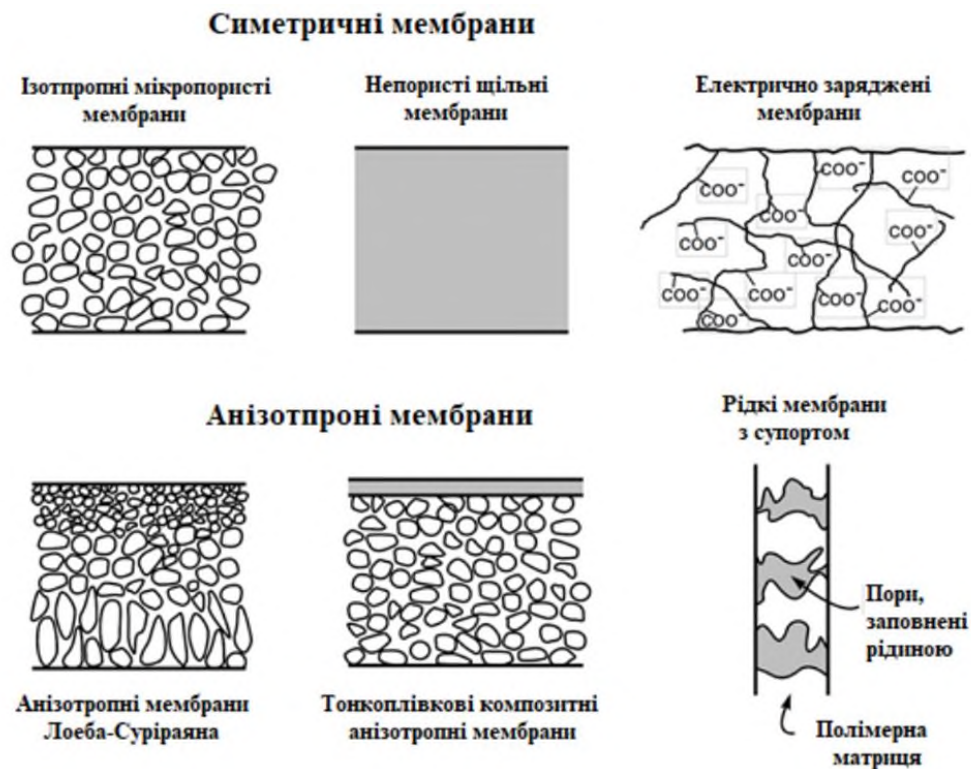


Рис. 1.4. Схематичні зображення головних типів мембран

### За тиском, що застосовується:

#### 1. Мікрофільтрація та ультрафільтрація під тиском:

Мікрофільтрація є одним з ефективних методів фільтрації, де вода чи розчин прокачують через мембрану під впливом тиску. Мембрана в цьому випадку має пори діаметром більше, ніж ультрафільтраційні мембрани, що дозволяє утримувати частки розміром від 0,1 до 10 мікрон [12].

Ультрафільтрація – це метод, де вода або розчин прокачують через мембрану під тиском, але пори ультрафільтраційної мембрани менше, ніж у мікрофільтрації, зазвичай від 0,001 до 0,1 мікрона.

#### 2. Обернена осмоса та нанофільтрація:

В ОО під тиском, вода примушується пройти через мембрану, яка утримує забруднення, залишаючи чисту воду. Тиск допомагає перемагати осмотичний тиск, що сприяє проходженню води через мембрану.

Нанофільтрація під тиском використовує мембрани з наноскопічними порами, які відокремлюють молекули та забруднення на основі їхнього розміру. Під тиском, вода примушується пройти через ці наноскопічні пори,

відділяючи більші молекули та частки від чистої води.

Разом вони вимагають використання високого тиску для примусового просочення рідини через мембрану.

Ця класифікація відображає основні аспекти та види процесів мембранного розділення. Кожен з цих видів має свої переваги та обмеження, що робить їх придатними для конкретних завдань та умов застосування.[11]

#### **1.4. Конструкції апаратів для проведення мембранних процесів.**

Мембранні процеси, як методи розділення, представляють собою релативно новий напрямок. У середині ХХ століття мембранна фільтрація не розглядалася як технічно важливий процес розділення. Проте на сьогоднішній день мембранні технології широко використовуються, і їх застосування постійно розширюється. З економічного погляду, перехідний період між ХІХ і ХХ століттями визначається розвитком мембранних процесів першого покоління, таких як мікрофільтрація (МФ), ультрафільтрація (УФ), зворотний осмос (ЗО), електродіаліз (ЕД) та діаліз.

Перші покоління мембранних процесів включає в себе методи, спрямовані на розділення твердих частинок, бактерій, великих молекул та іонів з водної рідини [11]. Друге покоління, у свою чергу, охоплює технології, такі як газорозділення (ГР), первапорація (ПВ), мембранна дистиляція (МД) та розділення за допомогою рідких мембран (РМ).

Розширення застосування мембранних технологій відбувається у різних галузях, включаючи очищення води, харчову промисловість, медицину та інші. Це свідчить про поступовий перехід від підходів першого покоління до новітніх методів, що відкривають нові можливості для технологічного прогресу та вирішення складних завдань розділення.

Конструкції апаратів для проведення мембранних процесів включають різноманітні технічні рішення, які дозволяють ефективно застосовувати мембранні технології у різних сферах.

Промислові мембранні установки часто потребують великі площі

мембран — сотні і тисячі квадратних метрів — для проведення розділення в необхідному масштабі. Для здійснення мембранного розділення в промисловому масштабі необхідні економічні та ефективні методи упакування великих площ мембран. Такі упаковки називаються мембранними модулями.

Найперші конструкції базувалися на простих технологіях фільтрації та містили плоскі мембрани, подібні до фільтр-пресів, і вони відомі як плоскорамні модулі. Мембрани у формі трубок діаметром 10-30 мм також були розроблені приблизно в той же час. Обидві конструкції залишаються використовуваними, але через їхню відносно велику вартість вони часто замінюються двома іншими типами конструкцій - спіральними та порожнистоволоконними модулями.

Плоскорамні модулі були першим типом мембранних систем і були вперше використані Стерном для установок по вилученню гелію з природного газу (рис.1.5.).

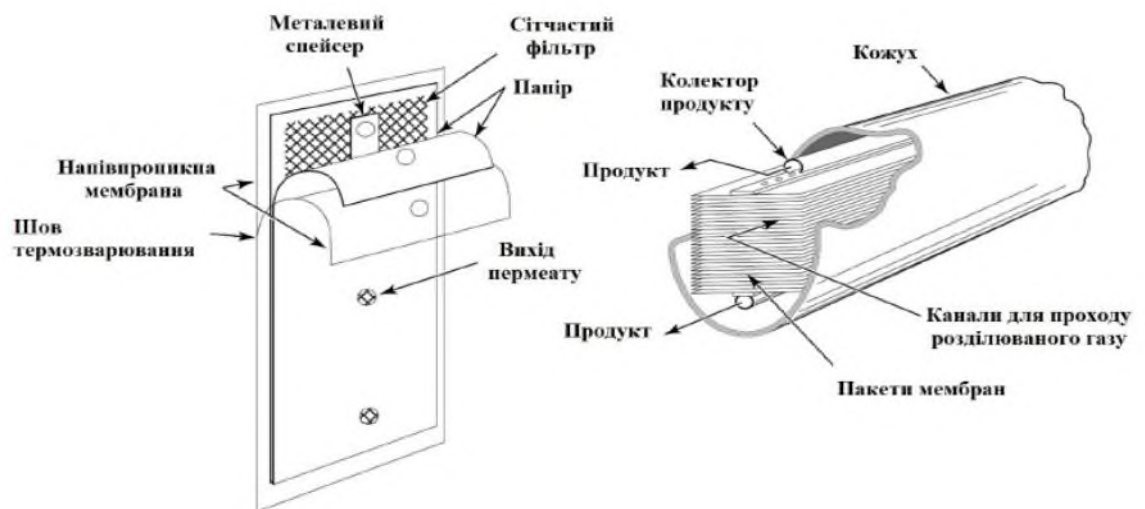


Рис. 1.5. Конструкція ранніх плоскорамних модулів

Плоскорамні модулі зараз використовуються переважно в системах електродіалізу та первапорації. Також їх обмежено використовують в системах зворотного осмосу та ультрафільтрації в середовищах, схильних до високого забруднення. Наприклад, можна зазначити зворотноосмотичний

модуль показаний на рисунку 1.6.

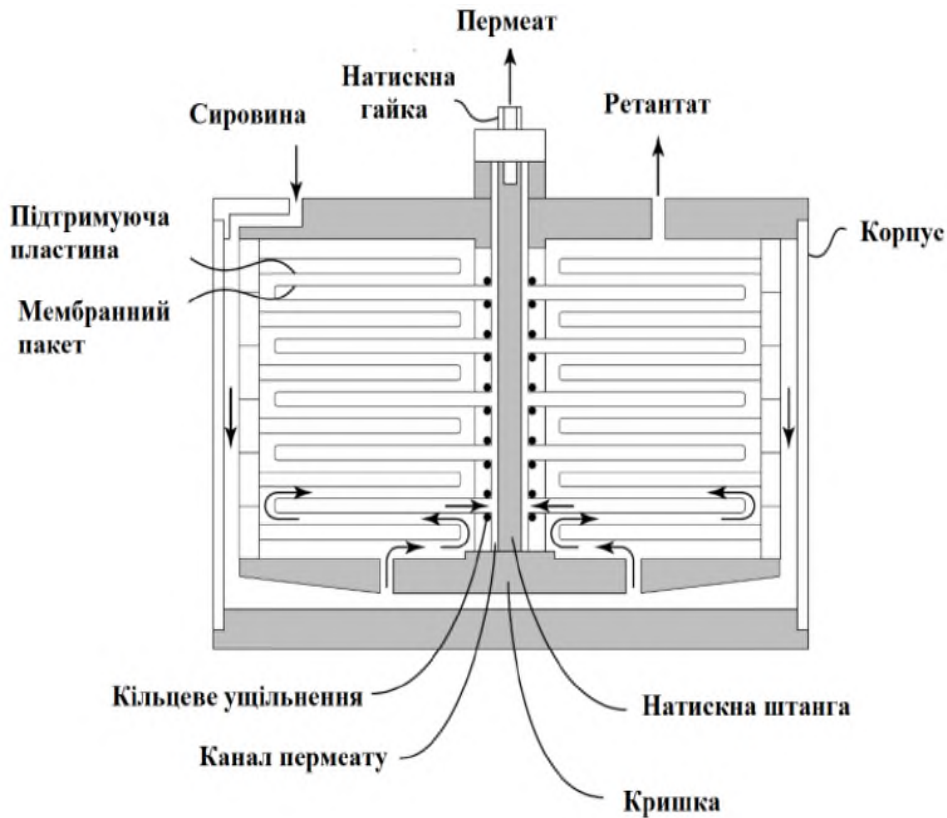


Рис. 1.6. Схема плоскорамного модуля

Трубні модулі зараз в основному використовуються в ультрафільтрації, де перевага в опору до забруднення мембран через добрі гідродинамічні умови переважає їх вартість. Зазвичай, труби містять пористу підкладку з паперу або скловолокна з мембраною, формованою в середині труби, як показано на рисунку 1.7.



Рис. 1.7. Типові конструкції ультрафільтраційних модулів

Трубні модулі зараз в основному використовуються в

ультрафільтрації, де перевага в опору до забруднення мембран через добрі гідродинамічні умови переважає їх вартість. Зазвичай, труби містять пористу підкладку з паперу або скловолокна з мембраною, формованою в середині труби, як показано на рис. 1.8. Розділювана суміш нагнітається через всі 30 труб, з'єднаних у набір.

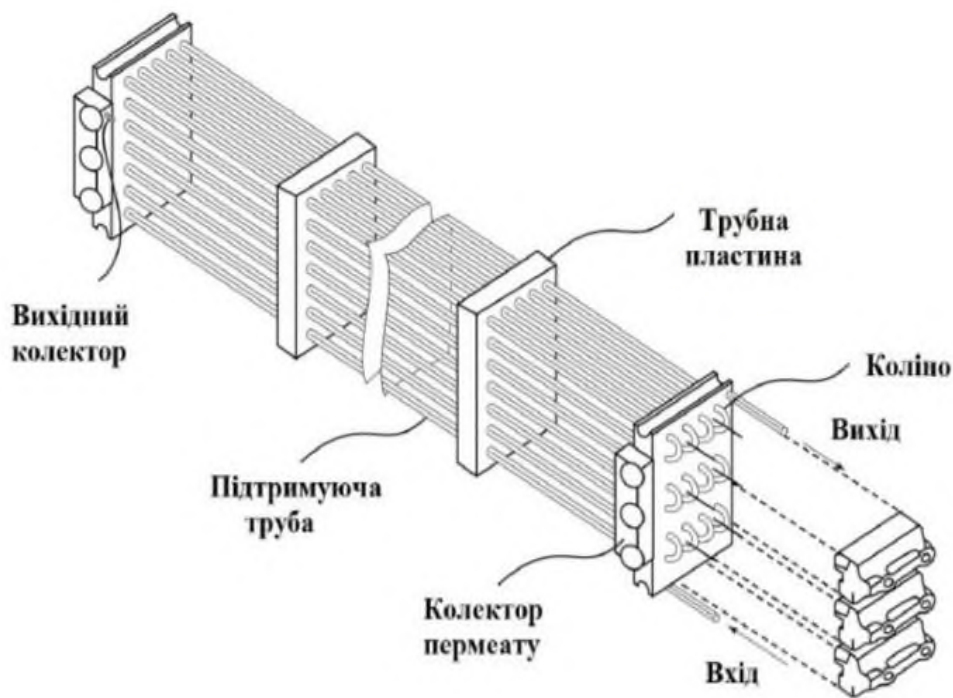


Рис. 1.8. Ультрафільтраційний трубний модуль. Спіральні модулі

Спіральні модулі спочатку були використані в перших версіях штучних нирок, але потім були розроблені для використання в промислових сферах. У цій конструкції, яка показана на рисунку 1.4, простота в її структурі полягає у мембранному пакеті, що містить спейсери (сітки-сепаратори) та мембрани, намотані навколо центральної перфорованої труби-колектора. Цей модуль вставляють всередину трубчастого резервуару високого тиску. Сировина переміщується аксіально вздовж мембранного пакету. Частина сировини проникає в мембранний пакет, рухається через спіральний канал до центру та виходить через трубу-колектор [12].

Також можемо спостерігати типові параметри стандартних спіральних модулів у Табл.1.2.

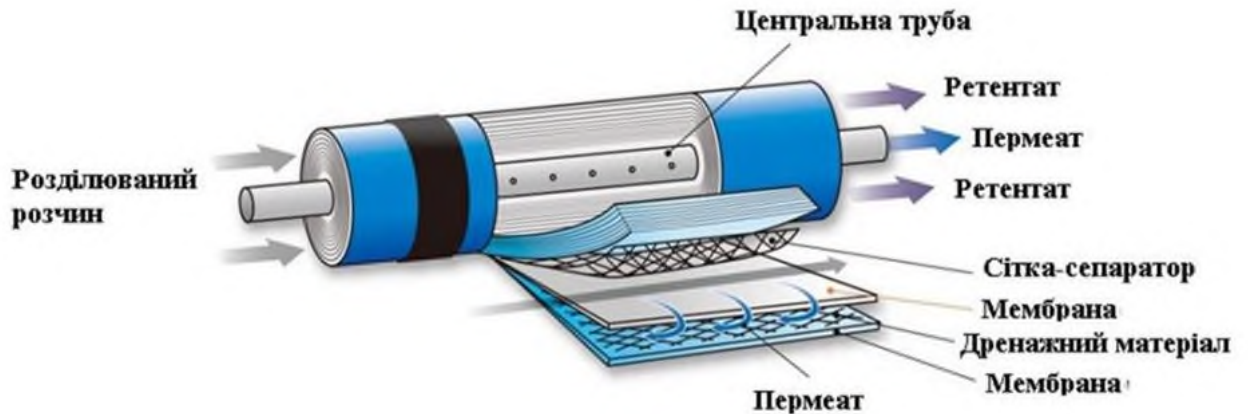


Рис. 1.9. Спіральний модуль

Табл. 1.2. Типові параметри стандартних спіральних модулів

Діаметр модуля, дюйм	4	6	8	12
Кількість мембранних пакетів	4-6	6-10	15-30	30-40
Площа поверхні мембрани, м <sup>2</sup>	3-6	6-12	20-40	30-60

Конструкція на Рис.1.10. Цей метод передбачає введення роздільної суміші у вузловий простір порожнистих волокон і застосовується, наприклад, у системах виділення водню з газових сумішей або при зворотному осмосі. У таких модулях пучок волокон знаходиться у корпусі. Роздільна суміш надходить у систему та заповнює міжволоконний простір; пермеат проникає через стінки волокон і виходить через відкриті кінці. Ця конструкція легко виготовляється та надає значні площі поверхонь мембрани. Оскільки волокна підкладки мають витримувати гідростатичні тиски, їх діаметр зазвичай малий, і вони мають товсті стінки: внутрішній діаметр приблизно 50 мкм, зовнішній від 100 до 200 мкм [13].

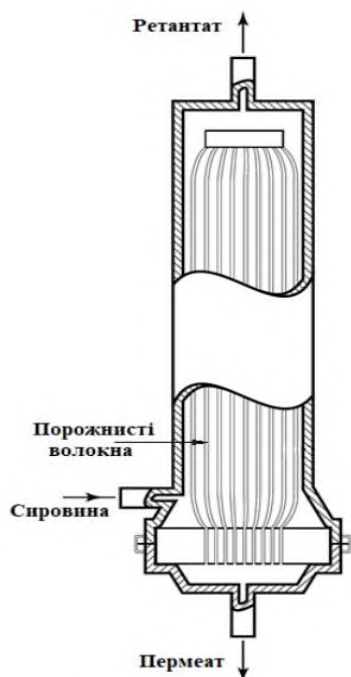


Рис. 1.10. Модуль з порожнистими волокнами та подачею сировини всередину волокон

Інший варіант порожнистих модулів полягає у подачі сировини всередину волокон (рисунок 1.11). Волокна в таких модулях відкриті з обох кінців, а роздільна рідина прокачується через отвори у волокнах. Для зменшення гідравлічного опору всередині волокон, їх діаметр зазвичай більший, ніж у модулів, де сировина постачається у простір між волокнами [14]. Ці волокна, відомі як капілярні, використовуються у процесах ультрафільтрації, первапорації та деяких системах газорозділення з низьким тиском. Надлишковий тиск сировини у цьому модулі зазвичай не перевищує 1 МПа.

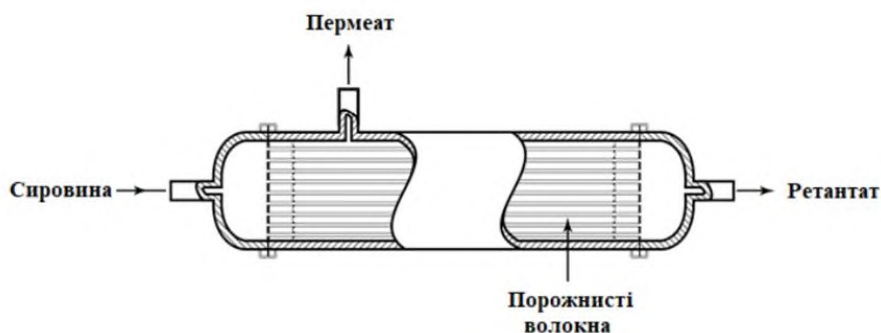


Рис. 1.11. Модуль з порожнистими волокнами і подачею сировини всередину волокон.

Усе враховуючи, конструкції апаратів для проведення мембранних процесів відіграють ключову роль у розвитку та впровадженні мембранних технологій у різноманітних сферах життя. Неперервний пошук нових рішень та оптимізація конструкцій сприятиме подальшому вдосконаленню цих процесів [13].

### **1.5. Сучасні дослідження ультрафільтрації стічних вод олійно-жирових підприємств.**

Ультрафільтрація стічних вод олійно-жирових підприємств стає предметом інтенсивних досліджень у сучасній науці та техніці. Основна мета цих досліджень полягає в розробці та вдосконаленні технологій очищення води від нафтопродуктів та інших забруднюючих речовин з метою забезпечення ефективного та екологічно безпечного використання водних ресурсів.

**Оцінка ефективності процесу.** Науковці досліджують ефективність ультрафільтрації для видалення різноманітних забруднень, зокрема олій, жирів, тяжких металів та інших хімічних речовин. Оцінка кількісного та якісного складу очищених вод дозволяє визначити результативність процесу.

**Розробка нових мембран.** Дослідження спрямовані на створення та оптимізацію мембран, які використовуються в ультрафільтраційних системах. Розробка матеріалів з покращеними фільтраційними властивостями та стійкістю до забруднень є ключовим напрямком.

**Вдосконалення технологічних параметрів.** Вивчаються різні технологічні параметри ультрафільтрації, такі як тиск, температура, розмір пор, для максимізації ефективності процесу та зниження енергоспоживання.

**Автоматизація та моніторинг.** Дослідження спрямовані на розробку систем автоматизації та моніторингу ультрафільтраційних установок. Впровадження сучасних технологій контролю дозволяє оптимізувати роботу систем та забезпечити їх стійкість до змін у вихідних умовах.

**Екологічна безпека.** Особлива увага приділяється аспектам екологічної безпеки ультрафільтрації. Дослідження спрямовані на зменшення впливу процесу на довкілля та розробку методів переробки відходів.

**Використання відновлюваних джерел енергії.** Розвиток технологій ультрафільтрації, які використовують відновлювані джерела енергії, є перспективним напрямком досліджень для зменшення відображення на екології та зниження залежності від традиційних енергетичних ресурсів.

Загалом сучасні дослідження ультрафільтрації стічних вод олійно-жирових підприємств спрямовані на створення ефективних, стійких та екологічно безпечних технологій для збереження водних ресурсів та забезпечення сталого розвитку [16].

Ультрафільтрація є методом очищення води за допомогою мембран, що мають невеликі пори розміром 0,02 - 0,03 мкм і можуть ефективно утримувати багато забруднень при низькому тиску. Ці забруднення включають:

Мікроорганізми, такі як бактерії (*E-coli*, *Salmonella*, *Campylobacter Coli* тощо), найпростіші організми (*Giardia intestinalis*, *Cryptosporidium*), яйця глистів і грибки.

Природні органічні сполуки, які викликають забарвлення води, такі як гумінові та фульво-кислоти.

Колоїдні частки, наприклад глини, окисленого заліза, водоростей.

Структурно такі установки мають спеціальні елементи, які складаються з групи порожнистих волокон, виготовлених із гідрофільного матеріалу PVDF з порами розміром 0,03 мкм. Волокна мають зовнішній діаметр 1,3 мм і внутрішній 0,7 мм, та закріплені в двох основах корпусу мембранного елемента. Готові мембранні елементи, необхідні для бажаної продуктивності установки, розміщуються на каркасі та підключаються до системи розподілу рідинних потоків.

## УФ-модуль в робочому режимі

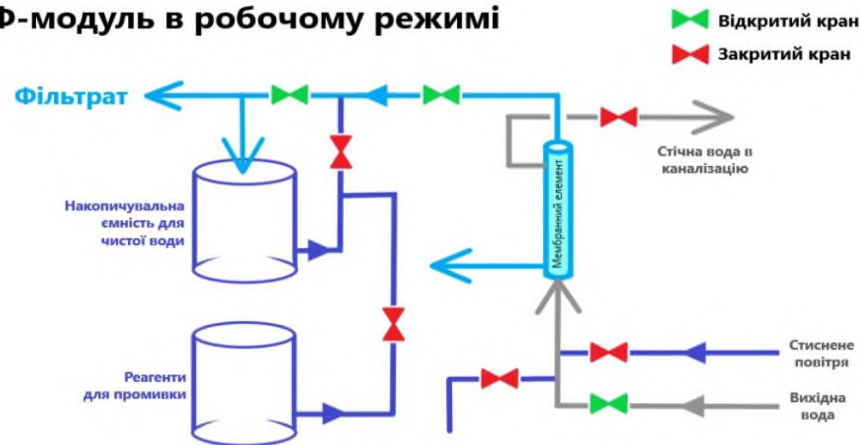


Рис. 1.12 Модуль в робочому режимі.

### Робочий режим.

Під час фільтрації, вода під тиском 2-3 бар проходить через нижній розподільний пристрій у зовнішню частину корпусу, де проникає через капіляр. Тут забруднення утримуються на зовнішній поверхні, тоді як очищена вода направляєється на наступні стадії очищення або в процес виробництва.

### Поточна промивка.

Потім виконуються операції, коли продуктивність мембранного елемента знижується.

1. Здійснюється зворотна промивка, використовуючи попередньо очищену воду під тиском 1,5 бар. Цей процес триває кілька хвилин і полягає у пропусканні води через внутрішню частину волокон, щоб змити зовнішню поверхню від забруднень.
2. Проводиться продування стисненим повітрям для розгортання забруднень, що залишилися на поверхні мембрани.
3. Швидка пряма промивка чистою водою.
4. Виконується поточна хімічна зворотна промивка за допомогою реагентів (СЕВ). Це необхідно для видалення важкозмиивних домішок з поверхні порожнистих волокон, таких як органічні речовини, силікати.

Цей цикл в середньому триває приблизно 40 - 60 хвилин. Сучасні установки мають повний автоматичний контроль, тому оператор не обов'язково повинен постійно перебувати біля обладнання.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Методика визначення сухого залишку стічних вод

Методика визначення сухого залишку стічних вод є важливим етапом в аналізі якості води. Нижче наведена загальна методика для визначення сухого залишку. Обладнання та реактиви цієї методики:

- **Ваги аналітичні:** для вимірювання маси проб.
- **Петрівські чаші або чаші для висушування:** для висушування проб.
- **Підставки для петрівських чаш або чаш для висушування:** для підтримки чаш під час висушування.
- **Сушарка або духовка:** для висушування проб при певній температурі.
- **Термометр:** для вимірювання температури під час висушування.

Процедура визначення у методиці визначення сухого залишку стічних вод:

#### **Підготовка проби:**

- Зібрати стічні води за допомогою відповідних зразників.
- Заміряти об'єм зібраної проби.

#### **Вимірювання сухого залишку:**

- Перевести певний об'єм стічної води (наприклад, 100 мл) в петрівську чашу або чашу для висушування.
- Виміряти масу чаші з пробною на аналітичних вагах та зафіксувати значення.
- Розподілити пробу у тонкий шар в чаші.
- Помістити чашу з пробною в сушарку або духовку, підтримуючи певну температуру (зазвичай близько 105–110 °С) протягом певного часу (зазвичай 1-2 години).

- Виміряти масу чаші з висушеною пробою після висушування та зафіксувати значення.

**Обчислення сухого залишку:**

- Використовуючи отримані маси, обчислити масову частку сухого залишку за формулою:  $\text{Сухий\_залишок(\%)} = \frac{\text{маса висушеної проби} - \text{маса чистої чаші}}{\text{маса початкової проби}} \times 100$  [17].

**Повторення:**

- Повторити експеримент для кількох проб, щоб забезпечити точність та достовірність результатів.

Ця методика надає спосіб визначення сухого залишку стічних вод та важливий для контролю якості води та ефективного управління стічними водами.

## 2.2. Методика визначення завислих речовин

Завислі речовини в стічних водах представляють собою тверді частки або суспензії, які знаходяться в рідині і не розчинені в ній. Ці частки можуть бути різного походження, такого як тверді частки відходів, пил, осад, тверді фракції водоростей тощо. Завислі речовини можуть включати в себе:

**1. Органічні та неорганічні тверді частки:** Різні органічні та неорганічні матеріали, які можуть виходити з різних джерел, таких як промислові викиди, ґрунтові втрати, осадки водоєм тощо.

**2. Тверді фракції водоростей:** Водорості та інші мікроорганізми можуть бути присутні у воді у вигляді твердих часток.

**3. Мінеральні відкладення:** Мінерали та солі, які можуть відкладатися в стічних водах та утворювати тверді частки.

Завислі речовини можуть мати важливий вплив на якість води та екосистеми водоєм, тому їх контроль та ефективне управління є важливими завданнями для забезпечення екологічно чистого стічного стоку. Методи очищення стічних вод часто включають в себе видалення цих завислих речовин, щоб запобігти забрудненню водоєм і зберегти якість води [18].

А ось визначення завислих речовин у стічних водах зазвичай виконується за допомогою спеціальних лабораторних методів. Основні етапи методики визначення завислих речовин включають збір проби, підготовку проби до аналізу та сам аналіз. Основний метод визначення – це вимірювання концентрації твердих часток у воді.

Загальний опис методики визначення завислих речовин:

**1. Збір проби:**

- Здійснюється збір представних проб стічних вод з точок випуску чи взятку на різних етапах очищення (якщо такі етапи присутні).
- Проби повинні бути зібрані у чисті контейнери для уникнення забруднення зовнішніми частинками.

**2. Підготовка проби:**

- Проба фільтрується або центрифугується для видалення рідини та отримання твердої частки.
- Вимірюється маса або об'єм твердих часток у пробі.

**3. Визначення концентрації:**

- Вимірюється концентрація завислих речовин у воді, використовуючи методи аналізу та вимірювання, такі як гравіметричний аналіз, седиментація або використання приладів, які визначають тверді частки.
- Результати виражаються в одиницях концентрації, таких як мг/л (міліграм на літр) або інші відповідні одиниці.

Важливо відзначити, що конкретні методи можуть варіюватися залежно від лабораторії та технічних можливостей. Точна методика повинна визначатися відповідно до вимог стандартів або рекомендацій, таких як ті, що видає Всесвітній організацією з охорони здоров'я (World Health Organization, WHO) або іншими відповідними установами [19].

### **2.3. Методика роботи з рефрактометром**

Рефрактометр – це прилад, який використовується для вимірювання

індексу заломлення рідини, що вказує на те, наскільки сильно світло заломлюється при проходженні через речовину [19]. Цей показник може залежати від концентрації розчинених речовин у рідині.

Основний принцип роботи рефрактометра полягає в тому, що він вимірює кут заломлення світла, яке проходить через рідину.

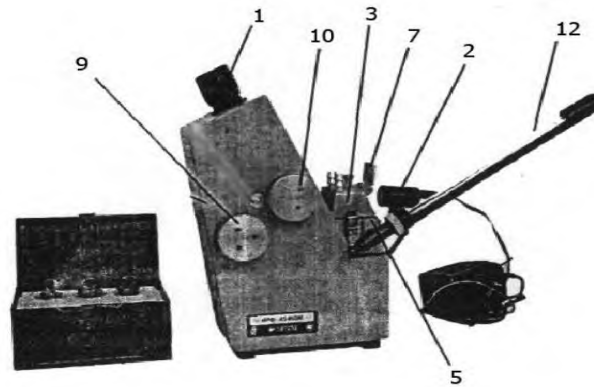


Рисунок 2.1 Зовнішній вигляд рефрактометра

1 – окуляр, 2 – освітлювач, 3 – освітлювальна призма, 4 – дзеркало, 5 – вимірювальна призма, 6 – застібка, 7 – заслінка, 8 – дзеркало, 9 – маховик, 10 – маховик компенсатора дисперсії, 11 – рефрактометричний блок, 12 – термометр

Вимірювання концентрації розчинених речовин за допомогою рефрактометра - це досить простий процес. Ось загальна методика роботи з рефрактометром:

**1. Підготовка робочого простору:**

- Переконайтеся, що робоча область чиста та суха.
- Забезпечте належне освітлення.

**2. Підготовка рефрактометра:**

- Знайомтеся з інструкцією з експлуатації вашого конкретного типу рефрактометра.
- Перевірте, чи прилад належним чином налаштований та калібрований.

### 3. Підготовка рідини для вимірювання:

- Забезпечте, щоб рідина була чистою і прозорою.
- Заберіть невелику кількість рідини для вимірювання.

### 4. Вимірювання:

• Нанесіть кілька крапель рідини на прилад (зазвичай на склянку або прозору площину на рефрактометрі).

- Закрийте кришку приладу, щоб рідина стало тонким шаром.
- Дивіться через окуляр або використовуйте вбудований екран для читання значень індексу заломлення.

### 5. Читання результатів:

• Зверніть увагу на межі розділів на шкалі та трактування результатів відповідно до шкали вашого рефрактометра.

- Запишіть або зафіксуйте значення індексу заломлення.

### 6. Корекція температури:

• Зверніть увагу на температуру рідини та коригуйте значення індексу заломлення за необхідності, використовуючи вбудований температурний компенсатор чи використовуючи корекційні таблиці.

Загалом кожен тип рефрактометра може мати власні особливості та рекомендації використання, тому важливо керуватися інструкцією виробника.

## 2.4. Методика визначення БПК

БПК - це аббревіатура, яка означає "біохімічне питоме споживання кисню" (англ. Biochemical Oxygen Demand, BOD). БПК є важливим показником якості води і вказує на кількість органічних речовин, які можуть бути окислені бактеріями у воді [20].

Визначення біохімічного питомого споживання кисню (БПК) - це важливий аналітичний процес для оцінки забруднення води органічними речовинами. Ось загальна методика визначення БПК:

### 1. Підготовка зразків:

- Зібрати зразки води з джерела, яке аналізується.
  - Підтримувати чистоту та стерильність при зборі та обробці зразків.
2. **Вимірювання початкового рівня кисню (DO):**
    - Виміряти рівень розчиненого кисню в зразку води в момент її збору (початковий DO).
  3. **Підготовка контрольної зразка:**
    - Приготувати контрольний зразок, який забезпечить визначення максимального потенційного кисневого питому споживання.
  4. **Інкубація:**
    - Розмістити зразок і контроль в темному місці при температурі близько 20 °С протягом певного періоду (зазвичай 5 днів).
  5. **Вимірювання кінцевого рівня кисню (DO):**
    - Після інкубації виміряти кінцевий рівень кисню в зразку води (кінцевий DO).
  6. **Розрахунок БПК:**
    - Розрахунок БПК виконується за формулою:  

$$BOD = ((DO_{\text{початковий}} - DO_{\text{кінцевий}}) \cdot a) / \text{об'єм зразка} \times K$$
  7. **Виразити результати:**
    - Виразити результати в масових одиницях (зазвичай мг кисню на літр води).

Важливо відзначити, що існують різні модифікації методів визначення БПК, і вони можуть відрізнятися за рядом параметрів, таких як тривалість інкубації, температура і наявність аеробного чи анаеробного середовища. Методологія повинна відповідати вимогам стандартів та нормативних документів для конкретного регіону чи лабораторії.

## 2.5. Методика визначення ХПК

ХПК (хімічне питома споживання кисню) є іншим показником якості води і визначає кількість кисню, який витрачається на окиснення хімічних

сполук водою.

Визначення ХПК (хімічне питоме споживання кисню) - це процедура, яка визначає кількість кисню, яку витрачає вода на окислення органічних і неорганічних сполук під час хімічної реакції. Цей параметр є важливим показником ступеня забруднення води органічними речовинами. Нижче наведено загальну методику визначення ХПК:

**1. Підготовка розчинів:**

- Підготуйте робочі розчини реагентів, необхідних для проведення аналізу ХПК.
- Дотримуйтеся стандартів та протоколів безпеки при обробці хімічних речовин.

**2. Взяття зразків води:**

- Візьміть зразки води для подальшого аналізу.

**3. Підготовка реакційних сумішей:**

- Підготуйте реакційні суміші, додавши відому кількість реагентів до водних зразків.

**4. Інкубація:**

- Залиште зразки на інкубацію при певній температурі протягом визначеного часу. Час і температура інкубації можуть варіюватися залежно від методики.

**5. Вимірювання кисневого витрату:**

- Виміряйте кількість кисню, який витрачається під час окиснення реагентів у воді. Це може вимірюватися за допомогою кисневого електроду чи інших методів.

**6. Розрахунок ХПК:**

- Розрахуйте ХПК, використовуючи дані про витрату кисню та інші параметри методики.

**7. Подання результатів:**

- Виразіть результати в масових одиницях, зазвичай у міліграмах кисню на літр води.

Точність визначення ХПК залежить від дотримання протоколів та методів, а також від якості води та реагентів, що використовуються у процедурі.

## РОЗДІЛ 3.

# ОБГРУНТУВАННЯ ТА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ОЛІЙНО-ЖИРОВИХ ВИРОБНИЦТВ

### 3.1 Об'єкт досліджень

Вивчено процес ультрафільтрації стічних вод у контексті рафінації жирів. Досліджена ефективність використання керамічних мембран BTS uF з розміром пор 100 нм. Встановлено основні закономірності ультрафільтрації та хімічний склад фільтрату, що змінюється залежно від ступеня концентрування. Зроблено висновок про перерозподіл жирних речовин під час обробки. Показано, що діапазон пор розміром 100 нм не є достатнім для досягнення нормативної жирності у стічних водах [21]. Використання комбінації традиційних методів очищення жиру вмістних стічних вод із мембранною обробкою дозволить економити енергію та реагенти, значно спростить технологічний процес і дозволить досягти відповідних екологічних показників у виробництві олій та жирів.

Вирішальне значення має видалення стічних вод олійно-жирової промисловості у природне середовище. Основна частина таких стічних вод походить від технологічних процесів, пов'язаних з рафінацією олій та жирів [14]. У більшості випадків підприємства цієї галузі не обладнані очисними спорудами, які здатні забезпечити повне очищення стічних вод та досягнення відповідних стандартів якості. Місцеві системи очистки не забезпечують досягнення вимог щодо якості стічної води відповідно до нормативів. У цьому випадку додаткове очищення проводять муніципальні очисні споруди, і цей процес відрізняється великим споживанням реагентів та інших чинників, що ускладнюють весь технологічний процес обробки стічних вод із вмістом жирів. Мембранні технології очищення стічних вод із високим вмістом жирів успішно застосовуються протягом десятиліть у країнах Європи та приносять очікуваний ефект. У сучасний час, активно

експлуатуються мембранні установки, оснащені органічними полімерними мембранами. Протягом останніх років, зростає зацікавленість у неорганічних мембранах, які мають значні переваги порівняно з попередніми. Більшість досліджень у цій області належить науковим школам докторів наук Мачігіна В.С. та Ляліна В.А., які протягом понад 30 років активно займаються екологічними аспектами виробництва олій та жирів.

Роботи цих вчених підтверджують високу ефективність використання мембран для обробки стічних вод із вмістом жирів. Вони досліджують хімічний склад потоків і технічні параметри процесів. Одночасно вони звертають увагу на обмеженості експлуатаційних характеристик органічних мембран і висловлюють потребу в подальших дослідженнях мембран нового покоління, зокрема, виготовлених із кераміки. Вони відрізняються високою стійкістю, довговічністю, значним терміном служби та іншими перевагами [14]. У розділі "Матеріали і методи" метою дослідження було проведення тестування керамічних мембран від компанії BTS engineering, які все більше набирають популярності на українському ринку мембран та мембранного обладнання. Представництво цієї фірми знаходиться у місті Рівне. Мембрани BTS виготовлені з керамічних сполук оксидів алюмінію, титану та цирконію.

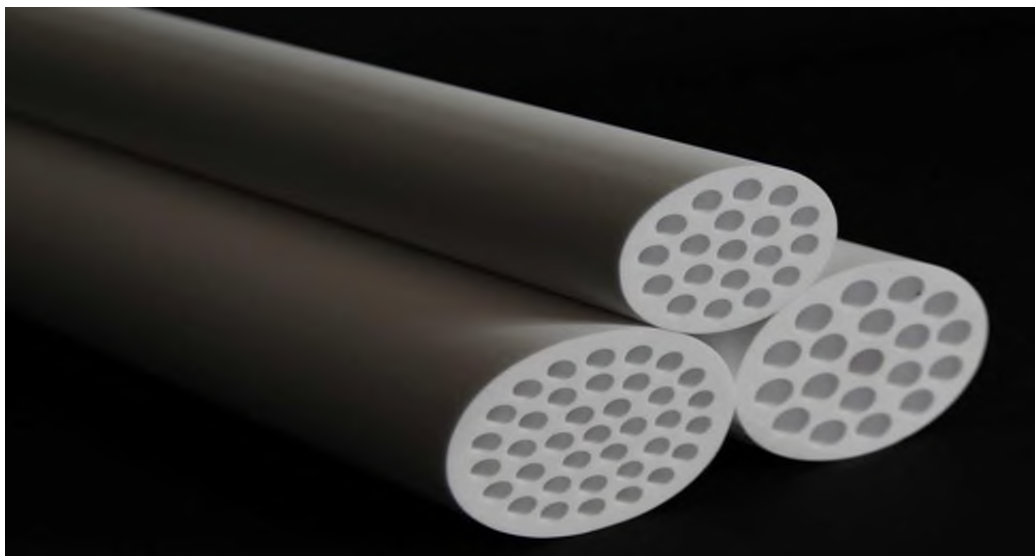


Рис. 3.1 Ультрафільтраційна керамічна мембрана

Ці мембрани представлені у формі циліндра з зовнішнім діаметром 25 мм і довжиною 1178 мм. Усередині цього циліндра розташовані 7 коаксіальних каналів діаметром 6 мм в циліндричній основі. Загальна площа поверхні мембрани становить 0,155 м<sup>2</sup>. Геометричні параметри та конфігурація фільтра ідеально підходять для його встановлення в склоорганічну оболонку фільтра AP-1.0 після видалення порожнинних волокон. У процесі тестування використовувалися два типи мембран BTS uF 7025 із розмірами отворів 100 нм та 200 нм. Об'єктом досліджень була стічна вода Одеського олійно-жирового комбінату, яка утворюється під час очищення олії у процесі лужної рафінації. На підприємстві промивні води проходять обробку у жироловушках і мають такі параметри: вміст жирів 6800-7200 мг/л, рН 9,8-10 та температуру 35...40 °С.

Лабораторна система, яка використовувала фільтри BTS uF, функціонувала в режимі, де 10 літрів стічних вод з температурою 40 °С поміщалися у резервуар, обладнаний теплообмінником. Циркуляційний насос направляв рідину у модуль, а потоки фільтрату та концентрату поверталися у вихідний резервуар. Цей підхід забезпечував постійний вміст жирів у стічній воді та досягнення стабільної робочої ситуації системи.

Регулярно забирали фільтрат, використовуючи вимірювальний циліндр, і за допомогою секундоміра визначали продуктивність процесу та проникність мембран за різних значень тиску.

Встановлений оптимальний тиск процесу застосовували в подальших експериментах для визначення хімічного складу фільтратів і концентратів. Фактор концентрування визначали як відношення об'єму концентрату до початкового об'єму стічної води. Оцінку селективності мембран проводили, враховуючи вміст жирів у концентратах та фільтратах, а також матеріальний баланс жирів. Аналіз стічної води проводили відповідно до методик [15].

### **3.2 Застосування мембран ультрадіапазону**

У всіх експериментах швидкість потоку рідини максимальна для

лабораторної установки і становила 8 метрів на секунду. Дані з досліджень представлені у вигляді таблиць 3.1, 3.2 3.3. Таблиця 3.1

Тип мембран	Проникність, л/ м 2*год		
	2 атм	4 атм	6 атм
BTS uF (100 нм)			
BTS uF (200 нм)	35	90	88
	48	190	183

Таблиця 3.1. Результати досліджень

Проникність мембран BTS uF при різних тисках (40 °С)

Експериментальні дані у таблиці 3.1 показують, що обидві типорозміри отворів мембран проявляють подібну тенденцію: зі збільшенням робочого тиску проникність спочатку зростає, а потім зменшується. Застосування тиску понад 4 атмосфер надмірне, оскільки призводить до значного зниження продуктивності мембран для очищення фільтрату. Максимальна продуктивність при тиску 4 атмосфер для мембрани BTS uF (200 нм) була більш ніж вдвічі вищою, ніж у випадку мембрани BTS uF (100 нм) і складала 190 л/м<sup>2</sup>×год. Однак жирність обробленої стічної води (фільтрату) для мембрани BTS uF (200 нм) значно гірша, ніж для мембрани BTS uF (100 нм). Наприклад, вміст жирних речовин у фільтраті мембрани BTS uF (200 нм) був в 14 разів більшим, ніж у мембрани BTS uF (100 нм) (табл. 3.2).

Показник	Розмір пор, нм	
	100	200
Загальна жирність, мг/л		
у т.ч. нейтральний жир	120	1700
мило	78	1120
	42	580

Табл. 3.2. Вміст жиру у очищеній стічній воді

Фракційний склад жирів у фільтраті показує майже однакове співвідношення концентрацій нейтральних жирів і мила для обох типів мембран, що становить 2:1. При визначенні оптимального тиску процесу фільтрування та розмірів пор мембран, використовуваних для дослідження залежності хімічного складу фільтрату і концентрату від фактору

концентрування стічної води, були виявлені певні властивості. Дані у таблиці 3 показують, що селективність мембрани BTS uF (100 нм) залишалася на рівні близько 97% за жировими сполуками протягом обробки. Проте у фільтраті відбувається зміна співвідношення жирових сполук у порівнянні зі станом до початку обробки. Концентрація мила збільшується з часом, в той час як концентрація нейтральних жирів зменшується. Наприклад, при факторі концентрування  $\Phi K=2$  співвідношення між нейтральним жиром і милом становить 2:1, а при  $\Phi K=6$  це співвідношення змінюється.

Показник	$\Phi K=1$		$\Phi K=2$		$\Phi K=4$		$\Phi K=6$	
	К	Ф	К	Ф	К	Ф	К	ф
Загальний жир, мг/л	6800	120	13 190	408	26 380	273	39 570	245
у т.ч. нейтралізаційний жир	5370	78	10 420	265	19 520	119	25 908	82
мило	1430	42	2770	143	6860	154	12 662	163

Таблиця 3.3 Концентрація жирових речовин у стічній воді при різних факторах концентрування ( $\Phi K$ )

Примітка: Ф – фільтрат; К – концентрат.

Зазначений феномен, ймовірно, пояснюється присутністю вільного луку. Суворі умови обробки у замкнутому контурі установки сприяють розщепленню тригліцеридів на мило та гліцерин. Це призводить до зростання концентрації мила та зменшення вмісту нейтральних жирів. Максимальний фактор концентрування, який був досягнутий у досліджах, становив  $\Phi K=6$ . В цьому випадку спостерігається різке зниження продуктивності до 25 л/м<sup>2</sup>×год. Під час мембранної обробки стічної води на мембрані BTS uF (100 нм) у очищеному фільтраті концентрація жирів значно перевищувала вимоги нормативних документів (50 мг/л).

## Висновки:

Мембрани BTS uF (100 нм) ефективніші у обробці стічних вод, ніж мембрани BTS uF (200 нм).

Концентрація жирних сполук у фільтраті значно залежить від концентрації жирів у концентраті. При максимальній концентрації 39 570 мг/л (фактор концентрування 6) вміст жирів у фільтраті перевищує вихідний показник у більш ніж 2 рази.

Використання мембран ультрафільтрації з розмірами пор 100 нм і 200 нм для обробки стічних вод із високим вмістом жирів не дозволяє досягти нормативних показників жирності. Фактичний вміст жирів у фільтраті майже в 5 разів перевищує норму.

Для повного очищення жировмісних стічних вод ультрафільтрація недостатня. Рекомендується використовувати мембрани з більшими розмірами пор, наприклад, 20...50 нм, що відповідає ранзі нанофільтрації, для досягнення більшого ефекту.

Застосування комбінації традиційних методів очищення стічних жировмісних вод разом із мембранною обробкою сприятиме економії енергії та реагентів на обробку, а також спростить технологічний процес для досягнення екологічно прийнятних показників у виробництві олій та жирів.

## Перспективи подальших досліджень:

У майбутньому планується проведення подальших досліджень з використанням нанофільтраційних мембран, які виготовлені з хімічно та біологічно стійких матеріалів. Це дозволить підвищити ефективність очищення стічних жировмісних вод за допомогою мембранної обробки.

### **3.3. Визначення продуктивності мембран**

Продуктивність мембран – це показник ефективності мембранного процесу, який визначає, як швидко і наскільки ефективно мембрана може розділювати різні речовини, такі як речовини різної розмірності,

забруднення чи іони, інші речовини, що проникають через неї. Продуктивність мембрани зазвичай вимірюється у вигляді обсягу (або маси) розділеної речовини, який може бути переведений через мембрану протягом одиниці часу.

Продуктивність мембрани залежить від декількох факторів, включаючи її матеріал, товщину, порозню структуру, тиск, температуру та інші умови експлуатації. Вища продуктивність мембрани означає, що вона здатна обробляти більше речовини на одиницю часу, що робить її більш ефективною для різноманітних застосувань, таких як фільтрація, осмос, дистиляція, водопідготовка та інші процеси, де розділення рідин або газів є необхідним.

Оцінка продуктивності мембран зазвичай включає в себе визначення коефіцієнта проникності, видалення необхідних компонентів та визначення інших параметрів, що відображають її ефективність в конкретному застосуванні.

Наприклад, у разі використання плоскорамних конструкцій мембранних апаратів, таких як тип «фільтрпрес», необхідно провести секціювання елементів в апараті згідно з наведеною вище схемою. Проте, в цьому випадку ускладнюється вибір припустимого значення витрати. Для оптимального вибору величини  $q$  визначається ряд значень (наприклад, 1,6; 1,4; 1,2; 1,1). Проводиться секціювання для кожного значення  $q$  без вилучення чи додавання апаратів. Після цього розраховуються витрати в першій та останній секціях та їх співвідношення:

$$L_1 = \frac{L_f(1+1/q)}{2(n_1+1)}, \quad (1.51)$$

$$L_m = \frac{L_f(1+1/q)}{2(n_m+1)q^{m-1}}, \quad (1.52)$$

$$\frac{L_1}{L_m} = \frac{n_1+q^{m-1}}{n_1+1}. \quad (1.53)$$

Потім будується графік залежності  $q=f(L_1/L_m)$ . Типовий вигляд такого графіка наведений на рисунку 3.2.

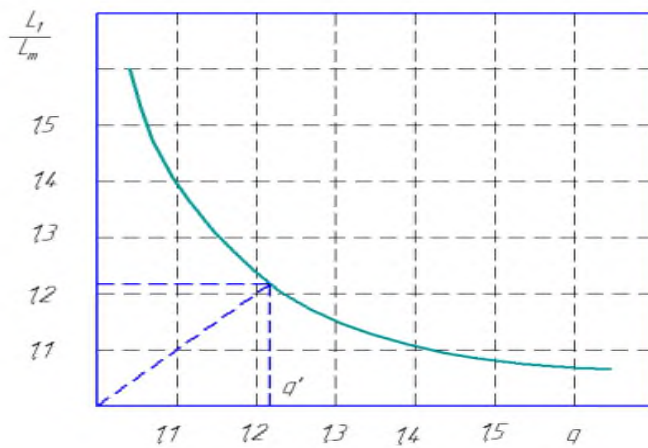


Рисунок 3.2 Графік залежності  $q=f(L_1/L_m)$

Важливо відзначити, що для побудови графіка залежності важливо мати однаковий масштаб шкали на обох вісях. Після побудови графіка залежності на перетині з початку координат проводиться пряма під кутом  $45^\circ$  або просто пряма, і на цій прямій знаходиться значення 'q'. Це значення 'q' вказує на те, коли зниження витрат від першої до останньої секції дорівнює зниженню витрат по довжині кожної секції. І, виходячи з приблизно рівних витрат у кожному каналі кожної секції, це значення 'q' можна вважати робочим [21].

Проте варто врахувати, що зі збільшенням концентрації розчину збільшується ймовірність забруднення мембрани. Крім того, зменшення значення 'q' призводить до збільшення кількості секцій, що може ускладнити конструкцію апарата. Тому робоче значення рекомендується приймати на 10-20% більше, ніж діагональне значення.

Також визначення продуктивності мембран можна виконати за допомогою специфічних експериментів і обчислень. Загальний опис процедури для визначення продуктивності мембранних установок:

**1. Підготовка мембранної установки:**

- Забезпечте належне функціонування всіх компонентів мембранної системи.
- Впевніться, що мембрани в чистому стані і не мають видимих

дефектів.

**2. *Проведення експерименту:***

- Підключіть мембранну установку до джерела розчину чи робочої середовища.

- Запустіть систему і дайте їй працювати в стабільному режимі.

**3. *Вимірювання параметрів:***

- Заміряйте витрату розчину або робочого середовища, яке проходить через мембрани.

- Визначте концентрацію вихідного і вихідного розчинів (якщо застосовується).

**4. *Обчислення продуктивності:***

- Використовуйте виміряні значення для обчислення продуктивності мембрани за допомогою відповідної формули чи рівняння.

**5. *Аналіз результатів:***

- Оцініть отримані результати і зробіть висновки щодо ефективності мембранної установки.

- Порівняйте виміряні значення з попередніми даними, якщо такі є, або з нормативами.

Варто зазначити, що конкретні параметри і формули можуть залежати від типу мембрани, характеристик робочого середовища і завдань конкретної мембранної установки.

### **3.4. Забруднення мембран**

Протягом останнього десятиліття, проведено комплексні огляди досягнень щодо забруднення мембран, виконані такими вченими, як Чанг та ін., Ле-Клех та ін., Meng et al., Drews та Wang et al. [24]. Ці огляди ретельно розглядали різні аспекти забруднення, такі як матеріали мембран, характеристики кормової біомаси та умови експлуатації. На основі цих публікацій узагальнюються основні види забруднення мембран в мембранному модулі. Мембранний потік у модулі може бути підданий

впливу концентраційної поляризації, зовнішнього забруднення та внутрішнього забруднення в залежності від його розташування відносно мембранної структури.

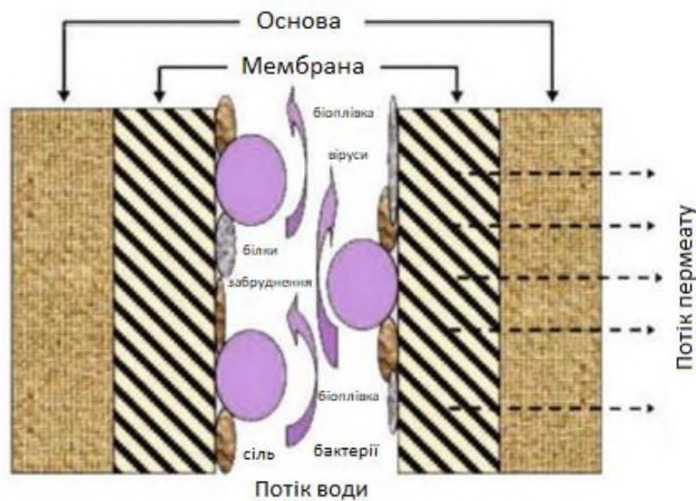


Рисунок 3.3. Мікробіологічна схема забруднення поверхні мембрани зворотного осмосу.

Концентраційна поляризація (КП) описує накопичення розчинених речовин або частинок в тонкому шарі рідини, що прилягає до поверхні мембрани [34]. Це необхідне явище в процесі мембранної фільтрації. КП може спричинити збільшення опору руху рідини і, відповідно, зменшити пермеатний потік. КП визначається конвективним потоком, що проникає через фільтр, та зсувом, який відбувається в прикордонному шарі під час концентраційної поляризації. Збільшення швидкості поперечного потоку може сприяти полегшенню концентраційної поляризації.

Зовнішні забруднення виникають через осадження частинок, колоїдів та макромолекул на поверхнях мембрани, формуючи так званий "забруднюючий шар". Зазвичай ці забруднення можна розділити на два типи: шар кеку, що складається з накопичення твердих речовин на мембрані, та шар гелю, утворений осадженням розчинних макромолекул, колоїдів та неорганічних розчинених речовин.

Внутрішні обростання виникають внаслідок адсорбції та осадження

розчинених речовин та мікрочастинок у внутрішній структурі мембран. Це може включати адсорбцію забруднень на пористих стінах та забруднення пор або їх блокування.

Мембранні забруднення можна класифікувати на біозабруднення, органічні та неорганічні відповідно до їхнього хімічного та біологічного складу. Ця класифікація визначає стратегії очищення мембран, оскільки біозабруднення стосується мікробного забруднення поверхонь, органічні забруднення відносяться до органічних сполук, тоді як неорганічне забруднення має хімічне походження.

Біозабруднення (біотверді речовини) формується через заселення та розмноження мікроорганізмів на поверхнях мембрани. Це прикріплення мікроорганізмів на поверхні мембрани часто називають «біоплівкою» або «біокейк». У деяких випадках, біозабруднення включає не лише ріст мікробних клітин, але й адсорбцію вироблених ними органічних речовин. Забруднення, що походять від органічних речовин, утворених мікроорганізмами, відносяться до категорії органічних забруднень. Це можуть бути різноманітні органічні продукти, такі як розчинні мікробні продукти (РМП) або позаклітинні полімерні речовини (ППР). У разі, якщо мембранні модулі працюють у режимі із надмірним потоком, може виникнути значне біообростання, при якому утворюється шар осаду на поверхнях мембран. Домінуючими складовими для такого біообростання (або формування мулового шару) є біотверді речовини, але вони також можуть включати певні органічні компоненти.

Органічні забруднення виникають внаслідок накопичення білків, полісахаридів, гумінових кислот та інших органічних сполук (як розчинних, так і колоїдних), що походять або з води, або з мікробних виділень. У модулях мембранної біореакторної системи (МБР) може утворюватися гелевий шар внаслідок надмірного органічного забруднення при

застосуванні підкритичного потоку. Розчинні мікробні продукти (РМП) та позаклітинні полімерні речовини (ППР) розглядаються як ключові органічні забруднення для мембранних модулів. У багатьох випадках катіони металів взаємодіють з певними функціональними групами органічних сполук (біополімерів), утворюючи хелатні полімери (органічно-неорганічні комплекси). Наприклад, альгінат у присутності кальцію може значно забруднити мембрани.

Неорганічні забруднення в мембранних модулях виникають внаслідок хімічного осадження неорганічних кристалів або біологічного осадження складних неорганічно-органічних з'єднань. Іони металів, такі як  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  і  $\text{Al}^{3+}$ , разом із аніонами  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  та  $\text{OH}^-$ , можуть спричинити хімічне осадження, особливо якщо їх концентрація на поверхнях мембрани перевищує насиченість або на певних специфічних областях. Крім цього, неорганічні частинки в системах можуть прилипати до поверхонь мембран або блокувати пори, спричиняючи формування неорганічних забруднень. Ці забруднення можуть бути оборотні, необоротні, залишкові або непоправні.

Чотири види забруднення визначаються залежно від стійкості забруднюючих матеріалів на мембрані або способу відновлення початкової проникності мембрани. Оборотні забруднення виникають в результаті легкого прикріплення забруднень до поверхні мембран, які можна видалити фізичними методами очищення, наприклад, за допомогою сильного руху чи зворотного промивання. Їх також називають "знімними" або "тимчасовими" забрудненнями. Зазвичай, в основу оборотних забруднень покладено осадження твердих біологічних матеріалів (формування шару кеку). З тривалим використанням перевагу зворотніх забруднень може викликати погана фільтруваність осаду та/або низька ефективність фізичного очищення. У таких випадках рекомендується використовувати підсилені методи фізичного очищення для видалення довготривалих оборотних забруднень.

Необоротні забруднення складаються з твердого шару, що утворюється з розчинених речовин під час постійної фільтрації, що перетворює оборотні забруднення в стійкий шар забруднення. Наприклад, утворення гелевого шару при тривалому використанні підкритичного потоку є одним з таких випадків. Також, звуження пор або блокування їх розглядається як інший вид необоротного забруднення, яке є менш оборотним. У класичному визначенні, необоротні забруднення неможливо видалити за допомогою методів фізичного очищення, і це відомо як фізично необоротні забруднення. Як було зазначено раніше, одним з методів для їх усунення може бути біологічне очищення. Тому, необоротні забруднення можна також поділити на категорії: фізично необоротні, а також біологічно необоротні забруднення (рисунок 3.3. Залишкові забруднення. Концепція залишкового забруднення запропонована Крауме, Джадда та ін.

Залишкові забруднення не можна ефективно видалити за допомогою сильних зворотних методів промивання або застосування технічних засобів очищення. Однак їх можна зменшити або видалити шляхом використання методів відновлення очищення. Непоправні обростання виникають, коли мембрана стає забрудненою під час тривалого використання, і первісна проникність мембрани залишається невідновленою. Цей опір, який є результатом "незворотнього забруднення", важко видалити звичайними хімічними методами очищення. Це також відоме як "постійне забруднення" або "довготривале незворотне забруднення", яке накопичується протягом багатьох років і може визначати термін служби мембрани.

Методи очищення мембран.

Регенерація мембран зазвичай розділяється на два типи: очищення "in situ", коли процес регенерації відбувається на місці в мембранному апараті, та очищення "ex situ", що означає видалення мембрани з апаратури для проведення регенерації. Цей процес також поділяють за механізмами видалення забруднень або за використовуваними засобами очищення на фізичне, хімічне та біологічне/біохімічне очищення.

В роботі авторів розглядаються методи регенерації мембрани в контексті мембранних біореакторів (МБР). Залежно від того, чи залишаються мембранні модулі в апараті під час очищення, різницю роблять між "in situ" (очищення на місці) та "ex situ" (видалення для очищення поза місцем). Як видно з рисунку 3.3, методи "in situ" включають періодичну фільтрацію, очищення ультразвуком, зворотну промивку, біологічне/біохімічне очищення та інші методи. "Ex situ" вимагає видалення мембранних модулів з апаратури і може включати фізичне та хімічне очищення.

Взагалі очищення "in situ" вважається більш ефективним для МБР у порівнянні з очищенням "ex situ". Останнє проводиться рідше і, як правило, робиться один раз на 1–3 роки, тоді як очищення "in situ" може проводитися щодня, кожні кілька тижнів або місяців в залежності від ступеня забруднення мембрани.

Загальні відомості про мембранне очищення рідин.

Основні методи мембранного розділення рідинних систем, такі як зворотний осмос, нанофільтрування, ультрафільтрування, мікрофільтрування, діаліз, первапорація, мембранна дистиляція та інші, спираються на проникність напівпроникних мембран.

У цих процесах розчин, що потребує розділення, зазвичай контактує з мембраною з одного боку. Через напівпроникність мембрани, розчин, що проходить через неї, збагачується однією з його складових, зазвичай, розчинником (наприклад, водою). Іноді цей процес так ефективний, що отриманий фільтрат майже не містить домішок. У той же час, застосовуючи мембранні процеси, можна отримати концентрат забруднень, які не проникають через мембрану.

Для мембранних процесів рушійною силою виступає різниця тиску з обох сторін мембрани. Наприклад, це може бути робочий тиск у баромембранних процесах, парціальний тиск розчинника в мембранній дистиляції або концентрація розчинених речовин у діалізі. Ці фізичні параметри визначають рух складників через мембрану.

Зокрема, зворотний осмос - це процес фільтрування розчинів під тиском через напівпроникні мембрани, які пропускають розчинник (воду), але відсікають частинки чи іони розчинених речовин. Основою цього процесу є явище осмосу - проникнення розчинника крізь мембрану в розчині. Існує гідростатичний тиск, що встановлює динамічну рівновагу потоку розчинника через мембрану, що відповідає осмотичному тиску розчину з певною концентрацією. Якщо застосувати тиск, що перевищує осмотичний тиск на бік розчину, то це сприятиме руху розчинника у зворотному напрямку. Це і є суть процесу, що називається зворотним осмосом (колишня назва - гіперфільтрація).

Ультрафільтрування - це процес баромембранного розділення розчинів і концентрування високомолекулярних сполук. Він відбувається за умови різниці тисків з обох боків мембрани, що зазвичай становить 0,05–0,5 МПа. В залежності від мети ультрафільтрування, мембрани можуть пропускати розчинник та переважно або повністю утримувати низькомолекулярні сполуки. Це може бути розділенням високо- і низькомолекулярних сполук або концентруванням високомолекулярних сполук. Ультрафільтрування застосовують у випадках, коли принаймні один з компонентів розчину має молекулярну масу понад 500 дальтон.

Рух сполук через мембрану у випадку ультрафільтрування, подібно зворотному осмосу, зумовлений різницею тисків з обох сторін мембрани. Однак у визначенні параметрів ультрафільтрування зазвичай не враховують

осмотичний тиск розчинів високомолекулярних сполук, оскільки він зазвичай низький порівняно з робочим тиском. Якщо мембрана ультрафільтрування не здатна утримувати низькомолекулярні сполуки, то осмотичний тиск цих розчинів також не враховується при визначенні рушійної сили процесу.

Ефективність ультрафільтрування визначається співвідношенням рівноважної і нерівноважної компонентів процесу. У випадку, коли рівноважна складова, виражена коефіцієнтом розподілу речовини між мембраною та розчином, має менший внесок, мембрана краще утримуватиме розчинені речовини. Ультрафільтрування використовують для розділення систем, де молекулярна маса розчинених компонентів значно перевищує молекулярну масу розчинника (зазвичай вода).

Нанофільтрування - це процес розділення речовин за допомогою баромембран, який відбувається за умов робочого тиску в діапазоні 1–2 МПа та молекулярних мас до 300–500 дальтон. Під час нанофільтрування частково затримуються низькомолекулярні електроліти (такі як хлорид натрію у 40-60% та солі з двозарядними III-йонами у 80-90%), тоді як органічні сполуки, такі як спирти, барвники, цукри, пестициди та інші, практично повністю (98-99.9%) утримуються. Традиційно вважалось, що нанофільтрувальні мембрани мають нанометрові пори (1-3 нм) в ультратонкому розсіювальному шарі, що визначило їх назву. Однак нові дослідження показують, що цей шар мембран може бути хімічно непроникним, але водночас високогідрофільним (часто з йоногенними групами).

Докладніші дослідження, що стосуються процесу перенесення маси через нанофільтрувальні мембрани, підтверджують, що цей процес є схожим на зворотний осмос та ультрафільтрування на тонкопористих заряджених мембранах. Основні характеристики такого процесу, як низький

робочий тиск та обмежений діапазон молекулярних мас речовин, що розділяються, пов'язані із структурою цих мембран - багат шаровою будовою, використанням ультратонких селективних шарів та відсутністю мікроефектів, а також наявністю високогідрофільних та йоногенних груп.

Упродовж останніх 5-10 років нанофільтрація та використання нанофільтрувальних мембран стали широко застосовуватися для обробки як природних, так і стічних вод. Цей метод замінив такі процеси, як коагуляція та фільтрування, що дозволило зменшити жорсткість води. Наприклад, при обробці солонуватих вод (де загальна кількість розчинених речовин досягає 300 мг/дм<sup>3</sup>), нанофільтрування знижує забарвленість води на 96%, загальний вміст органічного вуглецю - на 84%, та затримує сульфати на рівні 96%. У деяких країнах, таких як Франція та США, нанофільтрування застосовується для очищення питної води без потреби у традиційній хімічній або фізико-хімічній підготовці води, отриманої з відкритих водойм.

Мікрофільтрування, у свою чергу, є процесом баромембранного розділення, який використовується для видалення з розчину великих частинок розміром від 3,1 до 10 мікронів. Рушійною силою цього процесу є різниця тисків по обидва боки мембрани, яка зазвичай становить від 0,01 до 0,05 МПа. Мембрани для мікрофільтрування з розміром пор від 0,05 до 10 мікронів виготовляються у формі полімерних плівок, трубок або порожнистих волокон з розчинів гідрофобних і гідрофільних полімерів. Існують інші методи отримання полімерних мікрофільтрувальних мембран, такі як спікання порошків полімерів, використання волоконних дисперсій, чи витягування макромолітних плівок у певних середовищах.

Останнім часом стає все більш популярним використання керамічних мікрофільтрів у формі пластин (дисків) або трубок, які створюються за допомогою спікання дисперсних порошків оксидів, таких як алюміній, титан, цирконій та інші. Ці неорганічні мікрофільтри також виготовляють за допомогою методу золь-гель-технології. Цей процес включає гідроліз відповідних алкоксидів металів, після чого утворені золі наносять на

пористу керамічну основу й піддають термообробці при відносно невисоких температурах (400–800°C).

Діаліз - це процес, де рушійною силою виступає градієнт концентрацій розчинених речовин, присутніх на обох сторонах мембрани. Цей процес використовує непористі (дифузійні) мембрани для розділення речовин, які мають велику різницю у молекулярній масі (наприклад, очищення розчинів полімерів від низькомолекулярних електролітів та інших речовин).

Метод має недолік у низькій ефективності та у великих об'ємах розчинника, який потрібно періодично замінювати на одному з відділень мембрани. Діаліз вигідно використовувати в технологічних процесах після ультра- або мікрофільтрації для концентрування розчинів високомолекулярних сполук або колоїдів..

Первапорація - це процес використання непористих мембран для видалення невеликих домішок органічних речовин з води або видалення води з цих речовин. Для успішного проведення цього процесу, мембрани повинні мати властивість набрякати в речовинах, які містять домішки. У випадку видалення органічних речовин, використовують гідрофобні мембрани, які ефективно набрякають у відповідних органічних розчинниках. У випадку видалення води з речовин, використовують високогідрофільні мембрани, які набрякають у воді. Рушійною силою для проведення процесу є різниця у парціальних тисків пари або концентрацій розчинених речовин по обидва боки мембрани, що виникає за рахунок температурних або тискових градієнтів.

Первапорацію широко застосовують для очищення стічних вод від органічних розчинників та інших сполук, а також для видалення води зі спиртів, зокрема етилового спирту, який утворює азеотропні суміші з водою.

Мембранна дистиляція - це процес, в якому рушійною силою є різниця парціального тиску пари розчинника, наприклад води, по обидва боки

гідрофобної мікрофільтруючої мембрани. Ця різниця утворюється за рахунок відмінності у температурі між вихідним розчином та фільтратом. [31]. Зазвичай, розчин, який концентрується, має температуру 50–80°C, у той час як фільтрат має температуру 20–25°C. Це означає, що для мембранної дистиляції можна використовувати теплоту з невисоким енергетичним споживанням. Крім того, для цього процесу, який не є баромембранним, не потрібний додатковий робочий тиск, як у випадку мікро-, ультра- та нанофільтрування, або зворотного осмосу [31].

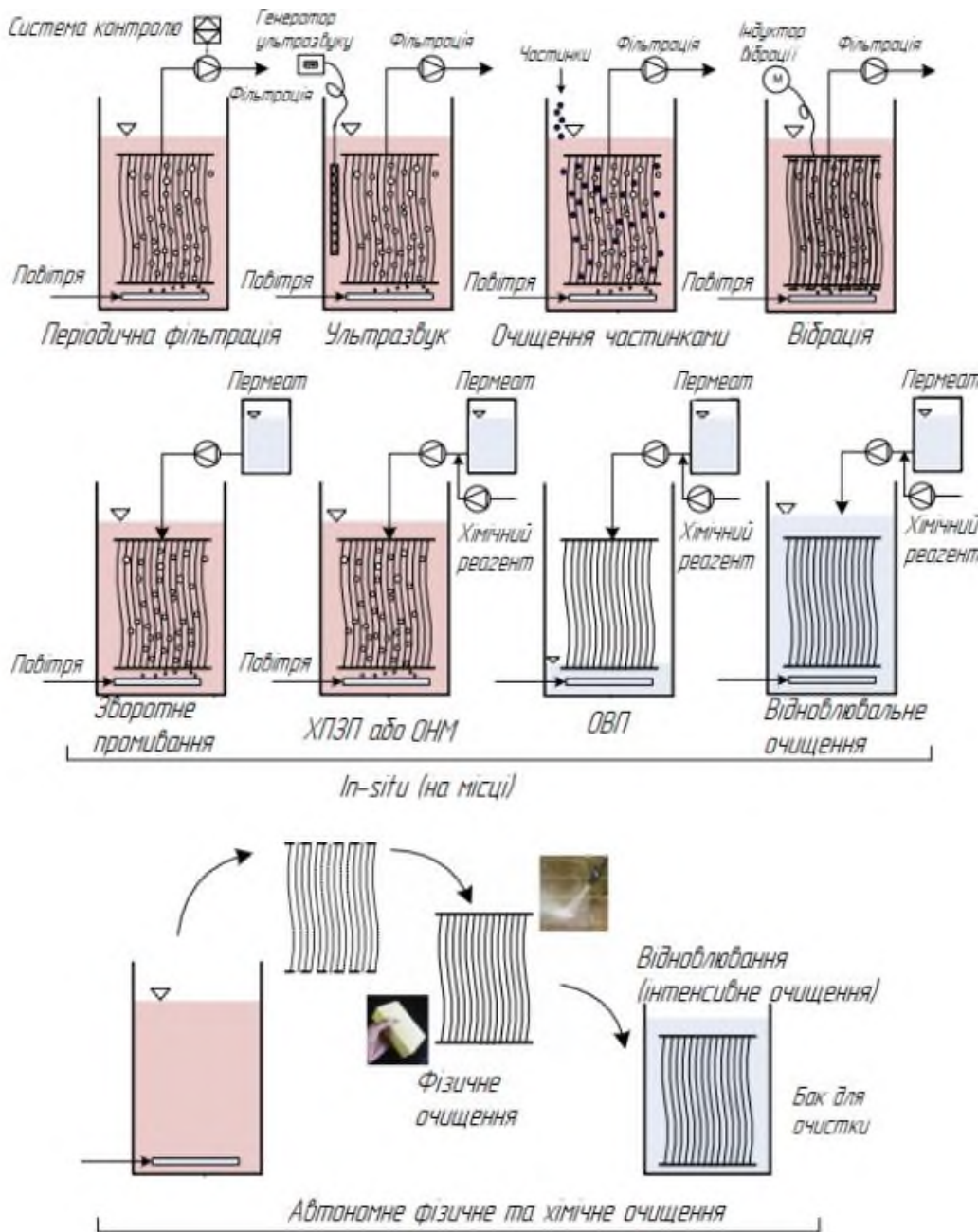


Рисунок 3.4. Очищення мембран може бути розділене на два типи:

виконане на місці, тобто *in-situ*, та виносне, що називається *ex-situ*. Термінологія включає в себе методи очищення, такі як хімічно посилене зворотне промивання (ХПЗП), прибирання на місці (ПНМ) та очищення в повітрі (ОВП) у контексті злитого мембранного баку. Це включає в себе широкий спектр методів фізичного, хімічного, а також біологічного або біохімічного очищення.

Очищення мембран в контексті МБР можна розділити на чотири основних типи - фізичне, хімічне, фізико-хімічне та біологічне / біохімічне очищення. У процесі МБР, ці методи очищення часто використовуються окремо, але часто комбінуються для відновлення проникності мембран.

Фізичне очищення мембран в основному виконується за допомогою зворотного промивання - простим направленням потоку, що відключає проникнення, і продовжується промиванням мембрани за допомогою повітряних бульбашок. За останні роки було запропоновано й інші стратегії, такі як обробка ультразвуком, додавання зважених частинок і механічне очищення. Є також методи, які включають вібрацію, що є перспективним напрямом в фізичному очищенні в МБР. Ці методи зазвичай виконуються на місці (*in situ*), а видалення бруду за допомогою протирання губкою та промивання водою під тиском виконується поза місцем (*ex situ*), щоб відновити проникність мембрани. Фізичне очищення ефективно для видалення оборотних забруднень, але менш ефективно порівняно з хімічним очищенням. Його перевага полягає в тому, що воно не вимагає хімічних реагентів і менше спричиняє деградації мембрани, за винятком деяких жорстких методів.

Хімічне очищення використовує хімічні реагенти, такі як основи, кислоти та окислювачі, для видалення незворотних забруднень. Цей процес може включати різні протоколи, такі як очищення на місці та інтенсивне очищення на місці. Технічне очищення на місці включає в себе прибирання

на місці без зливу мембранного баку та очищення в повітрі з висушеним мембранним баком.

Окрім цього, є інші методи, які дозволяють змочувати мембрани для їх відновлення.

Як показано на рисунку 3.4, хімічне очищення може мати декілька протоколів, заснованих на процесі очищення, тобто очищення на місці та інтенсивне очищення на місці. Технічне очищення *in situ* включає (1) ПНМ, тобто очищення мембрани *in situ* без зливу мембранного бака, (2) ОВП, яке має очистити мембрану з осушеним мембранним резервуаром.

Відновлення мембранного ефекту, коли мембрани змочуються в спеціальних розчинах з вищою концентрацією в спільному баку, може відбуватися як на місці (*in situ*) чи в режимі офлайн (*ex situ*), коли мембрани очищуються поза процесом.[25] Зокрема, хімічні реагенти можуть застосовуватися окремо або разом з фізичними методами для підвищення ефективності очищення або зниження навантаження хімічних речовин.

Фізико-хімічні методи очищення поєднують в собі фізичні техніки з використанням хімічних речовин для підвищення ефективності процесу очищення. Один з типових методів, що використовуються в мембранній біореакторній технології, це ХПЗП, коли знижена концентрація хімічного миттєвого засобу додається до води для зворотного промивання. Цей метод застосовується періодично, особливо коли звичайне фізичне очищення не вдається повернути проникність мембрани. Зазвичай ХПЗП розглядають як один із способів технічного очищення. Також були розроблені інші фізико-хімічні протоколи очищення, включаючи хімічне очищення, яке підсилюється застосуванням ультразвуку.

Біологічне/біохімічне очищення.

Біологічне/біохімічне очищення - це використання спеціальних розчинів, які містять активні біологічні компоненти для видалення забруднень з мембран. Три підходи, як показано на рисунку 3.4, в

основному використовуються для досягнення біохімічного очищення мембран, тобто ферментативний підхід, роз'єднання енергії та гасіння кворуму. Використання хижих мікроорганізмів може в майбутньому послужити біологічним очищенням мембран, але цей процес потребує подальшої дослідницької роботи перед практичним застосуванням. У більшості плоских мембранних модулів застосування зворотної промивки обмежене через їхню структуру, і очищення мембран зазвичай виконується за допомогою комбінації релаксації та хімічних методів. Проте, деякі нові моделі, такі як модуль BIO-CELLs від MICRODYN-NADIR GmbH, мембрани A3 Water Solutions FS та інші останні розробки, можуть піддаватися повторній промивці. Наприклад, керамічна мембрана, будь-якого FS або трубчастого типу, може бути чищена в зворотному напрямку.

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів

Охорона праці – це система заходів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини під час виконання трудових функцій. Завдяки покращенню умов праці та вдосконаленню санітарних умов, зберігаються людські ресурси і спостерігається зростання професійної активності. Подовження середньої тривалості життя та збільшення трудової активності й виробничого досвіду є наслідком покращення стану здоров'я. Розвиток професійного рівня також стимулюється підвищенням кваліфікації та майстерності.

**Фізичні чинники**, такі як рухливі машини та механізми, рухливі частини обладнання, висока пиловіддача та забрудненість повітря у робочій зоні, зміни температури на поверхнях устаткування чи в повітрі, збільшений рівень шуму, вібрацій, інфразвукових та ультразвукових хвиль, іонізуючого випромінювання, статичної електрики, електромагнітних полів, ультрафіолетового чи інфрачервоного випромінювання, а також зміни в барометричному тиску, вологості, іонізації та обміну повітря — усе це може впливати на робоче середовище. Ці фактори можуть призводити до ризику безпеки через ефекти, що виникають від неправильного освітлення, підвищеної яскравості світла та випромінювання, яке може створювати засліплюючий ефект.

**Хімічні небезпечні і шкідливі виробничі чинники**: хімічні речовини, залежно від їх впливу на організм людини, можна класифікувати як загально токсичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні, та речовини, що впливають на репродуктивну функцію.

**Психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі чинники:** Фізичні (статичні та динамічні) навантаження та стрес для нервово-психічного стану (напруженість розумової роботи, виснаженість органів чуття, монотонність праці, емоційне напруження) представлені в

гірничодобувній галузі. За дією фізичних факторів у цій галузі професійної діяльності виникають різні хвороби, зокрема вібраційна хвороба (31,6%), вегето-сенсорна поліневропатія (9,9%), попереко-крижова радікулопатія (3,7%), нейросенсорна туговухість (86%). Крім цього, відмічається значна поширеність сполучених форм професійних захворювань, які характеризуються ураженням периферичної нервової системи, органів слуху, а також проблемами, пов'язаними з хребтом (22,2%) [32].

#### **4.2. Заходи і засоби для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації.**

Джерелом вібрації може бути пневматичне, механічне, а також електричне обладнання та інструменти обертового або ударного типу. Розрізняють локальну вібрацію, яка діє на окремі частини тіла людини, і загальну вібрацію, яка передається на організм (тіло) через сидіння або ноги працівника тощо. Загальна вібрація, своєю чергою, поділяється на транспортну (виникає під час руху транспортних засобів) і технологічну, яка існує при роботі на стаціонарному обладнанні або ж передається відповідним чином на робочі місця, які не мають власних джерел вібрації. Локальна вібрація, зокрема, спостерігається при виконанні робіт пневматичними відбійними молотками, використанні технологічного обладнання з вібраційними властивостями [32].

Коллективний захист від вібрації здійснюється, зокрема, шляхом застосування таких методів, як: зменшення або виключення різких прискорень у роботі механічного пристрою; зміна конструктивних елементів джерела вібрації з метою уникнення (зменшення) резонансу частоти власних коливань машини з частотою збуджувальних сил; перетворення енергії коливань системи в теплову енергію (вібродемпфування) шляхом використання спеціальних матеріалів з великим внутрішнім тертям при пружних деформаціях; віброгасіння шляхом введення в коливальну систему додаткової маси або збільшення

жорсткості системи шляхом установки агрегата на фундамент; віброізоляція за допомогою введення в систему додаткового пружного зв'язку для ослаблення передачі вібрації суміжному елементу конструкції або робочому місцю; зменшення вібрації у джерелі виникнення конструктивними і технологічними методами при розробці нових та модернізації наявних машин.

#### **4.3. Забезпечення необхідного санітарного стану виробництва.**

Санітарно-побутові приміщення відповідають вимогам Державних санітарних норм проектування промислових підприємств. На роботах, де можливий вплив на шкіру шкідливих речовин, видаються за встановленими нормами змиваючі та знешкоджуючі речовини. Прийом їжі проводиться тільки у виділеному для цієї мети приміщенні.

Працівники підприємства забезпечені в установленому порядку засобами індивідуального захисту, спецодягом, спецвзуттям, спецхарчуванням і іншими засобами. Спецодяг виробничого персоналу (основного і допоміжного) підлягає, при необхідності, знепилюванню і / або хімічного чищення і дегазації. Засоби колективного та індивідуального захисту працюючих відповідають вимогам відповідних стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального і колективного захисту, що включають засоби нормалізації умов роботи і засоби зниження впливу на працівників шкідливих виробничих факторів.

#### **4.4. Заходи і засоби для захисту працюючих від ураження електричним струмом, блискавкозахист і захист від статичної електрики**

Вимоги безпеки в електротехнічному господарстві

Загальні вимоги

Експлуатацію електротехнічного господарства під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом необхідно здійснювати

відповідно до вимог цих Правил, Правил безпечної експлуатації електроустановок, затверджених наказом Державного комітету України по нагляду за охороною праці від 06.10.97 № 257, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 13.01.98 за № 11/2451 (далі — НПАОП 40.1-1.01-97), а також технічної документації заводів-виробників на електротехнічне обладнання [36].

На кожному пусковому апараті необхідно мати чіткий напис із зазначенням установки, що вмикається ним.

Під час обслуговування електроустановок необхідно застосовувати захисні засоби (діелектричні рукавиці, боти, килимки, ізолюючі підставки), покажчики напруги, захисне заземлення, а також засоби індивідуального захисту (захисні окуляри, монтажні пояси, кігті).

У холодну пору року за низьких температур необхідно застосовувати утеплені діелектричні рукавиці. Допускається застосування діелектричних рукавиць разом з теплими (вовняними або іншими) рукавицями.

Захисні засоби необхідно обов'язково піддавати періодичним електричним випробуванням у встановлений термін. Перед кожним застосуванням засобів захисту необхідно перевіряти їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, забруднень, строк працездатності за штампом, розміщеним на них.

#### **4.5. Забезпечення пожежовибухобезпеки**

##### **Пожежна безпека**

1. Кожний керівник гірничого підприємства або уповноважена ним особа зобов'язані забезпечити пожежну безпеку на підприємстві відповідно до Закону України «Про пожежну безпеку».

2. На всіх гірничих підприємствах, що експлуатуються, будуються або знаходяться на реконструкції, необхідно здійснювати протипожежні заходи, що запобігають виникненню пожеж, а у разі їх виникнення забезпечують локалізацію та ліквідацію пожеж на початковій стадії, відповідно до вимог

Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 19.10.2004 № 126, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 04.11.2004 за № 1410/10009 (НАПБ А.01.001-2004).

3. Для всіх працівників при прийнятті на роботу і за місцем роботи необхідно забезпечити проходження інструктажів з пожежної безпеки відповідно до вимог Типового положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України, затвердженого наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 29.09.2003 № 368, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 11.12.2003 за № 1148/8469.

4. Для запобігання випадкам забруднення атмосфери кар'єрів газами у разі займання горючих копалин, які розробляються, необхідно систематично вживати профілактичних протипожежних заходів, а якщо виникла пожежа — негайних заходів з її ліквідації.

5. Під час виникнення пожежі усі роботи на дільницях гірничого підприємства, атмосфера яких забруднена продуктами горіння, необхідно припинити, за винятком робіт, пов'язаних з ліквідацією пожежі.

#### **4.6. Вимоги до охорони праці при організації робочого місця працівника.**

Лабораторія повинна бути [34]:

- обладнана центральним водяним опаленням;
- забезпечена питною водою;
- мати загальну припливно – витяжну вентиляцію та місцеву витяжку повітря на окремих технологічних ділянках (раковини для миття, витяжні та сушильні шафи, апаратуру з потужними джерелами світла, столи для знепилювання тощо) згідно з СНіП 2.04.05 – 91;

- забезпечені протипожежним обладнанням згідно з НАПБ Б.01.006 – 2003.
- необхідно підтримувати умови мікроклімату, норми освітленості, шуму та вібрації відповідно до чинних гігієнічних вимог.

Лабораторне устаткування, робочі поверхні столів, стелажів, витяжних шаф, що призначені для роботи з пожежовибухонебезпечними речовинами, повинні мати негорюче покриття.

На робочих місцях треба зберігати тільки таку кількість матеріалів (у готовому для користування стані), яка не перевищує денної виробничої потреби. При цьому ємності з вогнебезпечними речовинами повинні бути щільно закритими.

Для роботи з кислотами, лугами та іншими хімічно активними речовинами слід застосовувати столи й шафи, виготовлені з матеріалів, стійких до їхньої дії.

До роботи зі шкідливими речовинами допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд та інструктаж з охорони праці.

Під час роботи з хімічними речовинами необхідно користуватися халатами, гумовими рукавичками, захисними окулярами, респіраторами тощо.

Працівники лабораторій повинні знати властивості пожежовибухонебезпечних хімічних речовин і матеріалів, що застосовуються, і дотримуватися заходів безпеки під час роботи з ними.

#### **4.7. Забезпечення нормативних значень показників мікроклімату і чистоти повітря.**

Несприятливі умови погіршують фізіологічний стан, знижують продуктивність праці, можуть привести до різних захворювань [104].

Робота в лабораторії відноситься до категорії легкої важкості (1б).

Температура в холодний період року повинна 21 – 23 оС, відносна вологість – не більше 75%, швидкість руху повітря – 0,2 м/с, а в теплий

період року відповідно 22 – 24оС, не більше 60%, 0,1 – 0,3 м/с .

Для забезпечення нормативних показників мікроклімату передбачено:

- опалювальна система, яка забезпечує допустимі показники мікроклімату. Одним з чинників, що роблять найбільший вплив на організм працюючих є низька температура. Для того, щоб лабораторія працювала в холодну пору року передбачається опалювальна система. Оптимальні величини температури 21 – 23оС.

- для видалення надмірного тепла, шкідливих газів, водяної пари і пилу передбачена приточно – витяжна вентиляція. Вентиляція підрозділяється на природну і примусову. В лабораторії в якості загально – обмінної вентиляції використовують природну. Природна витяжна вентиляція застосовується в приміщеннях, які мають значні виділення тепла, і здійснюється за допомогою вентиляційних каналів, вікон.

#### **4.8. Освітлення робочого місця, заходи і засоби для забезпечення нормованих показників освітлення.**

Для забезпечення нормативної освітленості передбачено природне, штучне та змішане освітлення.

Природне освітлення:

- Передбачено природне освітлення бокове, здійснюване через світлові прорізи в зовнішніх стінах; верхнє – через лампи, комбіноване – поєднання верхнього і бічного природного освітлення.

- Для ефективного використання світлового потоку приміщення та обладнання забарвлене в світлий колір;

- Для нормального проходження світлового потоку через вікна вони повинні бути вимиті один раз на місяць в санітарний день.

Штучне освітлення:

Штучне освітлення здійснюється за допомогою люмінісцентних ламп в кількості 6 штук. Природне освітлення – бічне трьохстороннє. Місцеве освітлення робочої зони відсутнє, що погано впливає на якість виконання

роботи. Згідно з нормами рівня штучного освітлення для зони обслуговування розмножувальної техніки різних видів відповідають такі показники:

Площину нормування освітленості – М – 0,8 м від підлоги;

Розряд зорових робіт – 3 В;

Загальне освітлення – 300 ЛК. (СанПін 2.2.2.1332 – 03).

Для зручності передбачені штори.

## РОЗДІЛ 5

### ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

Цивільний захист – це роль держави, спрямована на захист населення, територій, природного середовища та майна від непередбачених обставин, шляхом уникнення таких подій, подолання їх наслідків та надання допомоги потерпілим у мирний час та в періоди кризових ситуацій. Це важлива частина національної безпеки, мета якої - забезпечити захист та безпеку громадян, територій, природи та майна від різноманітних небезпек і надзвичайних обставин.

Цивільний захист в Україні створюється та проводиться з метою:

Здійснення державної політики, спрямованої на гарантування безпеки та захисту населення, територій, матеріальних і культурних цінностей, а також докiлля від негативних наслідків надзвичайних ситуацій в мирний період та в особливі періоди.

Мінімізація наслідків надзвичайних ситуацій, включаючи ті, що сталися на територіях інших країн згідно з міжнародними угодами України, на які надано згоду Верховною Радою України. Держава, як гарант цього права, забезпечує захист населення від небезпечних наслідків аварій техногенного, екологічного, природного і військового характеру. Населення України зобов'язане уміти діяти в умовах радіоактивного й хімічного зараження, під час техногенних катастроф, й у надзвичайних ситуаціях

Розглянемо умовну ситуацію.

Розрахувати ризик загибелі при аварійній ситуації на об'єкті хімічної промисловості, що може викликати вихід з алду обладнання та забруднення атмосферного повітря, викликавши збитки у розмірі 50 000 грн. з урахуванням несприятливих погодних умов та прийнятного ризику :

$$R_i = W \cdot V \cdot \alpha \cdot \tau$$

$R_i$  - індивідуальний ризик;

$W$  – імовірність розглядаємої аварії ;

$V$  – імовірність загибелі людини під дією негативного фактора, пов'язаного з цією аварією ;

$\alpha$  – імовірність несприятливих метеоумов;

$\tau$  – відносна доля часу, що людина проводить в даному місці (небезпечному). Величина  $\alpha$  визначається звичайно за результатами багатолітніх метеоспостережень з використанням кліматичних довідників.

1. Необхідно побудувати залежність з використанням даних таблиці 5.1.

З урахуванням розмірів збитків імовірність аварії буде становити 0.0008 .

Загальний характер	Кількість ситуацій	Рівень тяжкості			
		Матеріальні збитки, грн.	Кількість постраждалих, чол.	Кількість загиблих, чол	Перевищення параметрів НС над ГДК
Легкі	1230	До 1000	2	-	2
Середні	56	1000-5000	5	-	3
Тяжкі	14	5000-15000	10	1	10
катастрофічні	1	Більше 15000	Більше10	Більше 5	Більше 10

2. Імовірність несприятливих метеоумов швидкість вітру більше 5 м/с становитиме :  $\alpha = 320/3650 = 0,088$ .

3. Відносна доля часу, що людина проводить в даному небезпечному місці дорівнює за тривалості відряджень та відпустки у кількості 4 доби на рік:

$$\tau = (40 \cdot (52-4))/(168 \cdot 52) = 88/8736 = 0,01.$$

4 . Індивідуальний ризик загинути у аварії розраховується за формулою

$$R_i = 0,0008 \cdot 0,00004 \cdot 0,088 \cdot 0,01 = 2 \cdot 10^{-11} .$$

Висновок: У порівнянні з гранично допустимим значенням ризику, ситуація може кваліфікуватись як безпечна. Важливо врахувати, що це лише теоретичний розрахунок, і реальна ситуація може бути складнішою через

різноманітні фактори, які можуть впливати на безпеку. Розрахунки ґрунтуються на припущеннях та статистичних даних, тому слід проводити регулярні оновлення ризик-аналізу на основі нової інформації та даних про безпеку.

## ВИСНОВКИ

1. Мембрани BTS uF (100 нм) ефективніше очищують стічні води, ніж мембрани BTS uF (200 нм)..

2. Концентрація жирних сполук у фільтраті суттєво залежить від їх концентрації у концентраті. При максимальній концентрації 39 570 мг/л (фактор концентрування 6) вміст жирів у фільтраті більше ніж вдвічі перевищує вихідний показник.

3. Використання мембран ультрадіапазону 100 нм і 200 нм для очищення стічних вод з високим вмістом жирів не відповідає нормам щодо вмісту жирів. Фактичний вміст жирів у фільтраті майже в п'ять разів перевищує норму.

4. Ультрафільтрація недостатня для повноцінного очищення жировмісних стічних вод. Рекомендується використовувати мембрани з більш вузькими порами, наприклад, 20...50 нм, що вказує на необхідність переходу до нанофільтрації з метою отримання більш значущих результатів. Мембрани з меншим розміром пор здатні утримувати навіть більші частки і молекули, що забезпечує більш ефективне очищення стічних вод від жировмісей. Завдяки більш високій ефективності утримання забруднень, може зменшитися обсяг утворюваних відходів, що важливо для забезпечення сталого ведення процесу очищення стічних вод.

5. Застосування поєднання стандартних методів очищення стічних вод, разом з використанням мембранної технології, відкриє можливість економії енергії та хімічних реагентів, а також значно спростить усю технологічну послідовність для досягнення відповідних екологічних стандартів у виробництві олійних та жирових продуктів. Майбутні дослідження спрямуються на використання нанофільтраційних мембран, виготовлених із хімічно та біологічно стійких матеріалів, з метою підвищення ефективності обробки стічних вод, що містять жири.

Застосування комбінації традиційних методів очищення стічних жировмісних вод із мембранною обробкою дійсно має потенціал принести

значні вигоди для олійно-жирового виробництва, особливо з точки зору зменшення витрат енергії та реагентів.

Дослідження оптимальних параметрів технологічного процесу, таких як тиск, температура, і час, для максимальної ефективності очищення стічних вод від жирівмісей.

1. Оцінка стану стічних вод. Сахневич Я.М., Мальований М.С., Дячок В.В., Мараховська С.Б., 2015 URL: [https://vlp.com.ua/files/51\\_6.pdf](https://vlp.com.ua/files/51_6.pdf) (дата звернення 15.09.2023)
2. Гречанюк Н.Ю., Волошина О.С. Вплив відходів олійно-жирової промисловості на екологічну ситуацію в Україні. URL: [http://www.rusnauka.com/35\\_NOBG\\_2013/Ecologia/2\\_153025.doc.htm](http://www.rusnauka.com/35_NOBG_2013/Ecologia/2_153025.doc.htm)
3. Филипчук В. Л. Очистка металомістких багатокomпонентних стічних вод // Вісн. Сум. держ. ун-ту. Сер. Техн. науки. 2021. № 9. С. 154-161
4. Шевченко О. О., Крупко В. А., Клінцов Л. М., Іванова І. М. Моделювання ефективності роботи станції біологічного очищення стічних вод // Восточно- Европейский журнал передовых технологий. 2018. №5 / 10 (71). С. 16- 20.
5. Шевченко О. О., Іванова І. М. Застосування біотехнологій для підвищення очистки стічних вод від біогенних елементів // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. : Математичне моделювання в техніці та технологіях. 2018. № 37. С. 215-222.
6. Левандовський Л. В., Лукашевич Є. А., Нікітін Г. О., Диба А. О. Вплив відходів харчової промисловості на довкілля // Міжнародна науково-практична конференція (МНПК) : I Всеукр. з'їзд екологів, (Вінниця, 4-7 жовтня 2018 р.).С. 264. URL:<http://www.rusnauka.com/35NOBG2017/Ecologia/2153025m> (дата звернення 20.10.2023)
7. Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія очистки промислових стічних вод» Гідротехніка (Водні ресурси), фахове спрямування «Раціональне використання і охорона водних ресурсів». Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекет., 2017. 73 с.
8. Методичні вказівки для практичних занять, виконання РГР та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Мікробіологія» Будівництво (професійне спрямування «Водопостачання та водовідведення») та

Гідротехніка (водні ресурси) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. І. М. Чуб – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 36 с

9. Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні і управління безпекою праці. Підручник / Л. А.Саблій, В. С. Жукова, О. М. Бунчак, Рівне: НУВГП, 2016. 356 с

10. Основи біобезпеки для науково-дослідних установ біологічного профілю. / Ю.Т.Салига, І.В.Лучка, В.П.Росаловський. Львів: Растр-7, 2017. 218 с.

11. Вода і водоочисні технології: науково - практичний журнал / гол. ред. В. Г. Маляренко. - Київ : [б. в.], 2018

12. Калабіна Л. В., Хохотва О. П., Фефілатьєва О. М. Очистка води від нафти методом фотодеструкції з використанням  $TiO_2$  // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2012. № 1. С. 46-48.

13. Крисінська Д .О. До проблеми вдосконалення вітчизняної нормативноправової бази в галузі питного водопостачання як одного з основних чинників підвищення екологічної безпеки питної води // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили]. Сер. : Техногенна безпека. 2018. Т. 203, Вип. 191. С. 56-61.

14. Бондарь С.М., Чабанова О.Б Дослідження мембранного процесу очищення стічних вод. Олійножирової промисловості. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького Том 17 № 4 (64), 2015

15. Леонов М. Л., Терновцев В. О. Видалення нітратів методом іонного обміну. Технології і матеріали // Пробл. водопостачання, водовідведення та гідравліки. 2019. Вип. 4. С. 34-38.

16. Нечитайло М. П. Удосконалена технологія підготовки й знезаражування питної води для малих об'єктів водопостачання : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.04 / Харківський держ. технічний ун-т будівництва та архітектури. Харків, 2016. 20 с.

17. Сучасні проблеми охорони і раціонального використання водних ресурсів та очистки природних і стічних вод : Зб. матеріалів конф. / ред.: П. Д. Хоружий; Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. Київ, 2020. 108 с.
18. Державна екологічна інспекція в Сумській області URL:1382-Текст статті-4791-1-10-20191003.pdf (дата звернення 17.10.2023)
19. Detection of anaerobic processes and microorganisms in immobilized activated sludge of a wastewater treatment plant with intense aeration / Y. V. Litti та ін. *Microbiology*. 2013. Т. 82, № 6. С. 690–697.
20. Sulfate reducing and methane producing bacteria in aerobic wastewater treatment / P. N. Lens та ін. *Water research*. 1995. Т. 29, № 3. С. 871–880.
21. M. B. Vanotti, P. G. Hunt. Nitrification treatment of swine wastewater with acclimated nitrifying sludge immobilized in polymer pellets. *Transactions of the ASAE*. 2000. Т. 43, № 2. С. 405–413. URL: <https://doi.org/10.13031/2013.2719>.
22. Gupta A., Balomajumder C. Simultaneous removal of Cr(VI) and phenol from binary solution using *Bacillus* sp. immobilized onto tea waste biomass. *Journal of water process engineering*. 2015. Т. 6. С. 1–10.
23. Chen Q., Bao M., YanMin T. Application of alginate embedded immobilized microbes in oil wastewater treatment. *J. Mater. Environ. Sci*. 2012. Т. 35, № 2. С. 167–172.
24. Detrimental effects of high molecular-mass polyphenols on olive mill wastewater biotreatment / S. Sayadi та ін. *Process biochemistry*. 2020. Т. 35, № 7. С. 725–735.
25. Baker R. W. *Membrane technology and applications*. – 2nd ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2004. – 2004.
26. Porter M. *Handbook of industrial membrane technology*. – Westwood, New Jersey: Noyes publications. – 619 p.
27. Y. El Rayess, C. Albasi, P. Bacchin, P. Taillandier, M. Mietton-Peuchot, A.

Devatine, Analysis of membrane fouling during cross-flow microfiltration of wine, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 16 (2012) 398–408.

28. P. Le-Clech, V. Chen, T.A.G. Fane, Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment, *J. Membr. Sci.* 284 (2014) 17–53.

29. F. Meng, S.-R. Chae, A. Drews, M. Kraume, H.-S. Shin, F. Yang, Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material, *Water Res.* 43 (2012) 1489–1512.

30. Гулієнко С.В. Дисертація на здобуття наукового ступеня к.т.н. Процес регенерації рулонованих мембранних модулів. Київ.: НТУУ «КПІ».- 2016. Гулієнко С.В. Дисертація на здобуття наукового ступеня к.т.н. Процес регенерації рулонованих мембранних модулів. Київ.: НТУУ «КПІ».- 2016

31. Гулієнко С. В. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук по темі: Процес регенерації рулонних мембранних модулів. НТУУ «КПІ», Київ 2016.

32. Sonune, A., Ghate, R., 2014. Developments in wastewater treatment methods. *Desalination* 167, 55–63.

33. Bennett, A., 2009. Membranes in industry: facilitating reuse of wastewater. *Filtration & Separation* 42 (8), 28–30.

34. Frost Sullivan Europe Siemens Water Technologies, 2015. Membrane filtration technologies tackle water reuse and purification. *Membrane Technology* (1), 9–11.

35. Хоружий В. П. Аналіз технологій водопідготовки з поверхневих джерел на групових сільгоспводопроводах // Пробл. водопостачання, водовідведення та гідравліки. 2017. Вип. 4. С. 18-24.

36. НПАОП 73.1-1.11-12. Правила охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях. Міністерство надзвичайних ситуацій України. 2012.