

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут природокористування  
Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

студента Пелиха Святослава Ігоровича  
(ПІБ)

академічної групи 183-18-1  
(шифр)

спеціальності – 183 «Технології захисту навколишнього середовища»  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою – «Технології захисту навколишнього  
(офіційна назва)

середовища»

на тему Впровадження технології очистки води в системі оборотного  
(назва за наказом ректора)

водопостачання маслоекстракційного заводу ТОВ «Українська Чорноморська  
індустрія»

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
кваліфікаційної роботи	Кулікова Д.В.		
<b>розділів:</b>			
Теоретичного	Кулікова Д.В.		
Технологічного	Кулікова Д.В.		
Охорона праці	Чеберячко Ю.І.		
<b>Рецензент</b>	Петльований М.В.		
<b>Нормоконтролер</b>	Ґрунтова В.Ю.		

Дніпро  
2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:  
завідувачка кафедри екології та  
технологій захисту  
навколишнього середовища  
Борисовська О.О.  
(підпис) (прізвище, ініціали)  
«\_\_\_» червня 2022 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавра**

студенту Пелиху С.І. академічної групи 183-18-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності – 183 «Технології захисту навколишнього середовища»  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою – «Технології захисту навколишнього»  
(офіційна назва)

середовища»

на тему Впровадження технології очистки води в системі оборотного водопостачання маслоекстракційного заводу ТОВ «Українська Чорноморська індустрія», затверджену наказом ректора НТУ «ДП» від 03.05.2022 р. №234-с.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Теоретичний	Надати характеристику підприємства з виробництва рослинних олій; ознайомитися з технологіями виробництва соняшникової олії на підприємстві; надати характеристику якісного складу стічних вод та очисних споруд, встановлених на масло-екстракційному заводі; проаналізувати існуючі методи та технології щодо захисту водних об'єктів від скиду забруднених стічних вод підприємств харчової промисловості	02.05.2022 19.05.2022
Технологічного	Обґрунтувати метод доочищення стічних вод маслоекстракційного заводу для їхнього подальшого використання в системі оборотного водопостачання підприємства; надати характеристику сорбентів, що використовуються в якості фільтруючого завантаження; вдосконалити технологічну схему очистки стічних вод на основі їхнього доочищення методом сорбції; розрахувати параметри сорбційних фільтрів, які планується встановити, згідно запропонованої технології	19.05.2022 05.06.2022
Охорона праці	Розробити комплекс заходів щодо охорони праці та безпеки на підприємствах з виробництва рослинних олій методом пресування та екстракції	06.06.2022 12.06.2022

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 02.05.2022

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 82 с., 7 рис., 7 табл., 5 додатків, 32 літературне джерело.

**Мета роботи:** впровадити технологію очистки води в системі оборотного водопостачання масло-екстракційного заводу ТОВ «Українська Чорноморська індустрія» за рахунок доочищення виробничих стоків методом сорбції на фільтрах з вугільним завантаженням.

У вступі обґрунтовано актуальність визначення негативного впливу скиду виробничих стічних вод масло-екстракційного заводу та сформульовані задачі кваліфікаційної роботи.

У теоретичному розділі надано стислу характеристику підприємства з виробництва рослинних олій. Наведені технології виробництва соняшникової олії на розглянутому підприємстві. Надано характеристику якісного складу виробничих стічних вод та очисних споруд, встановлених на масло-екстракційному заводі. Проаналізовані існуючі методи та технології щодо захисту водних об'єктів від скиду забруднених стічних вод підприємств харчової промисловості.

У технологічному розділі обґрунтовано метод доочищення стічних вод масло-екстракційного заводу для їхнього подальшого використання в системі оборотного водопостачання підприємства. Надано стислу характеристику сорбентів, що можуть використовуватися в якості фільтруючого завантаження. Вдосконалено технологічну схему очистки стічних вод на основі їхнього доочищення в сорбційних фільтрах. Розраховано параметри сорбційних фільтрів, які планується встановити, згідно запропонованої технології очистки.

У розділі «Охорона праці» розроблено комплекс заходів щодо охорони праці та безпеки на підприємствах з виробництва рослинних олій методом пресування та екстракції.

У висновках наведені основні результати виконаної роботи.

МАСЛО-ЕКСТРАКЦІЙНИЙ ЗАВОД, ОРГАНІЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ,  
ДООЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД, СОРБЦІЯ, АКТИВОВАНЕ ВУГІЛЛЯ,  
СИСТЕМА ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
Розділ 1 Екологічна небезпека від скиду забруднених стічних вод масло-екстракційного заводу та шляхи щодо її зниження .....	8
1.1 Стисла характеристика діяльності підприємства та його структура .....	8
1.2 Технології виробництва соняшnikової олії .....	10
1.2.1 Технологія виробництва нерафінованої соняшnikової олії .....	10
1.2.2 Технологія виробництва рафінованої соняшnikової олії .....	12
1.3 Характеристика стічних вод підприємств з виробництва рослинних олій .....	15
1.4 Характеристика очисних споруд олієвмісних стічних вод ТОВ «Українська Чорноморська індустрія» .....	19
1.5 Природоохоронні заходи та методи щодо захисту водних об'єктів від скиду забруднених стічних вод підприємств харчової промисловості .....	24
Розділ 2 Розробка технологічної схеми очистки стічних вод масло-екстракційного заводу на основі їхнього доочищення методом сорбції .....	34
2.1 Характеристика сорбційного метода доочищення стічних вод .....	34
2.2 Характеристика сорбентів .....	39
2.3 Вдосконалення технологічної схеми очистки стічних вод масло-екстракційного заводу на основі їхнього доочищення в сорбційних фільтрах .....	45
2.4 Методика розрахунку параметрів сорбційних фільтрів .....	50
2.5 Результати розрахунку параметрів сорбційних фільтрів .....	57
Розділ 3 Охорона праці та безпека на підприємствах з виробництва рослинної олії методом пресування та екстракції .....	62
3.1 Загальні вимоги щодо охорони праці при виробництві рослинної олії методом пресування та екстракції .....	62

3.2 Вимоги щодо охорони праці перед проведенням робіт, пов'язаних з виробництвом рослинної олії методом пресування та екстракції .....	65
3.3 Вимоги щодо охорони праці при виконання робіт, пов'язаних з виробництвом рослинної олії методом пресування та екстракції .....	66
3.4 Вимоги щодо охорони праці після закінчення робіт, пов'язаних з виробництвом рослинної олії методом пресування та екстракції .....	70
3.5 Вимоги щодо охорони праці при виникненні аварійних ситуацій, пов'язаних з виробництвом рослинної олії методом пресування та екстракції .....	71
Висновки.....	72
Перелік посилань.....	74
Додаток А. Відгук керівника кваліфікаційної роботи .....	79
Додаток Б. Зовнішня рецензія .....	80
Додаток В. Довідка про результати перевірки тексту кваліфікаційної роботи бакалавра на присутність запозичень (плагіату) .....	81
Додаток Г. Відгуки керівника розділу з охорони праці та нормоконтролера.....	82

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Харчова промисловість є однією зі стратегічних галузей економіки, що має забезпечити стійке постачання населення необхідними якісними продуктами харчування.

Сучасне виробництво харчової промисловості негативно впливає на екологічний стан довкілля, а його концентрація у великих містах – на умови життя та здоров'я населення.

Підприємства харчової промисловості відрізняються великими питомими витратами води та скидом сильно забруднених стічних вод.

До складу стічних вод харчових підприємств входять поверхнево-активні речовини (ПАР), жири, олії, мастильні матеріали, вуглеводні, органічні кислоти, які при розчинні у воді піддаються біологічному окисленню. Потрапляючи у водойму без очищення, органічні речовини споживають для свого окислення велику кількість кисню, внаслідок чого різко погіршуються умови розвитку флори та фауни водойм. Тому стічні води підприємств харчової промисловості повинні очищатися на території підприємства.

Підприємства харчової промисловості є крупними споживачами чистої води. Воду витрачають безпосередньо при різних технологічних процесах, із санітарно-гігієнічною метою, у вигляді теплоносія (пара) тощо. Тому для економічного та раціонального водоспоживання та водовідведення на масло-екстракційних підприємствах необхідно застосовувати такі технологічні процеси основного виробництва і технологічні рішення, при яких забезпечується мінімальне споживання води, використання схем оборотного і повторно-послідовного водопостачання.

Схема відведення та очищення стічних вод, що прийнята на підприємстві, повинна забезпечувати мінімальний скид стічних вод у водойми, максимальне використання очищених стічних вод в системах повторного та оборотного водопостачання, а також повне вилучення та утилізацію корисних домішок.

Застосування технологічних стічних вод в системі оборотного водопостачання вирішує не тільки задачу економії свіжої води, але й радикального оздоровлення водойм.

Проблема очистки стічних вод харчових підприємств стоїть досить гостро, тому дана робота присвячена вдосконаленню методів їхнього очищення та поліпшення якості води, яка в подальшому буде використовуватися в системах оборотного водопостачання масло-екстракційного заводу.

**Метою роботи** є впровадження технології очистки води в системі оборотного водопостачання масло-екстракційного заводу ТОВ «Українська Чорноморська індустрія» за рахунок доочищення виробничих стоків методом сорбції на фільтрах з вугільним завантаженням.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі задачі:

1. Надати характеристику підприємства з виробництва рослинних олій. Ознайомитися з технологіями виробництва соняшникової олії на розглянутому підприємстві. Надати характеристику якісного складу стічних вод та очисних споруд, встановлених на масло-екстракційному заводі. Проаналізувати існуючі методи та технології щодо захисту водних об'єктів від скиду забруднених стічних вод підприємств харчової промисловості.

2. Обґрунтувати метод доочищення стічних вод масло-екстракційного заводу для їхнього подальшого використання в системі оборотного водопостачання підприємства. Надати характеристику сорбентів, що використовуються в якості фільтруючого завантаження. Вдосконалити технологічну схему очистки стічних вод на основі їхнього доочищення методом сорбції. Розрахувати параметри сорбційних фільтрів, які планується встановити, згідно запропонованої технології очистки.

3. Розробити комплекс заходів щодо охорони праці та безпеки на підприємствах з виробництва рослинних олій методом пресування та екстракції.

# 1 ЕКОЛОГІЧНА НЕБЕЗПЕКА ВІД СКИДУ ЗАБРУДНЕНИХ СТІЧНИХ ВОД МАСЛО-ЕКСТРАКЦІЙНОГО ЗАВОДУ ТА ШЛЯХИ ЩОДО ЇЇ ЗНИЖЕННЯ

## 1.1 Стисла характеристика діяльності підприємства та його структура

Товариство обмеженої відповідальності «Українська Чорноморська індустрія» (далі – ТОВ «УЧІ») по виробництву олії рослинної (нерафінованої, рафінованої), гранульованого шроту, гранульованого (негранульованого) лущиння соняшника, пари для основного виробництва підприємства, електроенергії на потреби заводу міста Чорноморськ, сировини для виготовлення комплексного мінерального добрива.

Режим роботи ТОВ «УЧІ» – цілорічний, цілодобовий. Річний бюджет робочого часу складає 7920 годин, ремонтний період – 1440 годин.

Проектна потужність підприємства – переробка насіння соняшнику в кількості 1900 тонн на добу.

Підприємство введено в експлуатацію в 2008 році, оснащено необхідним обладнанням для вироблення олії, гранульованого шроту, гранульованого (негранульованого) лущиння соняшника, яке розташоване в цехах основного та допоміжного виробництва.

В залежності від олійності насіння з однієї тонни соняшника орієнтовно отримується – 43% олії, 19% лущиння, 38% шроту. Обсяги переробки сировини на підприємстві – проектні, досягнуті в 2017-2020 роках наведені в табл. 1.1.

В основне виробництво входять цех сировини і готової продукції, цех переробки сировини.

Цех сировини і готової продукції включає елеватор насіння соняшника з ділянкою розвантаження автомобільного транспорту, сушильною установкою, складом шроту і лущиння соняшника, резервуарним парком олії (готової продукції) з насосними станціями, ділянкою навантаження гранульованого шроту



та лушпиння в залізничні вагони, ділянкою зливу/наливу рослинної олії з/до залізничних цистерн.

Таблиця 1.1 – Проектні показники, обсяги переробки сировини на підприємстві в 2017-2020 роках

Напрямок діяльності підприємства	Показник, тонни/рік				
	Проектні дані	Рік			
		2017	2018	2019	2020
Перероблено насіння соняшнику	635000	510915	391253	549487,9	560707,827
Отримано: – олія рослинна	264858,5	216025,516	156611,586	237386,7	236963,85
– шрот соняшниковий	234061	201515,007	153021,065	213221,9	216297,772
– лушпиння гранульоване	117030,5	60650,266	45168,96	64445,8	72061,092
– лушпиння негранульоване		27319,026	23450,306	30200,8	–
– відходи	19050	5405,185	13001,083	4232,7	35385,113

Цех переробки сировини включає підготовче відділення, куди входять рушально-віяльна дільниця, оліє-пресова дільниця, дільниця грануляції шроту; екстракційне відділення зі сховищем оборотного розчинника; дільниця грануляції лушпиння.

Виробничі процеси отримання олії та інших продуктів (основне виробництво) виконуються в такій послідовності:

- зважування та розвантаження сировини, яка надходить автотранспортом;
- очищення сировини на сепараторах;
- транспортування та зберігання сировини в силосах;
- транспортування насіння до рушально-віяльного відділення для обрушування на насінньюрушках;
- сепарування обрушеного насіння на аспіраційних сепараторах;
- грануляція лушпиння, транспортування до складу зберігання, відвантаження на залізничний транспорт чи морські судна;

- вальцювання ядер на вальцювальних станках у рушально-віяльному відділенні (м'ятка);
- транспортування м'ятки до пресового відділення для волого-теплової обробки та віджиму олії на пресових агрегатах, отримання пресової олії та макухи;
- транспортування макухи до екстракційного відділення для екстракції олії та отримання шроту;
- транспортування шроту для подальшої його грануляції та передачі в склад зберігання;
- відвантаження шроту на залізничний транспорт чи морські судна зі складу.

Лушпиння направляється в силос, проходить грануляцію, транспортується до складу, відвантажується на залізничний або морський транспорт. Частина негранульованого лушпиння використовується в якості біопалива в котельні заводу.

До складу допоміжного виробництва входить котельня з сучасною водопідготовчою установкою, лабораторія, механічна майстерня, очисні споруди олієвміщуючих стоків, локальні споруди дощових стоків, насосна другого підйому.

## **1.2 Технології виробництва соняшникової олії**

Рослинні олії виробляються з олійної сировини та вилучаються з неї методами пресування або екстрагування [1-3].

### **1.2.1 Технологія виробництва нерафінованої соняшникової олії**

Виробництво соняшникової олії в значній мірі орієнтовано на експортні ринки.

Олію соняшникову нерафіновану виготовляють, в основному, по схемі двократного пресування і схемі форпресування – екстракція [1-3].

Технологічна схема виробництва соняшникової олії по схемі форпресування – екстракція наведена на рис. 1.1.

*Рис. 1.1 – Технологічна схема виробництва соняшникової олії по схемі форпресування – екстракція*

При переробці по схемі двократного пресування насіння, що надходить на підприємство після приймання та нетривалого зберігання, поступає на сортування та очистку для максимально можливого видалення олійних, сміттєвих і металічних домішок. Очищене насіння при необхідності висушується до вологості, необхідної для безпечного, більш тривалого зберігання. При переробці

насіння з відділенням плодової оболонки вологість сировини при сушінні необхідно знизити до 5,5-6,5%.

Для лушпиння здійснюється відділення плодової оболонки обрушуванням з наступним розділенням утворюваного продукту (рушанки) та виділенням ядра і січки, які передаються на наступне подрібнення.

Необрушене та частково обрушене насіння після розділення відправляють на повторне обрушування. Виділена плодова оболонка видаляється з виробництва і може бути використана як паливо, в якості матеріалу, що розпушує та мульчує ґрунт, сировини для гідролізу з отриманням кормових дріжджів та інших продуктів, а після обробки і гідролізу як компонент корму або основа для вирощування грибів.

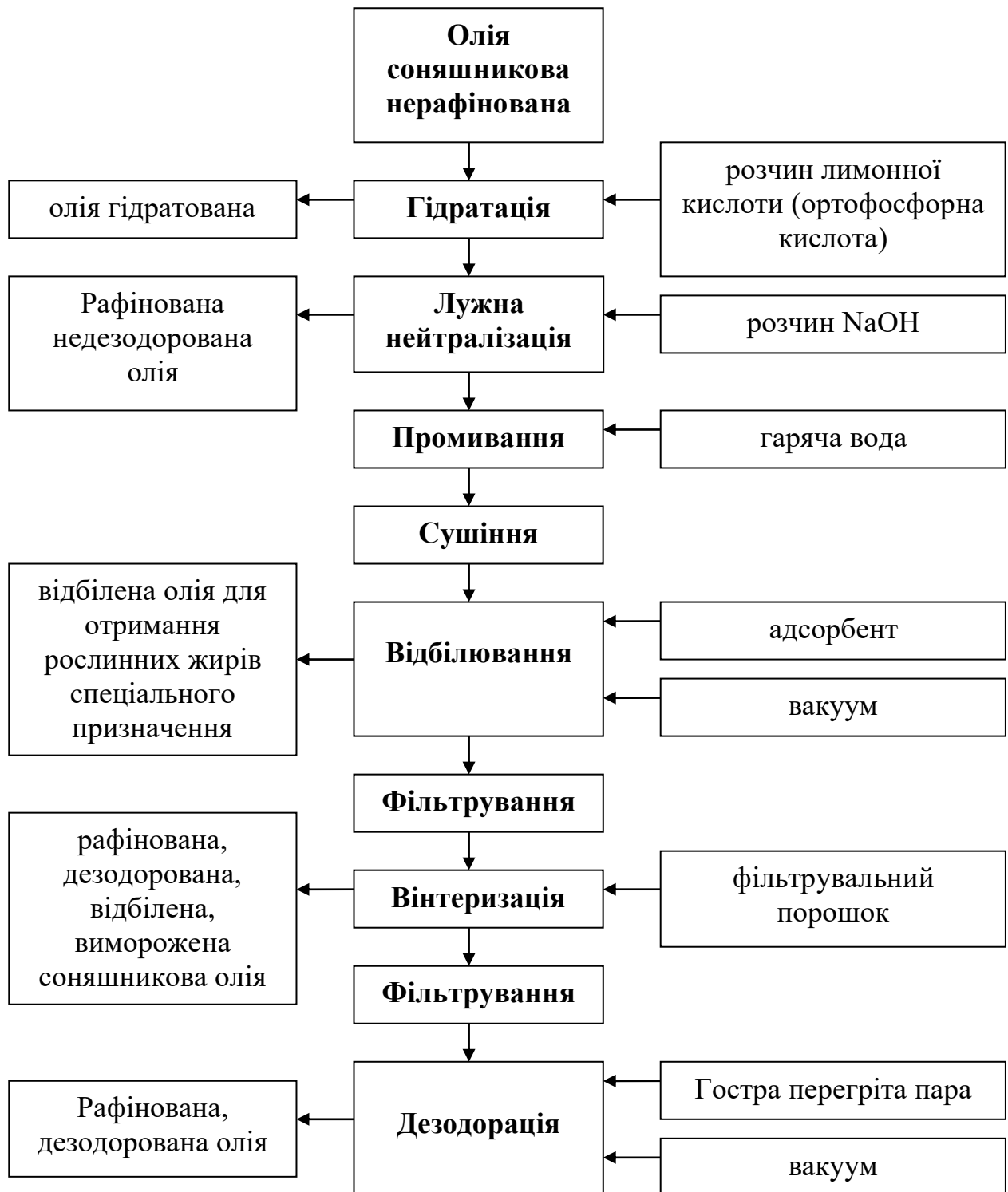
Подрібнені ядро та січка з додаванням фракції олійний пил, що визначається як м'ятка, передаються на волого-теплову обробку і, після надання меззі відповідної структури та зміни зв'язку олії із гелевою частиною сировини, на пресування.

Утворена при пресуванні макуха передається на остаточне пресування після подрібнення та волого-теплової обробки. Отримана внаслідок попереднього та остаточного пресування олія передається на первинну очистку, що складається з відстоювання та фільтрації. Утворений осад повертається на процес волого-теплової обробки в перший чан жаровні.

Особливістю схеми є те, що макуха, яка утворюється при пресуванні, передається на остаточне знежирювання шляхом екстрагування після подрібнення.

### **1.2.2 Технологія виробництва рафінованої соняшникової олії**

При виробництві рослинної соняшникової олії застосовують кілька стадій рафінації (рис. 1.2) [1-3].



*Рис. 1.2 – Технологічна схема рафінації рослинної соняшникової олії*

Перший ступінь рафінації – видалення фосфатидів або гідратація.

Олія соняшникова нерафінована після первинного очищення прямує на гідратацію. В процесі гідратації олію обробляють гідратуючим агентом у змішувачі при температурі 45-50 °С. Суміш прямує до коагулятора з мішалкою. Із

коагулятора виходить олія, що містить крупні, сформовані пластівці фосфоліпідів. Відділений гідратаційний осад відправляють на отримання харчових або кормових фосфатидів.

Така обробка робить рослинну олію прозорою, після чого вона називається товарною гідратованою.

Другий ступінь рафінації проводиться з метою нейтралізації вільних жирних кислот з утворенням нерозчинених в олії солей (мила). При надлишковому вмісті даних кислот у рослинній олії з'являється неприємний смак.

Лужну рафінацію проводять розчинами лугу при температурі 45-50 °С із різною концентрацією в залежності від кислотного числа олії. При цьому кількість лугу повинна перевищувати теоретично необхідну на 10-20%. Олію відстоюють до 6 годин.

Потім вона надходить на промивання і сушіння в сушильно-деаераційний апарат, де розпорошується за допомогою форсунок у вакуумі при температурі 90-95 °С.

Після проходження цих двох етапів рослинна олія вже називається рафінованою недезодорованою.

Можливе суміщення першої та другої ступені рафінації: кислотна гідратація, суміщена з лужною нейтралізацією.

Третя ступінь рафінації здійснюється шляхом обробки олії адсорбентами. Після відбілювання в олії не залишається пігментів, в тому числі каротиноїдів, і вона стає світло-солом'яною.

Відбілювання/адсорбційна рафінація проводиться при температурі 90-110 °С. Потім олію відправляють на фільтрацію для відділення адсорбенту.

Четвертий ступінь рафінації закладається в дезодорації – виділенні ароматичних і частково смакових речовин. В основі процесу лежить відгонка ароматичних речовин із водяною парою в спеціальних апаратах-дезодораторах.

Олію підігривають до 60 °С і подають у деаератор, де вона розпилюється у вакуумі та підігривається в тонкій плівці на поверхні змійовиків до 130-180 °С. Після олію нагрівають до 220-250 °С і подають у дезодоратор.

П'ятий ступінь рафінації здійснюється шляхом процесу виморожування – видалення воску. Воском покрито все насіння; це своєрідний захист від природних чинників. Віск надає олії каламутність, особливо при продажу на вулиці в холодний період року й тим самим псує її товарний вигляд.

Вінтеризація олії починається з її охолодження до 10-12 °С. Потім олія прямує до експозитора з рамною мішалкою. Тут протягом чотирьох годин відбувається кристалізація воску, розчиненого в олії. Потім олія підігрівається до температури 18-20 °С і відправляється на фільтрацію, де відділяють віск.

Температурні режими та апаратурне оформлення технологічних ліній може відрізнятися.

Рафінація жирів здійснюється безперервним або періодичним способами. Можлива їхнє комбінування в залежності від вирішуваних задач.

Безперервний спосіб рафінації характеризується введенням реагентів, їхнім змішуванням і проведенням реакцій в апаратах безперервної дії, з наступним розділенням фаз у відцентровому або гравітаційному полях.

Останній етап виробництва олії – це її розлив у пляшки та пакування за допомогою пакувальних стрічок.

### **1.3 Характеристика стічних вод підприємств з виробництва рослинних олій**

Використання води є одним із ключових питань охорони навколишнього середовища при виробництві продуктів харчування. На підприємствах олійно-екстракційної промисловості вода витрачається на зволоження олійної сировини, мокре шротовловлювання, охолодження закритої теплообмінної апаратури, вакуум-насоси, мийку обладнання та тари, брикетування лушпиння, підживлення оборотної системи, хімводоочищення. Крім того, вода витрачається на барометричні конденсатори, приготування розчинів, промивання олії, а також на лабораторні та господарсько-побутові потреби [3].

При виробництві рослинних олій процесами, що потребують значних об'ємів води, є отримання нерафінованої олії та рафінація рослинної олії. При виробництві нерафінованої олії з метою охолодження витрачається 0,2-12 м<sup>3</sup> води/тонну олії. При проведенні нейтралізації негідратованої олії споживання води становить в середньому 1-1,5 м<sup>3</sup> води/тонну нейтралізованої олії, при проведенні нейтралізації гідратованої олії – 0,6-1,0 м<sup>3</sup> води/тонну нейтралізованої олії. Споживання води при дезодорації нейтралізованої, вибіленої олії – 10-30 м<sup>3</sup> води/тонну дезодорованої олії за відсутності зворотного водопостачання [3-6].

Споживання води у виробництві отримання олії методом пресування є мінімальним.

З ростом виробництва, технічної оснащеності підприємств і підвищенням санітарних вимог загальні витрати води зростають. Відповідно збільшується й скид стічних вод.

На режим утворення (надходження) стічних вод, їхній склад і кількість впливають [4]:

- вид сировини, що переробляється;
- технологічний процес виробництва;
- кількість води, що споживається;
- місцеві умови тощо.

На підприємствах з переробки олійних культур здійснюється велика кількість технологічних операцій, внаслідок чого утворюються різні види забруднень. Стічні води утворюються від водовідокремлювачів та шламовипаровувачів екстракційного відділення, від цехових жировловлювачів, відділень гідратації, рафінації та розфасування олії. В олійно-пресовому цеху стічні води утворюються від очищення пресової та екстракційної олії на сепараторах. Також стічні води утворюються від конденсації водяної пари в конденсаторах і дефлегматорах [3].

Загальні витрати стічних вод коливаються в діапазоні від 15-20 до 4000 м<sup>3</sup> на добу [6].

Об'єм стічних вод залежить від виду джерела отримання олії та технології, що застосовується. В процесах отримання та рафінації харчової олії можливо



утворення стічних вод до 1,5 м<sup>3</sup> води на 1 тонну олії [3]. В табл. 1.2-1.3 наведено характеристики стічних вод при виробництві рослинної олії, отриманої від різних процесів і застосованого обладнання.

Таблиця 1.2 – Виробничі стічні води на стадіях переробки рослинної олії

Виробнича ділянка	Одиниці виміру	Об'єм стічних вод
Виробництво нерафінованої рослинної олії/жирів		
Переробка насіння Стічні води Вода для охолодження	м <sup>3</sup> /тонну насіння	0,2-1,5

Таблиця 1.3 – Характеристики стічних вод при рафінації рослинної олії

Виробнича ділянка	Одиниці виміру	Об'єм стічних вод
Стічні води від очищення обладнання	м <sup>3</sup> /тонну	до 0,05
Конденсовані випаровування при дезодорації	м <sup>3</sup> /тонну	до 0,1
Конденсовані випаровування при використанні парового ежектору (допоміжного пристрою) для створення вакууму при дезодорації	м <sup>3</sup> /тонну	0,24-0,42
Барометричний водозлив на вакуумній кінцевій стадії дистиляційної нейтралізації та дезодорації (без рециркуляції)	м <sup>3</sup> /тонну	0,24-0,42

Забруднення стічних вод підприємств з виробництва продуктів харчування, в основному, буває мінеральне, органічне, бактеріальне або біологічне.

Мінеральне забруднення містить пісок, глину, шлак, розчини мінеральних солей, кислот, лугів, олій тощо. Органічні забруднення бувають рослинного та тваринного походження. До забруднення рослинного походження відноситься папір, рослинні олії, залишки плодів, овочів; до забруднення тваринного походження – залишки жирових і м'язових тканин, клейові речовини тощо. Бактеріальне і біологічне забруднення являє собою різні живі мікроорганізми – дріжджові та плісняві грибки, водорості, патогенні бактерії.

В залежності від виду, методу та умов переробки жирової сировини та технологічних операцій в стічних водах можуть опинитися різні види жирових речовин. Стічні води олійно-екстракційного виробництва включають до себе жирні кислоти, а також, гліцериди, бензин, шрот, фосфатиди, мила, луги та інші супутні речовини [7].

Стоки підприємств з рафінування рослинних жирів для виробництва харчової олії складаються, в основному, з емульсій забруднених жирів, стабілізованого мила, отриманого з жирів і жирних кислот. Крім цього, в стічних водах присутні органічні кислоти та азотовмісні речовини, які після нейтралізації загнивають, утворюючи з білків, що розкладаються, і сульфатів, що відновлюються, сірководень [7].

Запах стічних вод неприємний, окислюваність невисока ( $49-354 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ ). Жир найчастіше присутній у вигляді рослинних олій, невеликі кількості яких покривають дзеркало води, ускладнюючи реаерацію і розчинення кисню.

Стічні води підприємств з виробництва продуктів харчування поділяють на наступні категорії [8]:

- виробничі забруднені – промивні (після промивання олії, сировини тощо) та мийні (після мийки фляг, бочок, технологічного обладнання, тістомісів, резервуарів, автоцистерн, приміщень);

- умовно чисті – незабруднені виробничі води (від холодильного та теплообмінного обладнання, вакуум-випарних апаратів);

- дощові та побутові (санвузли, їдальні та інші допоміжні приміщення).

Забруднені стічні води підприємств харчової промисловості містять, в основному, органічні речовини. Стічні води мають каламутний білуватий або жовтуватий колір. Потрапляючи до водойми без очищення, органічні речовини споживають для свого окислення велику кількість кисню, внаслідок чого різко погіршуються умови розвитку флори та фауни водойм. В стічних водах підприємств харчової промисловості містяться жири, розчини солей, кислот, а також механічні включення.

Об'єм забруднених стічних вод для цих підприємств складає 20-50% від загального стоку. Витрати незабруднених виробничих стічних вод, що спрямовуються до системи зворотного водопостачання або на повторне використання, складають 60-80% від загальних витрат води на підприємствах. Загальні витрати стічних вод коливаються в межах від 15-20 до 4000 м<sup>3</sup> за добу, побутові стоки складають 2-10% від загального стоку [3, 7].

#### **1.4 Характеристика очисних споруд олієвмісних стічних вод ТОВ «Українська Чорноморська індустрія»**

Необхідність очищення виробничих стічних вод на очисних спорудах ТОВ «Українська Чорноморська індустрія» викликана перевищенням в стічних водах цеху переробки сировини органічних і неорганічних забруднюючих речовин, які фіксуються через інтегральні показники БСК (біологічного споживання кисню) і ХСК (хімічного споживання кисню). Ці обставини не дозволяють відведення стічних вод на міські очисні споруди без попереднього очищення.

Таким чином, олієвміщуючі стічні води основного виробництва проходять передочищення на власних очисних спорудах, а потім, спільно з господарчо-побутовими стоками, передаються на очисні споруди міста Чорноморськ.

На очисних спорудах олієвміщуючих стічних вод впроваджена технологія обробки стоків, що заснована на механічних, фізико-хімічних і біологічних методах. Принципова технологічна схема очистки забруднених стічних вод підприємства наведена на рис. 1.3.

Потужність очисних споруд складає 10,5 м<sup>3</sup>/годину або 250 м<sup>3</sup>/добу (максимальна).

*Рис. 1.3 – Технологічна схема очистки олієвмісних стічних вод  
ТОВ «Українська Чорноморська індустрія»*

Стічні води екстракційного відділення по самопливній каналізаційній лінії через форсунки-розпилювачі надходять до блоку механічного очищення, що складається з жировловлювачів першого і другого ступеня, де відбувається затримання крупних включень, які потім накопичуються в збірниках жиру та відходів.

В жировловлювачі першого ступеня відбувається зменшення температури, первинне випадання крупнодисперсних частинок, спливання плівкових жирів.

В жируловлювачі другого ступеня вловлюються легкі плаваючі емульговані речовини, випадають в осад крупнодисперсні домішки, що не встигли осісти в жировловлювачі першого ступеня, завислі речовини.

Виділення зібраного осаду з жировловлювачів першого та другого ступеня здійснюється за допомогою гідроробота в ресивері, після якого вони скидаються в збірник відходів.

Потім попередньо очищені стічні води надходять на усереднювач-охолоджувач, де відбувається їхнє усереднення по витраті та концентрації, зниження температури за рахунок рециркуляції охолоджувальної рідини через теплообмінник.

На вході в усереднювач-охолоджувач передбачається приймальна камера, що призначена для можливого спливання залишків жиру, які по мірі накопичення видаляються механічним шляхом у збірник жиру. Осад, що утворюється в усереднювачі-охолоджувачі, зануреним насосом періодично перекачується в збірник відходів або на вхід біореактору.

Охолоджені та усереднені стоки самопливом через спеціальну систему підтримання постійних витрат надходять до блоку багатосекційних анаеробних біореакторів, де відбувається деструкція (розкладання) органічних забруднень за допомогою мікроорганізмів вільно-плаваючого активного мулу або мікроорганізмів, які знаходяться на закріпленій біоплівці матерчатих біоносіїв. Осад, що утворюється при цьому, по мірі накопичення дренажним переносним насосом перекачується в ємність промивної води та осаду.

Після біологічного очищення вода самопливом надходить до усереднювача, звідки насосною групою перекачується на два паралельно працюючих блочно-модульних водоочисних комплекси, які працюють наступним чином: стоки насосною групою через змішувач з камерою «газового шару» подаються на флотатор, після чого надходять до освітлювача (тонкошарового відстійника).

У блочно-модульних водоочисних комплексах забезпечується глибоке очищення стічних вод від дрібнодисперсних емульгованих частинок олії та завислих речовин.

У приймальну «кишеню» змішувача подається розчин коагулянту і розчин флокулянту з відповідних витратних баків реагентного господарства, а в камеру «газового шару» подається робоча рідина для напірної флотації із сатуратору і розчин лугу з витратного баку лугу.

Дані процеси забезпечують:

- виділення забруднень за допомогою коагулянту, що має високі сорбційні властивості;
- утворення флотокомплексів;
- підвищення рН води, яка оброблюється.

Застосування луги передбачено з метою повного виділення з води, яка очищується, нерозчинених сполук коагулянту, які потім у камері «газового шару» взаємодіють з пухирцями повітря (виділяються з робочої рідини для напірної флотації при зниженні тиску з надлишкового до атмосферного).

Флотокомплекси, що утворюються, виносяться потоком у флотатор, де вони спливають, утворюючи пінний шар, який гідророботом переноситься в ємність для збору шламу. Після флотації вода, яка утримує дрібні частинки нерозчинених сполук, надходять до освітлювача, яким є тонкошаровий відстійник, де відбувається укрупнення частинок, їхнє осадження та накопичення у відстійній частині.

Після відстійника вода самопливом надходить у першу секцію баку очищеної води, потім у другу секцію, звідки насосом перекачується для подальшого очищення в міську каналізаційну мережу міста Чорноморськ.

При роботі очисних споруд протягом 7920 годин/рік з продуктивністю 10,5 м<sup>3</sup>/годину вловлюється 7,5 тонн/рік осадів, без врахування зневодненості, що накопичуються в збірнику осаду.

В збірнику жиру екстракційного відділення орієнтовно збирається суміш білково-жирової фракції (органічних сполук) у кількості 18 тонн/рік.

Якість стічних вод, що утворюються внаслідок виробничої діяльності на підприємстві ТОВ «Українська Чорноморська індустрія», за основними показниками після очищення на очисних спорудах за існуючою технологією наведена в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Основні показники якості стічних вод після очищення на очисних спорудах ТОВ «Українська Чорноморська індустрія» за існуючою технологією

Узагальнені показники очистки олієвміщуючих стічних вод на очисних спорудах масло-екстракційного заводу за існуючою на підприємстві технологічною схемою наведені в табл. 1.5. Для порівняння якості стічних вод виробництва після їхнього очищення з нормативними показниками, що пред'являються до скиду в міську каналізаційну мережу КП «Чорноморськводоканал», в табл. 1.5 наведено значення погоджених концентрації забруднюючих речовин [9].

Таблиця 1.5 – Показники очистки олієвміщуючих стічних вод на очисних спорудах (повний цикл очистки потужністю 10,5 м<sup>3</sup>/годину)

Очищений стік за своїм складом відповідає нормам прийому на міські очисні споруди КП «Чорноморськводоканал». Його надходження не чинитиме негативного впливу на ефективність проходження процесів біохімічного руйнування забруднюючих речовин.

## **1.5 Природоохоронні заходи та методи щодо захисту водних об'єктів від скиду забруднених стічних вод підприємств харчової промисловості**

Для захисту водойм від забруднення стічними водами промислових підприємств застосовують комплекс заходів, вибір яких визначається, в основному, характеристикою джерела утворення стічних вод, об'ємом і складом стічних вод. Повний перелік заходів щодо захисту водойм визначається законодавчо-нормативними документами.

На підприємствах харчової промисловості здійснюють наступні заходи щодо захисту водойм [3, 10-13]:

- технологічні;
- застосування повторного та оборотного водопостачання;
- планувальні;
- розбавлення стічних вод;
- очистка стічних вод;
- організація контролю складу стічних вод і впливу стоків на санітарний режим водойм.

Технологічні заходи включають розробку та застосування безвідходних або маловідходних технологічних процесів, максимальне використання та утилізацію різних компонентів сировини та побічних продуктів. Ці заходи дозволяють знизити вміст речовин (жирів, органічних сполук тощо) в стічних водах.

Повторне та оборотне водопостачання безпосередньо пов'язано з технологічними заходами. При повторному водопостачанні воду після використання в будь-якому технологічному процесі, що зберегла достатні якісні показники, без проміжної обробки використовують знову для виробництва. Наприклад, конденсат можна використовувати для мийки підлоги, обладнання. При оборотному водопостачанні воду після використання піддають спеціальній обробці (очищенню, охолодженню, підігріву тощо), після чого знову використовують на виробничі потреби. Оборотне водопостачання широко застосовують у холодильних агрегатах, пастеризаційно-охолоджувальних

апаратах, а також в процесах, де немає безпосереднього контакту води з продукцією, оскільки до якості води для технологічних операцій в харчовій промисловості пред'являються підвищені вимоги.

Планувальні заходи полягають в обліку гідрогеологічних умов при плануванні підприємства, а також проектуванні необхідного комплексу очисних споруд в залежності від місцевих умов: наявності міських очисних споруд (їхній склад та потужність), необхідності скиду стічних вод безпосередньо у водойму (облік місця скиду та водозабору, швидкості проточної водойми тощо) або необхідності прийняття на очисні споруди підприємства стічних вод від інших джерел.

Розбавлення стічних вод природною водою здійснюється при безпосередньому випуску стічної води у водойму після очисних споруд підприємства. При визначенні необхідного ступеня очищення враховують здатність водойм до самоочищення, завдяки якому відбуваються процеси зниження концентрації органічних і мінеральних забруднень. Процеси самоочищення залежать від швидкості та повноти змішування стічних вод з водою водойми. Процес самоочищення залежить від багатьох умов (зосереджений або розсіюючий випуск, вплив течії, вітрових нагонів води тощо).

Очищення стічних вод проводять з метою вилучення з них або нейтралізації різних речовин – мінеральної або органічної зависі, органічних розчинених речовин, біологічних забруднень. Підприємства харчової промисловості зобов'язані здійснювати очистку стічних вод, однак склад очисних споруд і вимоги до них залежать від типу та потужності підприємства, а також від місцевих умов.

Складовою частиною санітарно-технічних систем кожного підприємства є комплекс каналізаційних мереж, санітарних та інженерних споруд для збору та відведення з території підприємства забруднених відпрацьованих вод, що включають очищення стічних вод і вилучення з них цінних речовин в домішок, а також знезараження та знешкодження.



Всі очисні споруди класифікують в залежності від місця розташування та метода, що використовується. За місцем розташування очисні споруди класифікують на локальні (цехові), загальні (заводські) та районні або міські. Локальні (цехові) очисні споруди призначені для обробки стічних вод відразу ж після технологічного обладнання, окремих ділянок і цехів [14].

Установки локальної очистки входять в технологічні лінії виробництва.

Загальнозаводські очисні споруди є загальними для забруднених стічних вод різних цехів підприємства. Після них доочищення стічних вод відбувається на міських або районних спорудах.

Вибір методу очистки, типу очисних споруд та їхня ефективність залежать від об'єму стоків, концентрації забруднювачів, нерівномірності витрат, вимог до якості очищеної води, наявності та складу районних або міських очисних споруд тощо, а також від місцевих умов з урахуванням можливого використання очищеної води для промислових потреб.

Стічні води підприємств мають високу концентрацію забруднювачів за вмістом завислих речовин, жирів та органічних домішок. Ці показники в 10-20 разів перевищують концентрації забруднень міських стоків. Саме тому стічні води підприємств харчової промисловості повинні очищатися на території виробництва.

Для очищення стічних вод підприємств з виробництва рослинної олії, що містять значну кількість органічних речовин, застосовують споруди первинної (механічної, фізико-хімічної, електрохімічної) та вторинної (біологічної) очистки [15-18].

Механічну очистку застосовують для вилучення зі стічних вод нерозчинних домішок.

Механічна очистка стічних вод в більшості випадків є попередньою стадією очисних споруд підприємства [19]. При механічному очищенні вдається вилучити до 60-80% нерозчинених забруднень. Механічний метод очистки застосовують для видалення зі стічних вод нерозчинених домішок відстоюванням, проціджуванням, фільтруванням тощо. На даній стадії очистки використовують

різні очисні споруди: решітки, сітки, пісковловлювачі, відстійники, жировловлювачі, нафтовловлювачі, сепаратори, різні фільтри.

Практично всі підприємства масложирової промисловості мають цехові або дворові жировловлювачі первинної очистки стічних вод. На рис. 1.4 в наведена конструкція горизонтального жировловлювача.

***Рис. 1.4 – Схема горизонтального жировловлювача***

Стічна вода з окремо розташованої розподільчої камери надходить по самостійним трубопроводам через щілинну перегородку в кожен секцію. Звільнена від жиру вода в кінці секції проходить під затопленою стінкою та через водозлив переливається в трубопровід, що відводить очищену воду. Спливаючий жир переміщується скребковим механізмом до щілинних поворотних труб і відводиться по ним із секції. Товщина шару спливаючого жиропродукту може досягати 0,1 м.

Осад, що осаджується на дно, тим самим транспортером згрібається до приямка, звідки його гідроелеваторами періодично видаляють по мулопроводу.

Висота шару води в жировловлювачах складає 1,2-2 м. Розрахункова тривалість відстоювання повинна бути не менше 2 годин, швидкість руху води приймається 3-10 мм/с.

В теперішній час застосовують жировловлювачі різних модифікацій. Тривалість обробки стоків від 15 до 30 хвилин. Видалення жиропродуктів відбувається механічним і механізованим способом.

Однак, звичайні жировловлювачі в багатьох випадках не забезпечують належного знежирювання через особливі умови розподілення жиру у вигляді тонких плівок на поверхні води. Механічна очистка, навіть при дотриманні необхідного часу відстоювання, дає ефективність очищення по жировим речовинам не вище 40-50%.

Інтенсифікувати процес осадження завислих речовин дозволяє застосування відкритих і напірних гідроциклонів [20].

Гідроциклони застосовуються для виділення зі стічних вод:

- піску, глини та інших мінеральних компонентів;
- компонентів формувальної землі (ливарне виробництво);
- жиру та твердої фази мінерального й органічного походження;
- нафтопродуктів і шламу (нафтопромисли);
- частинок мінерального походження (свинарські промислові комплекси).

Для вилучення зі стічних вод нерозчинених, тонкодиспергованих твердих або рідких домішок, що погано піддаються відстоюванню, застосовують фільтрування та флотацію [21].

Процес фільтрування проводять пропусканням рідини через пористі перегородки, що затримують дисперговані речовини.

Процес відбувається за рахунок різниці тиску перед фільтруючим шаром і за ним. В якості пористих перегородок застосовують металеві листи та сітки, тканини, різні зернисті матеріали – кварцовий пісок, антрацит, щебінь тощо. По закінченню робочого циклу промивання (регенерацію) перегородки проводять очищеною водою, подаючи її в напрямку, протилежному руху стоків в процесі очищення.

З фізико-хімічних способів очистки найбільш розповсюдженими є флотаційний та сорбційний методи, а також реагентний.

Найбільше розповсюдження для очищення стоків харчової промисловості отримала напірна реагентна флотація [4, 20, 21].

Флотатор (рис. 1.5) дозволяє використання в системах багатоступінчастої очистки стічних вод в якості проміжної ланки для підвищення ступеня очистки або продуктивності.

Перевагами процесу флотації є безперервність процесу, невеликі витрати, простота апаратурного оформлення, селективність, високий ступінь очищення (85-95%), можливість рекуперації вловлених часточок. Методом флотації можна видаляти зі стічних вод розчинені поверхнево-активні речовини, завислі речовини, олії (жири).

*Рис. 1.5 – Принципова схема флотаційної установки*

Сутність флотації полягає в наступному. Стічна вода насичується газом, найчастіше повітрям. Підіймаючись вгору, бульбашки повітря злипаються з диспергованими у воді твердими частинками, і на поверхні води виникає шар піни з більш високою концентрацією часточок, ніж у вихідній стічній воді, завдяки чому підвищується ступінь вилучення цих частинок. Далі шар піни видаляється з апарату, а стічна вода надходить на наступну стадію обробки.

Забруднена вода за допомогою подавального насоса (2) через колектор подачі стічної води (5) надходить у приймальну камеру флотатора (11). В приймальній камері (11) стічна вода піддається первинній флотації. Також відбувається часткове осадження частинок у конус (відстійник) (18) приймальної камері. Утворений осад видаляється через загальний злив (19) вручну (під час планового технічного обслуговування установки). Потім забруднена вода проходить під шламовою ємністю (12) у флотаційну камеру (15) з ламінуючими пластинами (16) та змішується з сатурованою оборотною водою, що надходить по колектору (21) через сопла, діаметром 3 мм, тим самим починаючи процес основної флотації. Далі вода проходить через тонкошаровий модуль (17) і надходить у ємність очищеної оборотної води (20), і далі через зливний лоток (24) йде на вихід.

Шламова піна з поверхні води збирається шламовим скребком (13) в шламову ємність (12). Шламовий скребок працює від привода (14).

Насосний агрегат (23) забирає очищену воду з ємності очищеної води (20) і під тиском від 5 до 6 кг/см<sup>2</sup> подає на повітровіддільник (26). Частина води повертається по байпасній лінії насоса через ежектор, де за рахунок створеного розрідження відбувається забір повітря через трубку (27) і при необхідності реагенту. З повітровіддільника (26) вода надходить у колектор (21). Залишок води через колектор (7) надходить разом із нерозчиненим повітрям у приймальну камеру флотатора (11), де перемішується з брудною водою, насичуючи її повітрям.

Для покращення якості очистки можливо введення у воду, що очищається, хімічних реагентів, які сприяють утворенню стійких пластівців з наступною флотацією та фільтрацією. Вид реагенту залежить від виду забруднення та визначається інженером-технологом.

Флотаційна установка обладнана витяжною вентиляцією. Вона складається з колектора (8), закріпленого на рамі (10), та вентилятора (9).

Для підвищення ефективності очищення стічних вод перед флотацією застосовують реагентний метод. Обробка стоків коагулянтами і флокулянтами полегшує видалення завислих речовин і колоїдів шляхом їхнього концентрування у вигляді пластівців (флокул) з наступним відділенням у системах відстоювання, флотації та/або фільтрації.

Найбільше застосування в якості коагулянтів отримали сульфат алюмінію, гідроксохлорид алюмінію та хлорид заліза (III). В кілька меншому масштабі застосовуються сульфати заліза, змішані коагулянти у вигляді солей алюмінію та заліза. В меншій кількості використовують алюмоамонійні та алюмокалієві квасци. Підвищується використання коагулянтів, в першу чергу, заліза й алюмінію, що отримують електрохімічним способом [3, 4].

Реагентна обробка стоків рафінаційної ділянки масложирового підприємства дозволяє ефективно їх освітлити. Ступінь очищення по ХСК і БСК<sub>5</sub> становить більше 65 і 45% відповідно, по завислим речовинам – більше 45%.

Всім реагентним методам при всіх їх перевагах властиві загальні недоліки, а саме: потреба в реагентах, малоефективність при наявності кількох видів забруднення, чутливість до змін технології, складнощі в реалізації продукту очищення. Це призводить до накопичення жиромаси і, в кінцевому рахунку, до зупинки очисних споруд.

В теперішній час крім фізичних і фізико-хімічних методів очищення широко застосовується біологічний метод, заснований на життєдіяльності мікроорганізмів – деструкторів жирових речовин [22].

Біологічна очистка стічних вод заснована на здатності мікроорганізмів використовувати розчинені та колоїдні органічні забруднення в якості джерела

харчування в процесах своєї життєдіяльності. Вона має ряд важливих переваг перед іншими методами. Мікроорганізми здійснюють повну деструкцію забруднення до газоподібних продуктів і води, забезпечуючи тим самим кругообіг елементів в природі. Таким чином, при біологічному очищенні на відміну від інших способів не відбувається концентрації забруднень або переводу їх в іншу форму. В той же час біологічні методи найбільш економічні, оскільки за виключенням основних капіталовкладень майже не потребують витрат під час експлуатації споруд, а головний діючий компонент біологічного очищення – активний мул – самовідновлюється.

З врахуванням тієї обставини, що стічні води, які містять жирові речовини, мають, в основному, підвищену температуру, селектовано кілька видів термофільних мікроорганізмів, здатних руйнувати жири при температурі вище 50 °С. До таких культур відносяться *Acinetobacter species*, *Rhodococcus species*. Ефект очищення при такому способі досягає 100% [23].

Для біологічного очищення стічних вод застосовують спеціальні очисні споруди аеробного (аеротенки, біофільтри) або анаеробного (метантенки) типу. В аеротенках органічні забруднення стічних вод руйнуються мікроорганізмами активного мулу до простих продуктів.

Активний мул являє собою комплексний біоценоз, в склад якого входять мікроорганізми, найпростіші та деякі інші живі організми, які не відіграють ролі в очищенні. Однією з найважливіших властивостей активного мулу є здатність утворювати пластівці. Ці пластівці складаються з частинок органічних забруднень, мікробів та інших живих істот. Завдяки здатності до утворення пластівців активний мул відділяється від очищеної ним води, осаджується і може бути видалений зі споруди. Звільнена від мікрофлори та знезаражена вода прямує до природних водойм.

## **2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД МАСЛО-ЕКСТРАКЦІЙНОГО ЗАВОДУ НА ОСНОВІ ЇХНЬОГО ДООЧИЩЕННЯ МЕТОДОМ СОРБЦІЇ**

Сьогодні спостерігається чітка тенденція в бік посилення норм за вмістом забруднюючих речовин у стічних водах підприємств харчової промисловості, в першу чергу, жиропродуктів. Типові жировловлювачі заданої продуктивності в більшості випадків не можуть забезпечити ступінь очищення вище 25 мг/дм<sup>3</sup>.

За умови пред'явлення більш жорстких вимог до вмісту жирів існують два шляхи вирішення проблеми:

- встановлення жировловлювачів значно більшого об'єму від розрахункового;
- доукомплектація жировловлювача сорбційним фільтром з вугільним наповнювачем.

Перший шлях веде до більш значного подорожчання обладнання та монтажних робіт, внаслідок трьох-, чотирьох-, а іноді й п'ятикратного збільшення робочого об'єму для досягнення необхідних показників. Але, навіть і в цьому випадку, гарантувати вміст жиропродуктів на виході нижче 5 мг/дм<sup>3</sup> неможливо.

Другий шлях – найбільш виправданий з точки зору техніко-економічної доцільності. Сорбційний блок немає надзвичайного об'єму, простий у монтажі, практично не потребує обслуговування та забезпечує майже нульовий вміст жиропродуктів у складі стічних вод підприємства на виході з очисних споруд.

### **2.1 Характеристика сорбційного метода доочищення стічних вод**

Сорбція – це процес поглинання твердим тілом або рідиною речовини з оточуючого середовища. Тіло, що поглинає, називається сорбентом, а речовина, що їм поглинається, – сорбатом.

Сорбційні методи доволі ефективні для вилучення зі стічних вод корисних розчинених речовин з їхньою наступною утилізацією і для використання

очищених стоків в системі оборотного водопостачання промислових підприємств [4, 5, 15, 20, 21, 24].

Сорбція широко застосовується для глибокого очищення стічних вод в хімічній, нафтохімічній промисловості, на транспорті, кольоровій та чорній металургії та інших галузях промисловості.

В багатьох випадках без цього методу неможливо витримати санітарні вимоги щодо збереження чистоти водойм або технічні умови на якість води при повторному використанні стічних вод у замкнутих системах водного господарства підприємств.

Вивчення можливості сорбційної обробки більш ніж трьохсот видів стічних вод чотирнадцяти галузей промисловості показало, що в усіх випадках вдається вилучити з них більш 99% фенолів, а в дев'яти випадках із 10 – видалити більше 95% речовин, що надають воді кольоровість, і 90% органічного вуглецю. Таким чином, сорбція є практично універсальним методом очищення води.

Застосовують три види сорбції:

– Адсорбція – поглинання речовини поверхнею, найчастіше, твердого поглинача. Апарати, в яких відбувається адсорбція, називаються адсорберами.

– Абсорбція – поглинання, що супроводжується дифузією поглиненої речовини вглиб сорбенту з утворенням розчинів. В більшості випадків абсорбції поглиначем є рідина. Апарати, в яких відбувається цей процес, називаються абсорберами або скруберами.

– Хемосорбція – адсорбція, що супроводжується хімічним впливом речовини, що поглинається, з сорбентом. Хемосорбція застосовується в техніці при поглинанні двооксиду вуглецю, оксиду азоту, аміаку тощо. Процес здійснюється, зазвичай, у вежах або колонах, заповнених пористою насадкою, через яку фільтрується очищена стічна вода.

В загальному випадку процес адсорбції складається з трьох стадій:

1 стадія – перенос речовини (речовин) зі стічних вод до поверхні зерен адсорбенту;

2 стадія – власно адсорбційний процес;



3 стадія – перенос речовини всередині зерен адсорбенту.

Технічно сорбційну очистку стічних вод здійснюють двома шляхами – в статистичних і динамічних умовах. Сорбція в статистичних умовах полягає в інтенсивному переміщенні порцій води з сорбентом, що до неї додається, і наступним відділенням сорбенту від води відстоюванням або фільтруванням. Відпрацьований сорбент спрямовують на регенерацію.

Процес проводиться в одну, але частіше в кілька ступенів. Одноступінчасту очистку застосовують при невеликих вихідних концентраціях забруднень, коли необхідно мало сорбенту, або в тих випадках, коли сорбент дешевий та легко доступний.

При багатоступінчастій сорбції за рахунок введення нових порцій сорбенту постійно підтримується певна різниця концентрацій речовини, що вилучається з води, та сорбенту, що збільшує швидкість сорбції та вимагає менших витрат сорбенту, ніж при очистці в одну ступінь.

Багатоступінчаста сорбція здійснюється з послідовним або протиточним введенням сорбенту.

В протиточній схемі адсорбент вводять однократно в останню ступінь і він рухається назустріч стічній воді. По схемі процес очищення ведуть безперервно при значно менших витратах адсорбенту, ніж по схемі з послідовним введенням сорбенту. Однак ця установка дорожче та складніше в експлуатації.

Сорбція в динамічних умовах здійснюється фільтруванням стічних вод через завантаження сорбенту. Такий спосіб має великі технологічні, експлуатаційні та економічні переваги, в порівнянні з сорбцією в статистичних умовах. Процес краще піддається автоматизації, немає необхідності в окремих пристроях для регенерації сорбенту, оскільки він регенерується в тих самих ємкостях, де відбувається фільтрація води. Зазвичай сорбційна установка являє собою кілька паралельно працюючих секцій, що складаються з трьох-п'яти послідовно розташованих фільтрів, що дозволяє вимикати на регенерацію окремі фільтри після насичення їхнього завантаження. Оскільки при фільтрації сорбційна ємкість сорбенту вичерпується постійно (спочатку у верхніх шарах, потім – в середніх і,

нарешті, в нижніх), то тривалість фільтрації визначається часом, після якого починається виніс розчинених речовин («проскок») в неприпустимих концентраціях. Цей час називають часом захисної дії фільтра.

В залежності від дисперсного складу сорбенту, а також призначення сорбційного метода очищення можливі виділити наступні основні схеми сорбційної очистки та конструкції адсорберів [25]:

1. Адсорбери з нерухомим або рухомим завантаженням, через яке водний потік фільтрується або низхідним потоком із швидкістю до 20 м/годину, або висхідним – зі швидкістю до 12 м/годину; застосовується для фракцій 0,8-5 мм.

2. Адсорбери з псевдозрідженим завантаженням, розширення шару якого здійснюється не менше, ніж на 50% висхідним потоком води зі швидкістю 10-40 м/годину; застосовується для фракцій 0,25-2,5 мм.

3. Адсорбери-змішувачі застосовуються для фракцій 0,05-0,5 мм.

4. Патронні адсорбери з фільтруванням води зі швидкістю 1-12 м/годину через шар адсорбенту товщиною 0,5-2 см; застосовуються для фракцій 0,02-1 мм та менше.

Запропоновані схеми дозволяють обирати адсорбенти для очищення стічних вод в залежності від реальних умов підприємства. Так, адсорбери I типу можуть застосовуватися при проектуванні очистки будь-яких об'ємів стічної води самого широкого спектра концентрацій та хімічної будови домішок, що вилучаються.

Адсорбери II типу найбільш доцільно застосовувати для очищення невеликих об'ємів води з забрудненнями, що добре сорбуються, і при високому вмісті завислих речовин. Стічна вода подається знизу, а сорбент – згори.

Адсорбери III типу ефективно використовувати для очищення невеликих об'ємів висококонцентрованих стічних вод. На кожній ступені здійснюється перемішування сорбенту зі стічною водою і реагентом (коагулянтами та флокулянтами), утворення пластівців і відстоювання. Стічна вода з відстійника останньої ступені фільтрується через піщаний фільтр для затримання сорбенту, який неможливо відділити відстоюванням.

Адсорбери IV типу ефективно використовувати для очищення невеликих об'ємів низькоконцентрованих стічних вод (5-10 мг/л домішок, що вилучаються).

В теперішній час для очищення, в основному, застосовуються циліндричні однарусні адсорбери, в які завантажуються активоване вугілля висотою 2,5-2,7 м і крупністю фракцій 0,25-1 мм. У всіх випадках сорбційна обробка води можлива в одну або кілька послідовних ступенів при експлуатації необмеженої кількості паралельних технологічних ліній.

Після адсорбційного очищення стає можливим повторне використання стічних вод у системі оборотного водопостачання. Застосування технологічних стічних вод в системі оборотного водопостачання вирішує не тільки задачу економії свіжої води, але й радикального оздоровлення водойм.

До переваг метода глибокого сорбційного очищення стічних вод можна віднести:

- в цьому пристрою сумісні як механічний, так і хімічний способи очищення води;
- можливість вилучення забруднень надзвичайно широкої природи практично до будь-якої залишкової концентрації, незалежно від їхньої хімічної стійкості та керованість процесом;
- простота та невибагливість в обслуговуванні;
- широкий температурний діапазон експлуатації;
- за вартістю набагато дешевший, ніж іонообмінні та мембранні конструкції;
- можливість створення систем з потоком більшої потужності;
- відсутність роботи хімічно активних речовин, не наносить шкоди навколишньому середовищу;
- в якості робочої зони часто виступають природні матеріали;
- здатність суміщення процесу з аерацією, і, як наслідок, знезалізнення води.

Недоліками метода глибокого сорбційного очищення стічних вод є:

- великі габарити конструкції;

- необхідність періодичної заміни складових;
- неможливість усунення частини забруднень і мікрофлори (бактерії та віруси). Під час порушення режиму експлуатації здатен стати сприятливим середовищем для розвитку одноклітинних.

## 2.2 Характеристика сорбентів

В якості сорбентів застосовуються різні штучні та природні пористі матеріали, що мають розвинуту або специфічну поверхню [24]. Найбільш ефективними сорбентами є активоване вугілля різних марок.

### Синтетичні сорбенти.

#### *Активоване вугілля та вуглецеві волокнисті матеріали*

Найбільш важливими показниками сорбентів є пористість, структура пор, хімічний склад.

Пористість активованого вугілля складає 60-75%, а питома площа поверхні – 400-900 м<sup>2</sup>/г. Адсорбційні властивості активованого вугілля в значній мірі залежать від структури пор, їхньої величини, розподілу за розмірами. В залежності від переважаючого розміру пор активованого вугілля поділяються на крупно- і дрібнопористі та змішаного типу. Пори за розміром поділяються на три види: макропори розміром 0,1-2 мкм, перехідні (мезопори або супермікропори) розміром 0,0015-0,004 мкм, мікропори розміром менше 0,0015 мкм.

Розчинені органічні речовини мають розмір частинок менше 0,0015 мкм. Вони заповнюють об'єм мікропор сорбенту, повна питома місткість яких відповідає поглинаючої здатності сорбенту, тому об'єм мікропор є однією з найважливіших характеристик і наводиться для відповідних марок активованого вугілля. Макропори та перехідні пори відіграють, як правило, роль транспортуючих каналів, а сорбційна здатність активованого вугілля визначається, в основному, мікропористою структурою.

Для сорбційної очистки стічних вод застосовують гранульоване (ГАВ) і порошкоподібне (ПАВ) вугілля, а також вуглецеві волокна.

Гранульоване активоване вугілля (ГАВ) мають розмір частинок 0,07-7 мм і може мимоволі відділятися від води та регенеруючого середовища. Структура активованого вугілля нагадує структуру деревини, порожнечі якої з'єднані між собою.

Вихідною сировиною для виробництва активованого вугілля може служити практично будь-який вуглецевмісний матеріал: вугілля, деревина, полімери, відходи харчової, целюлозно-паперової та інших галузей промисловості.

За способом виробництва активоване вугілля поділяється на дроблене – БАУ, ДАК, КАД – і власне гранульоване – АГ-3, АГ-5, СКГ.

Сировиною для отримання активованого антрациту (АА) служить антрацит із зольністю не більше 3-5% і розміром зерен 6-13 мм.

Вуглецево-волокнисті матеріали (ВВМ) мають більш високу сорбційну здатність і підвищену (в порівнянні з активованим вугіллям) питому поверхню – до 2000 м<sup>2</sup>/г, а головне широкі можливості для інженерного оформлення сорбційного процесу з використанням ВВМ.

На основі волокнистого активованого вугілля (ВАВ) можуть бути створені матеріали для очищення питної та стічної води, а також продуктів харчування.

Волокнисті вугільні сорбенти БАВ-1 и ВУН мають здатність сорбувати зі стічних вод хром (III, VI). Вуглецеві сорбенти марок бусофіт та АУМВ-Дніпро являють собою активовану вуглецеву тканину. Вони відносяться до третього покоління вуглецевих сорбентів. Це продукт переробки целюлозних волокон за оригінальною технологією.

Іншою широко використовуваною властивістю активованого вугілля є його каталітична дія, особливо на реакцію води з вільним хлором. Цей метод використовується для дехлорування води, що оброблюється надлишковими дозами хлору.

В теперішній час для очищення водопровідної, питної та стічних вод від нафтопродуктів застосовують вугільний сорбент із терморозширеного графіту.

*Сорбенти з відходів виробництва і хімічних продуктів.*

В промисловості та міському господарстві утворюється щодня велика кількість органічних і неорганічних відходів, які можна утилізувати для виробництва сорбентів, придатних для очищення води.

Зола ТЕЦ може бути використана в якості сорбенту для очищення стічних вод прилеглих підприємств. Вона являє собою складний сорбент, що складається з муліту, кварцу, неоднорідної за складом фази, що нагадує цеоліт, та незгорілих частинок вугілля.

Сорбційна ємкість золи невелика: за міддю 15-20, за цинком 7-10 і за свинцем 4-7 мг/г. В той же час для нафтопродуктів і миш'яку доволі висока. Так, при витратах золи 3-5 г/дм<sup>3</sup> стічної води очищення від нафтопродуктів і миш'яку складає, відповідно, 70-75% і 90-94%. Змішані з золою промислові стічні води відстоюються скоріше і придатні для повторного використання.

Для очищення та доочищення ртутьвмісних стічних вод застосовується сорбент, що містить вуглець (відхід виробництва), який умовно називається «коксиком». Зразки «коксикому», модифіковані сірководнем і сульфідом натрію в умовах поглибленої парогазової активації мали повну динамічну ємкість за ртуттю 20,3 мг/г при концентрації ртуті в стічних водах 14,6 мг/дм<sup>3</sup>. Значення повної динамічної ємкості сорбенту на стадії доочищення (при концентрації ртуті в стічній воді 0,47 мг/дм<sup>3</sup>) було 0,62 мг/г, динамічна ємкість до «проскоку» – 0,5 мг/г.

Шлаки, шлами та інші відходи металургійного виробництва є гарними сорбентами, оскільки в їхній склад входять різні полікремнієві кислоти. Так, найбільш активний ферохромовий шлак має ємкість за міддю 90-100 і за цинком 50-60 мг/г. Шлаки, що містять до 40% окислів заліза, дозволяють очистити стічні води від миш'яку на 99-99,5%. Гранульований шлак очищує стоки від нікелю на 99-99,6%, вміст нікелю в сорбенті складає 23-24 мг/г.

Гумова крихта може бути рекомендована в якості сорбентів міді та хрому.

Концентровані стічні води та осад целюлозно-паперової та гідролізної промисловості є крупними джерелами сировини для виготовлення сорбентів.

Найбільшу сорбційну здатність до іонів міді та нікелю мають полімери на основі натрієвої соли карбоксиметилцелюлози, практично не вилучаючи іони інших металів.

Для очищення стічних вод цікаві вуглецеві сорбенти, які отримуються з надлишкового активного мулу, що містить більше 50% вуглецю.

Для очищення стічних вод від сполук миш'яку в хімічній промисловості та кольоровій металургії застосовуються деревинно-неорганічні сорбенти, які являють собою деревинні гранули, покриті неорганічними речовинами.

Високопористі полімерні сорбенти серії «Поролас ГМ» є ефективними поглиначами органічних речовин. Вони являють собою гранульовані сітчасті сополімери з питомою поверхнею від 200 до 600 м<sup>2</sup>/г.

Акриламідні гідрогелі сорбують іони перехідних металів із стічних вод, особливо іони заліза, хрому та нікелю.

Для сорбції радіонуклідів із стічних вод можуть бути застосовані продукти деструкції торфу.

Для очищення стічних вод від ароматичних вуглеводнів (бензолу, толуолу, фенолу, нітробензолу тощо) застосовують «Полісорб 60/100» – пористий полімерний сорбент. Це гідрофобний сополімер стирол-дивінілбензолу з питомою поверхнею 380 м<sup>2</sup>/г.

Для очищення оліє- та нафтовмісних конденсатів застосовують в якості фільтруючого завантаження гранульований еластичний пінополіуретан. Вміст олієнафтопродуктів знижується з 12,5-226 до 0,5-10,9 мг/дм<sup>3</sup>. Разом із очищенням від олієнафтопродуктів відбувається концентрування на пінополіуретані заліза, яке знаходиться у вигляді нерозчинених сполук.

В США розроблено спосіб, заснований на послідовній обробці стічних вод 0,25-0,5%-вим розчином їдкого лугу до рН 7-9 та невеликою кількістю (0,3-1,3 масового відсотку) гідратованого аморфного силікату магнію (ГАСМ). Обробку стоків здійснюють перемішуванням з ГАСМ протягом часу, достатнього для утворення комплексів типу «метал – ГАСМ». Отриманий осад легко відділяється

від рідкої фази фільтруванням. При вихідній концентрації іонів важких металів до 1500 мг/л їхня остаточна кількість не перевищує 0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

Для адсорбції важких металів застосовуються сільськогосподарські відходи, зокрема, лушпиння цибулі. Внаслідок фільтрування стоків, що містять 40 мг/дм<sup>3</sup> міді, 270 мг/дм<sup>3</sup> свинцю, 100 мг/дм<sup>3</sup> цинку та 130 мг/дм<sup>3</sup> кадмію, через шар модифікованих часточок лушпиння цибулі концентрація металів, відповідно, знижується до 0,12; 0,15; 0,25 та 0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

#### Природні сорбенти.

Застосування природних сорбентів для очищення стічних вод доволі перспективно, головним чином через їхню дешевизну. Механізм процесу сорбції на природних неорганічних сорбентах може носити молекулярний характер, аналогічний сорбції на активованому вугіллі, іонообмінний, аналогічний процесам, що відбуваються при іонному обміні або хемосорбційний. Найчастіше має місце змішаний механізм сорбції.

Використання природних неорганічних сорбентів обумовлено їхньою достатньо високою сорбційною ємністю, вибірковістю та доступністю.

Природні сорбенти (туфи, діатоміти) здатні поглинати групи молекул. Пористість туфів становить 30-35%, а діатомітів – до 75%.

Глинисті породи, у склад яких звичайно входять матеріали з регулярною структурою, – найбільш розповсюджені неорганічні сорбенти для очищення води. За структурою та фізико-хімічними властивостями їх можна розділити на кілька груп:

- дисперсні кремнеземи осадового походження, що на 68-99% складаються з аморфного двоокису кремнію. Серед них опоки відрізняються підвищеним вмістом Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та MgO, а трепел – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – до 16%. Опока не розмокає у воді та має високу механічну стійкість.

- шаруваті та шарувато-стрічкові алюмо-залізо-магнієві силікати поділяються на мінерали з розширюючою та жорсткою структурою. Перші (вермикуліт і монтморилоніт) складають основу бентонітових глин і «відбілюючих земель». Ці сорбенти мають значну ємність по відношенню до полярних речовин (води,



спиртам, амінам). Монтморилоніт є найефективнішим глинистим мінералом для очищення води від різних органічних домішок. Його площа поверхні досягає 766-833 м<sup>2</sup>/г. Попередньо обпалений при температурі 750 °С вермикуліт в статичних умовах має поглинаючу здатність по, мг/г: 32 – нікелю, 66 – міді, 39 – цинку, 39 – хрому. В динамічних умовах вона складає по, мг/г: 290 – нікелю, 120 – міді, 150 – цинку, 50 – хрому, що близько до результатів на іонообмінних смолах.

Для очищення стічних вод від іонів кольорових металів при їхньої концентрації до 50 мг/дм<sup>3</sup> витрати природних глинистих матеріалів становлять не менше 20 г/дм<sup>3</sup> води, що очищується.

Встановлена можливість застосування глинистого мінералу – воластоніту для очищення води від хрому (VI).

Природний доломіт, важкорозчинний у воді, застосовують для очищення стічних вод від катіонів міді та свинцю. При цьому стічна вода повинна мати кислу реакцію і при контакті з доломітом нейтралізуватися.

Шарувато-стрічкові мінерали мають структуру з мікропорами та ефективні при сорбції високомолекулярних сполук.

Найбільше розповсюдження глинисті мінерали отримали для знебарвлення води, вилучення неорганічних домішок і особливо токсичних хлорорганічних сполук і гербіцидів, різних синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР).

В теперішній час велика увага приділяється природним каркасним алюмосилікатам, особливо їхнім різновидам, що називаються цеолітами. Найбільш розповсюдженими цеолітами є шабазит, морденіт; кліноптилоліт.

Природні цеоліти використовуються у вигляді порошків і фільтруючих матеріалів для очищення води від СПАР, ароматичних і канцерогенних органічних сполук, барвників, пестицидів, колоїдних і бактеріальних забруднювачів.

Природні цеоліти України можуть застосовуватися для очистки природних і стічних вод від радіонуклідів. Вилучення стронцію на морденіті дозволяє довести ефект очищення до 86,5-97%. Вміст нітритів і нітратів у стічних водах знижується при фільтруванні через морденіт у 10-100 раз.

### **2.3 Вдосконалення технологічної схеми очистки стічних вод масло-екстракційного заводу на основі їхнього доочищення в сорбційних фільтрах**

Запропонована технологія доочищення стічних вод масло-екстракційного заводу ТОВ «Українська Чорноморська індустрія» на основі метода сорбції у вигляді блок-схеми наведена на рис. 2.1.

***Рис. 2.1 – Блок-схема запропонованої технології доочищення стічних вод масло-екстракційного заводу ТОВ «Українська Чорноморська індустрія»***

Найбільш простою спорудою сорбційного доочищення стічних вод є насипний фільтр, що являє собою колонну з нерухомим шаром сорбенту, через який фільтрується стічна вода. Найбільш раціональний напрямок фільтрації рідини – знизу вгору (рис. 2.2), оскільки в цьому випадку спостерігається рівномірне заповнення всього перетину колони та відносно легко витісняються бульбашки повітря та газу, що надходять в шар сорбенту разом зі стічною водою.

***Рис. 2.2 – Сорбційний фільтр СПП-ФС з вугільним завантаженням марки АГ-3***

Сорбційні фільтри СПП-ФС та СПК-ФС призначені для глибокого очищення стічних вод від розчинених у воді забруднень самого широкого спектра, а саме для ультратонкої очистки стічних вод від завислих речовин, нафтопродуктів, олій та жирів різного походження, відходів лакофарбових, хімічних, косметичних виробництв та інших забруднень.

Конструктивно – сорбційні фільтри та представляють собою вертикальну (СПП-ФС) або горизонтальну (СПК-ФС) ємність, заповнену сорбентом, що дозволяє проводити глибоке доочищення за завислими речовинами до 3 мг/дм<sup>3</sup>, за

нафтопродуктами до  $0,05 \text{ мг/дм}^3$ , що є достатнім для скиду очищеної води у водойми рибогосподарського призначення.

Застосування сорбційних фільтрів в якості додаткової одиниці доочищення стоків може дозволити досягти практично абсолютних показників за самим широким спектром забруднень, в самих різних умовах, у складі будь-яких очисних споруд. У теперішній час такі фільтри ефективно експлуатуються разом з жироловлювачами, у випадках застосування підвищених вимог до вмісту жиропродуктів на виході – менше  $10 \text{ мг/дм}^3$ . Ефективність запропонованих сорбційних фільтрів по жиропродуктам складає 99,6%, що становить менше  $0,5 \text{ мг/дм}^3$  на виході з очисної споруди. Оцінка ефективності роботи сорбційних фільтрів моделей СПП-ФС і СПК-ФС за основними забруднюючими речовинами, що містяться в стічних водах промислових виробництв, наведена в табл. 2.1.

Таким чином, показники на виході з запасом задовольняють вимогам, що пред'являються наглядовими органами до складу стоків навіть за умови їхнього скиду у водойму [26, 27].

Стічні води після попереднього очищення у відстійнику (пісковловлювачі, жироловлювачі, олієбензовідділювачі тощо) надходять на тонке доочищення в сорбційний блок, через вхідний патрубок і відводяться через глуху горизонтальну перегородку під перфорований настил, що забезпечує розподіл і рівномірний підйом стоків та їхнє проходження через сорбент (вугілля, алюмосилікати тощо) для подальшого відведення в ємність для збору доочищеної води або для скиду в ґрунт чи водойму. Перфорований настил виготовляється зі склопластику та нержавіючої сталі, що забезпечує необмежений термін експлуатації сорбційного фільтра.

Таблиця 2.1 – Оцінка ефективності роботи сорбційних фільтрів моделей СПП-ФС і СПК-ФС за основними забруднюючими речовинами, що містяться в стічних водах промислових виробництв [28]

В якості сорбенту може використовуватися вугільне завантаження, алюмосилікати або будь-який інший наповнювач, в залежності від складу стічних вод на вході та необхідних показників якості на виході з очисної споруди.

Подача стоків у сорбційний блок організується таким чином, щоб стічні води на вході потрапляли під перфорований настил (під сорбент), а в подальшому, завдяки спеціально підібраної перфорації нержавіючого настилу, рівномірно підіймалися через товщу сорбенту та самопливом відводилися в точку скиду.

Конструкція сорбційного фільтра серії СПП-ФС або СПК-ФС забезпечує виключно рівномірний підйом стоків, що надходять на доочищення, через товщу сорбційного завантаження, гарантуючи повноцінне доочищення стічних вод, виключаючи вільне проходження води або нерівномірне навантаження на сорбент, що використовується. Рівномірний розподіл стоків, що надходять до сорбційного фільтра, забезпечує високий ступінь очистки та тривалий термін експлуатації сорбенту. При дотриманні умов загального навантаження на очисні споруди, сорбент підлягає заміні один раз на 5-7 років. Експлуатаційні витрати, таким чином, зводяться практично до нуля.

Компактна конструкція вертикальних сорбційних фільтрів (СПП-ФС) дозволяє виготовляти блоки продуктивністю до 10 л/с. До переваг конструкції можна віднести зручність монтажу та обслуговування. Конструктивно, вертикальні сорбційні блоки зручніші в обслуговуванні, а невеликі габаритні розміри дозволяють виконувати монтаж навіть в умовах обмеженого простору. Єдиним недоліком конструкції є обмеження за продуктивністю – до 10 л/с.

Горизонтальні сорбційні блоки (СПК-ФС) характеризуються високою продуктивністю. Максимальна продуктивність стандартних горизонтальних сорбційних блоків складає до 100 л/с. Найвища жорсткість корпусів дозволяє виконувати монтаж на глибині до 10 метрів. Термін служби обладнання складає вище 50 років. Такі горизонтальні сорбційні фільтри застосовуються переважно в системах зливової каналізації, для підготовки стоків до скиду у водойми рибогосподарського призначення.

Технічні характеристики сорбційних фільтрів СПП-ФС та СПК-ФС з вугільним завантаженням наведено в табл. А.2-А.3 Додатка А.

Враховуючи концентрації забруднюючих речовин на виході з сорбційного фільтра (табл. 2.1), якість стічних вод, що утворюються внаслідок виробничої діяльності на підприємстві ТОВ «Українська Чорноморська індустрія», за основними показниками після доочищення за запропонованою технологією наведена в табл. 2.2. (продовження табл. 1.4).

Таблиця 2.2 – Основні показники якості стічних вод ТОВ «Українська Чорноморська індустрія» після доочищення в сорбційних фільтрах з вугільним завантаженням (продовження табл. 1.4)

Як видно з табл. 2.2, впровадження запропонованої технології на основі доочищення стічних вод масло-екстракційного заводу ТОВ «Українська Чорноморська індустрія» в сорбційних фільтрах з вугільним завантаженням марки АГ-3 дозволяє знизити вміст вищеперерахованих забруднюючих речовин до нормативів, які пред'являються до технічної води згідно зі стандартом ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001. Це дозволить створити на підприємстві систему оборотного водопостачання, внаслідок чого на власні виробничі потреби буде повертатися доочищена вода. Як наслідок, знижується навантаження на навколишнє природне середовище. Крім того, підвищується рівень екологічної безпеки підприємства, оскільки виключається скид стічних вод до міських каналізаційних очисних споруд.

#### **2.4 Методика розрахунку параметрів сорбційних фільтрів**

Для проектування сорбційних фільтрів повинні бути відомі наступні параметри [24, 25]:

- розміри сорбційних фільтрів;
- об'єм і маса завантаження адсорбенту;

- режим зміни завантаження;
- кількість і технологічна схема обв'язки сорбційних фільтрів;
- тип і кількість апаратури, що використовується.

При розрахунку сорбційних фільтрів необхідні наступні вихідні параметри:

- витрати стічних вод;
- початкова концентрація забруднень;
- концентрація забруднень в очищеній воді;
- ізотерма адсорбції;
- швидкість фільтрування стічної води через завантаження або швидкість руху стічної води через поперечний перетин адсорбера;
- об'єм адсорбенту, що одночасно вивантажується з адсорбційної установки;
- орієнтовна тривалість періоду роботи адсорбенту до проскоку і відповідно заміни відпрацьованого адсорбенту чистим;
- необхідний ступінь відпрацювання;
- уявна та насипна щільність адсорбенту.

В тому випадку, коли фізико-хімічний склад забруднень в стічній воді невідомий, наприклад у багатокомпонентній стічній воді після біохімічного очищення, в розрахунку концентрацій адсорбату може застосовуватися узагальнений показник, зокрема ХСК, БСК, органічний вуглець.

Основні відомості про сорбційні властивості матеріалу та характер сорбції на ньому певних речовин можуть бути отримані з ізотерм сорбції, що характеризують залежність сорбційної ємності ( $A$ ) від концентрації ( $C$ ) компонента, що сорбується, при постійній температурі:  $A = f(C)$ . Вид ізотерми залежить від розміру сорбенту та від концентрації речовини, що сорбується, в розчині (стічних водах).

Ізотерму адсорбції, що виражає зв'язок між концентрацією адсорбату у воді і максимальною адсорбційною ємністю, описують рівняннями:

- при початковій величині ХСК в стічній воді до  $100 \text{ мг/дм}^3$  можна використовувати ізотерму Генрі. В цьому випадку максимальна та мінімальна адсорбційна ємність активованого вугілля визначається за формулами:

(2.1)

(2.2)

$C_{en}$  – початкова величина ХСК на вході до сорбційного фільтру, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{ex}$  – кінцева величина ХСК на виході з сорбційного фільтру, мг/дм<sup>3</sup>;

$\Gamma$  – константа Генрі,;

- при початковій величині ХСК в стічній воді більше 100 мг/дм<sup>3</sup> можна використовувати ізотерму Фрейндліха. В цьому випадку максимальна та мінімальна адсорбційна ємкість активованого вугілля визначається за формулами:

(2.3)

(2.4)

$F$  – константа Фрейндліха;

$1/n$  – емпірична константа.

Максимальна доза активованого вугілля, яка в статистичних умовах забезпечує очищення стічної води до необхідної якості (до проскоку), визначається за формулою:

(2.5)

Мінімальна доза активованого вугілля, що вивантажується з адсорбера при заданому значенні коефіцієнта вичерпання ємкості адсорбенту, визначається за формулою:

(2.6)

$K_{sb}$  – коефіцієнт вичерпання ємкості сорбенту.

Загальна площа одночасно і паралельно працюючих сорбційних фільтрів визначається за формулою:

(2.7)

$q$  – середньогодинні витрати стічних вод, що надходять на доочищення в сорбційні фільтри, м<sup>3</sup>/годину;

$v$  – швидкість фільтрування.

Для подальшого розрахунку приймається типовий напірний сорбційний фільтр із наступними параметрами:

- діаметр фільтра, м;

- висота шару завантаження, м;
- марка активованого вугілля, що застосовується в якості сорбенту.

Кількість паралельно й одночасно працюючих ліній адсорберів визначається за формулою:

$$(2.8)$$

$f_{ads}$  – площа одного адсорбера, що визначається за формулою:

$$(2.9)$$

$d_{ads}$  – діаметр одного адсорбера (сорбційного фільтра), що приймається конструктивно, м.

Орієнтовна висота сорбційного шару (завантаження), в якому за орієнтовну тривалість роботи установки до перевантаження адсорбера адсорбційна ємкість сорбенту вичерпується до ступеня, визначається за формулою:

$$(2.10)$$

$t_{ads}^{op}$  – орієнтовна тривалість роботи сорбційних фільтрів до проскоку (перевантаження адсорбера);

$\rho_n$  – насипна щільність адсорбенту, що приймається за табл. А.1 Додатку А в залежності обраної марки активованого вугілля, г/м<sup>3</sup>.

Орієнтовна висота завантаження сорбційного шару, який забезпечує роботу установки до концентрації впродовж часу, що приймається за умовами експлуатації, та визначається за формулою:

$$(2.11)$$

Резервний шар сорбенту, розрахований на тривалість роботи установки впродовж часу перевантаження або регенерації шару сорбенту, приймається рівним орієнтовній висоті сорбційного шару.

Загальна висота сорбційного шару визначається за формулою:

$$(2.12)$$

Загальна кількість послідовно встановлених в одній лінії сорбційних фільтрів (адсорберів) визначається за формулою:

$$(2.13)$$

$H_{ads}$  – висота сорбційного завантаження одного фільтра.



Зважаючи на те, що умови вичерпання ємкості адсорбенту в динамічному (проточному) режимі відрізняються від прийнятих для орієнтовного розрахунку статистичних (контактних) умов, уточнюємо тривалість роботи завантаження адсорбційної установки до проскоку (при одному адсорбері, що знаходиться в процесі перевантаження) за формулою:

$$(2.14)$$

$\varepsilon$  – порізність завантаження, що визначається за формулою:

$$(2.15)$$

$\rho_y$  – уявна щільність адсорбенту, що приймається за табл. А.1 Додатку А в залежності обраної марки активованого вугілля, г/м<sup>3</sup>.

Насипна щільність активованого вугілля характеризує масу зразка адсорбенту, що займає певний об'єм, включаючи повітряні прошарки між частинками вугілля та в середині його пор, і складають 0,25-0,6 г/см<sup>3</sup>. На відміну від насипної, уявна щільність активованого вугілля включає тільки масу частинок із внутрішніми порами. При заповненні внутрішніх пор частинки повітрям ця величина складає 0,4-0,9 г/см<sup>3</sup>. При заповненні внутрішніх пор водою уявна щільність складає 1,2-1,5 г/см<sup>3</sup>, тому в щільному шарі мокрого гранульованого вугілля можливо утворювати висхідний потік води зі швидкістю 8-12 м/годину без спливання частинок вугілля. Справжня щільність вуглецевого скелета активованого вугілля дорівнює 1,9-2 г/см<sup>3</sup>. Слід враховувати й підвищення щільності вугілля в процесі накопичення на їхньої поверхні молекул адсорбату. Зміна щільності адсорбентів повинна враховуватися при перерахунку об'єму активованого вугілля на їхню масу, зокрема, при перевантаженні адсорбційних апаратів і розрахунку підтримуючих конструкцій. Втрати адсорбенту при перевантаженні залежать від його міцності, яка для активованого вугілля в залежності від вихідної сировини та технології активації знаходиться в межах 60-90%. Зокрема, міцність менше 75% призводить до втрат на стирання більше 15%, тому це вугілля рекомендується до одноразового використання.

При відсутності довідкових даних в розрахунку адсорберів з активованим вугіллям значення  $\varepsilon$  приймається рівним 0,5.

Тривалість роботи одного адсорбера до вичерпання ємкості визначається за формулою:

$$(2.16)$$

Таким чином, необхідний ступінь очищення може бути досягнутий безперервною роботою = \_\_\_ паралельних ліній адсорберів, в кожному з яких по = \_\_\_ послідовно встановлених адсорберів, з яких один резервний знаходиться в режимі перевантаження. Кожний адсорбер, при цьому, працює впродовж = \_\_\_ години. Відключення одного адсорбера в послідовному ланцюгу на перевантаження відбувається через = \_\_\_ години.

Об'єм завантаження одного адсорбера визначається за формулою:

$$(2.17)$$

Кількість сухої маси активованого вугілля в одному адсорбері визначається за формулою:

$$(2.18)$$

При перевантаженні = \_\_\_ адсорберів через кожні = \_\_\_ годин (по одному з кожної лінії) витрати активованого вугілля будуть визначатися за формулою:

$$(2.19)$$

При цьому, доза вугілля буде визначатися за формулою:

$$(2.20)$$

Витрати промивної води визначаються за формулою:

$$(2.21)$$

$w_{np}$  – інтенсивність промивання сорбційного фільтра, л/с·м<sup>2</sup>.

Місткість резервуарів промивної води, що надходить від промивання одного сорбційного фільтра, визначається за формулою:

$$(2.22)$$

$t_{np}$  – тривалість промивання сорбційного фільтра;

$n_{np}$  – кількість промивань, на які розраховано резервуар.

## 2.5 Результати розрахунку параметрів сорбційних фільтрів

Для сорбційного очищення води при постійній присутності в підвищених концентраціях речовин антропогенного походження найчастіше проектують стаціонарні адсорбери з нерухомим шаром адсорбенту.

Вибір марки адсорбційного матеріалу полягає в підборі параметрів його пористої структури в залежності від розмірів молекул адсорбованих речовин. Наприклад, коли у воді присутня одна речовина з низькою молекулярною масою (фенол, азот амонійний, азот нітритний), то дані речовини, що мають відносно низьку молекулярну масу і розмір молекул ( $d=0,63$  нм), краще всього сорбуються в мікропорах ( $d<0,63-0,7$  нм) і супермікропорах ( $0,6-0,7<d<1,5-1,6$  нм). Для цього випадку придатні активоване вугілля, що має необхідну структуру пор, типу АГ-3 і МАУ-100. Коли у воді знаходяться нафтопродукти, СПАР, гумінові кислоти (окремо або суміш), то дані речовини, що мають більш крупні розміри молекул ( $d\geq 1,8$  нм), краще всього сорбуються в мезопорах ( $1,5-1,6<d<100-200$  нм). В цьому випадку придатні активоване вугілля та сорбенти, що мають необхідну структуру пор, наприклад, мезопористий сорбент СГН-30. Коли у воді присутня суміш низько- і високомолекулярних сполук (нафтопродукти, СПАР, фенол, азот амонійний, азот нітритний), то дані речовини, що мають різні розміри молекул, найбільш повно будуть сорбуватися на адсорбентах, що мають добре розвинену структуру мікропор і мезопор (таких як АГ-3, МАУ-100).

Таким чином, в якості завантаження сорбційного фільтра найчастіше застосовують гранульоване активоване вугілля АГ-3.

Параметри, що застосовуються для проектування сорбційних фільтрів:

- витрати стічних вод, що надходять на доочищення до сорбційних фільтрів –  $10,5 \text{ м}^3/\text{годину}$ ;
- початкова величина ХСК на вході до сорбційних фільтрів –  $100 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;
- кінцева величина ХСК на виході з сорбційних фільтрів –  $15 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ;
- ізотерма адсорбції відповідає рівнянню Фрейндліха;
- емпірична константа –  $0,5$ ;

- швидкість фільтрування, що приймається при висхідному руху потоку стічної води 6 м/годину;
- орієнтовна тривалість роботи сорбційних фільтрів до проскоку (перевантаження адсорбера), що приймається рівною 24 години;
- уявна щільність адсорбенту (активованого вугілля марки АГ-3) –  $0,85 \text{ г/м}^3$  (табл. А.1 Додатку А);
- насипна щільність адсорбенту (активованого вугілля марки АГ-3) –  $0,45 \text{ г/м}^3$  (табл. А.1 Додатку А);
- коефіцієнт вичерпання ємкості сорбенту – 0,7.

#### Розв'язання

Максимальна адсорбційна ємкість активованого вугілля АГ-3 визначається за формулою (2.3):

$\text{мг/дм}^3$ .

Мінімальна адсорбційна ємкість активованого вугілля АГ-3 визначається за формулою (2.4):

$\text{мг/дм}^3$ .

Максимальна доза активованого вугілля АГ-3, яка в статистичних умовах забезпечує очищення стічної води до необхідної якості (до проскоку), визначається за формулою (2.5):

$\text{г/дм}^3 \text{ (кг/м}^3\text{)}$ .

Мінімальна доза активованого вугілля, що вивантажується з адсорбера при заданому значенні коефіцієнта вичерпання ємкості адсорбенту  $K_{sb}$ , визначається за формулою (2.6):

$\text{г/дм}^3 \text{ (кг/м}^3\text{)}$ .

Загальна площа одночасно і паралельно працюючих сорбційних фільтрів визначається за формулою (2.7):

$\text{м}^2$ .

Для подальшого розрахунку приймається типовий напірний сорбційний фільтр із наступними параметрами:

- діаметр фільтра 1 м;

- висота шару завантаження 1 м.

Площа одного адсорбера (сорбційного фільтра) визначається за формулою (2.9):

м<sup>2</sup>.

Кількість паралельно й одночасно працюючих ліній адсорберів визначається за формулою (2.8):

штуки.

Орієнтовна висота сорбційного шару (завантаження), в якому за орієнтовну тривалість роботи установки до перевантаження адсорбера адсорбційна ємкість сорбенту вичерпується до ступеня визначається за формулою (2.10):

м.

Орієнтовна висота завантаження сорбційного шару, який забезпечує роботу установки до концентрації впродовж часу, що приймається за умовами експлуатації, та визначається за формулою (2.11):

м.

Резервний шар сорбенту розрахований на тривалість роботи установки впродовж часу перевантаження або регенерації шару сорбенту, приймається рівним орієнтовній висоті сорбційного шару 0,5 м.

Загальна висота сорбційного шару визначається за формулою (2.12):

м.

Загальна кількість послідовно встановлених в одній лінії сорбційних фільтрів (адсорберів) визначається за формулою (2.13):

штуки.

Порізність завантаження визначається за формулою (2.15):

.

Тривалість роботи завантаження адсорбційної установки до проскоку (при одному адсорбері, що знаходиться в процесі перевантаження) уточнюється за формулою (2.14):

годин.

Тривалість роботи одного адсорбера до вичерпання ємкості визначається за формулою (2.16):

годин.

Таким чином, необхідний ступінь очищення може бути досягнутий безперервною роботою 2 паралельних ліній адсорберів, в кожному з яких по 2 послідовно встановлених адсорберів, з яких один резервний знаходиться в режимі перевантаження. Кожний адсорбер, при цьому, працює впродовж 43,93 години. Відключення одного адсорбера в послідовному ланцюгу на перевантаження відбувається через 26,36 години.

Об'єм завантаження одного адсорбера визначається за формулою (2.17):

м<sup>3</sup>.

Кількість сухої маси активованого вугілля АГ-3 в одному адсорбері визначається за формулою (2.18):

кг.

При перевантаженні 2 адсорберів через кожні 26,36 годин (по одному з кожної лінії) витрати активованого вугілля АГ-3 будуть визначатися за формулою (2.19):

кг/годину.

При цьому, доза вугілля буде визначатися за формулою (2.20):

г/дм<sup>3</sup>.

Витрати промивної води визначаються за формулою (2.21):

л/с.

Місткість резервуарів промивної води, що надходить від промивання одного сорбційного фільтра, визначається за формулою (2.22):

м<sup>3</sup>.

## ВИСНОВКИ

У роботі вирішена актуальна практична задача, що полягає в удосконаленні технології очистки стічних вод масло-екстракційного заводу ТОВ «Українська Чорноморська індустрія» на основі їхнього доочищення методом сорбції в фільтрах з вугільним завантаженням.

Впровадження запропонованої технології дозволяє знизити вміст забруднюючих речовин, що присутні в стічних водах, до нормативів, які пред'являються до технічної води згідно зі стандартом ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001. Це дозволить створити на підприємстві систему оборотного водопостачання, внаслідок чого на власні виробничі потреби буде повертатися доочищена вода.

Отримані результати наведені нижче.

Використання води є одним із ключових питань охорони навколишнього середовища при виробництві продуктів харчування. При виробництві рослинних олій процесами, що потребують значних об'ємів води, є отримання нерафінованої олії та рафінація рослинної олії.

З ростом виробництва, технічної оснащеності підприємств і підвищенням санітарних вимог загальні витрати води зростають. Відповідно збільшується й скид стічних вод.

Стічні води підприємств мають високу концентрацію забруднювачів за вмістом завислих речовин, жирів та органічних домішок. Ці показники в 10-20 разів перевищують концентрації забруднень міських стоків. Саме тому стічні води підприємств харчової промисловості повинні очищатися на території виробництва.

Для очищення стічних вод підприємств з виробництва рослинної олії, що містять значну кількість органічних речовин, застосовують споруди первинної (механічної, фізико-хімічної, електрохімічної) та вторинної (біологічної) очистки.

Відсутність або недосконалість методів очищення виробничих стічних вод, а іноді й порушення правил охорони водойм є причиною їхнього забруднення речовинами різноманітного походження.

Питання запобігання забрудненню водойм стічними водами тісно пов'язані зі скороченням споживання води на технологічні потреби виробництва і, відповідно, скороченням скиду стічних вод. Один з найбільш раціональних способів для досягнення цієї мети – використання очищених стічних вод в обороті.

Удосконалено існуючу технологічну схему очистки стічних вод масло-екстракційного заводу на основі їхнього доочищення методом сорбції. Запропоновано на завершальному етапі очищення стічних вод встановити сорбційні фільтри з вугільним завантаженням марки АГ-3.

Запропоновані вертикальні сорбційні фільтри СПП-ФС призначені для глибокого очищення стічних вод від розчинених у воді забруднень самого широкого спектра, а саме для ультратонкої очистки стічних вод від завислих речовин, нафтопродуктів, олій та жирів різного походження тощо.

Після сорбційного очищення стає можливим повторне використання стічних вод у системі оборотного водопостачання. Застосування технологічних стічних вод в системі оборотного водопостачання вирішує не тільки задачу економії свіжої води, але й радикального оздоровлення водойм. Крім того, підвищується рівень екологічної безпеки підприємства, оскільки виключається скид стічних вод до міських каналізаційних очисних споруд.

Розраховано основні параметри сорбційних фільтрів з вугільним завантаженням марки АГ-3, які планується встановити згідно запропонованої технологічної схеми очистки стічних вод.

Розроблено комплекс заходів щодо охорони праці та безпеки на підприємствах з виробництва рослинних олій методом пресування та екстракції.



**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Осейко М.І. Технологія рослинних олій: Підручник. Київ: Варта, 2006. 280 с.
2. Щербаков В.Г. Технология получения растительных масел. М.: Колос, 1992. 207 с.
3. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 42-2017. Производство продуктов питания. Москва: Бюро НДТ, 2017. 436 с.
4. Гіроль М.М., Гіроль А.М., Гіроль А.М. Технології водовідведення промислових підприємств: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2013. 625 с.
5. Лихачев Н.И., Ларин И.И., Хаскин С.А. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. М.: Стройиздат, 1981. 639 с.
6. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Калуга: Издательство Н.Бочкаревой, 2003. Том 2. 917 с.
7. Каца В.М. Вода и сточные воды в пищевой промышленности. Москва: Издательство «Пищевая промышленность», 1992. 384 с.
8. Лоренц В.И. Очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности. Киев: Будівельник, 1972. 188 с.
9. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 01.12.2017. №316.
10. Ксенофонов Б.С., Таранов Р.А., Козодаев А.С., Воропаева А.А. Очистка сточных вод завода растительных масел от жиров и взвешенных веществ. Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. №5. С. 38-43.
11. Маркитанова Л.И., Кисс В.В., Каверзнева Т.Т. Водоснабжение и очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности: учебное пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. 134 с.
12. Справочник наилучших доступных технологий для очистки сточных вод на предприятиях отраслей промышленности и жилищно-коммунального

хозяйства России. Москва: ООО «Деловые Медиа», 2014. Кн. 1. 329 с. Кн. 2. 367 с. Кн. 3. 289 с.

13. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Постанова Кабінету Міністрів України від 25.03.1999. №465. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-99-%D0%BF#Text>.

14. Саблій Л., Жукова В., Єпішова Л. Проблеми попереднього локального очищення стічних вод виробництва олії та їх ефективне вирішення. Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. 2021. Вип. 35. С. 48-55.

15. Шестопалов О.В., Гетта О.С., Рикусова Н.І. Сучасні методи очищення стічних вод харчової промисловості. Екологічні науки. №2(25). С. 20-27.

16. Дячок В.В., Мараховська А.О., Мараховська С.Б. Рідинно-екстракційне очищення стічних вод виробництва харчових олій. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вип. 27(3). С. 89-91.

17. Максимів Н.Л., Олійник Л.П. Застосування ультразвуку для очищення стічної води у харчовій промисловості. Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування: збірник наукових праць. 2016. №841. С. 308-315.

18. Бондар С.М., Чабанова О.Б., Чабанова А.А. Дослідження мембранного процесу очищення стічних вод олійножирової промисловості. Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького. 2015. Т. 17. №4(64). С. 23-27.

19. Гудков А.Г. Механическая очистка сточных вод: учебное пособие. Вологда: ВоГТУ, 2003. 152 с.

20. Карманов А.П., Полина И.Н. Технология очистки сточных вод: Учебное пособие. Сыктывкар: СЛИ, 2015. 207 с.

21. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 704 с.

22. Яковлев С.В., Скирдов И.В., Швецов В.Н., Бондарев А.А., Андрианов Ю.Н. Биологическая очистка производственных сточных вод. Процессы, аппараты и сооружения. Монография. М.: Стройиздат, 1985. 208 с.

23. Липунов И.Н. Очистка сточных вод в биологических реакторах с биопленкой и активным илом (расчет биофильтров и аэротенков): Учебное пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 110 с.

24. Долина Л.Ф. Сорбционные методы очистки производственных сточных вод: Учебное пособие по проектированию локальных станций очистки производственных сточных вод (часть 4). Днепропетровск: ДИИТ, 2000. 84 с.

25. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. К.: Мінрегіон України, 2013. 223 с.

26. Державні санітарні норми та правила «Допустимі дози, концентрації, кількості та рівні вмісту пестицидів у сільськогосподарській сировині, харчових продуктах, повітрі робочої зони, атмосферному повітрі, воді водоймищ, ґрунті» (ДСанПіН 8.8.1.2.3.4-000-2001). Постанова Головного державного санітарного лікаря України від 20.09.2001. №137. 376 с.

27. Укрупненные нормы водопотребления и водоотведения для различных отраслей промышленности. Москва: Стройиздат, 1978. 590 с.

28. Протокол экспертизы продукции (Оборудование для очистки сточных вод промышленного назначения: сорбционные блоки, моделей СПБ-ФС, СПП-ФС, СПК-ФС). <https://polyfactory.ru/sorbtsionnyye-filtry/>.

29. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

30. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности (ССБП. Обладнання виробниче. Загальні вимоги щодо безпеки).

31. ГОСТ 12.3.002-75 ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности (ССБП. Процеси виробничі. Загальні вимоги щодо безпеки).

32. ДСТУ 7239:2011 Система стандартів безпеки праці. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація.