

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра екології та природозахисних технологій

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА**

за спеціальністю 183 „Технології захисту навколишнього середовища”

Тема роботи: Технології очищення води від мікропластика

Виконала:  
студент Троцик В.А.

Залікова книжка  
№ 14060367

Підпис \_\_\_\_\_

Захищена з оцінкою

\_\_\_\_\_ оцінка, дата

Керівник:  
Васькін Р.А., к.т.н.  
доцент

Підпис \_\_\_\_\_

Консультант з охорони праці:  
доц. канд. техн. наук  
Васькін Р.А.

Підпис \_\_\_\_\_

Секретар ЕК  
Батальцев Є.В. \_\_\_\_\_

Суми 2022

## РЕФЕРАТ

*Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра.*

Робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел. Обсяг роботи становить 67 сторінок комп'ютерного тексту, який включає 7 таблиць, 8 рисунків, перелік джерел посилення налічує 68 найменувань.

*Мета роботи* полягає в аналізі забруднення мікропластиком водного середовища та його впливу на довкілля, здоров'я людини, флору та фауну, а також в розробці пропозиції щодо системного впровадження методів очищення стічних вод від мікропластику на очисних спорудах.

*Об'єкт дослідження* – очисні споруди.

*Предмет дослідження* – процеси очищення стічних вод.

*Практичне значення одержаних результатів.* Результати нашого дослідження можуть бути використані при реконструкції очисних споруд в Україні. Це дасть можливість поліпшити ступінь очистки стічних вод на очисних спорудах, що в свою чергу призведе до зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище та зниження потенційних ризиків від забруднення пластиком на здоров'я населення.

*Ключові слова:* ЗАБРУДНЕННЯ, МІКРОПЛАСТИК, ОЧИСНІ СПОРУДИ, СТІЧНІ ВОДИ.

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій  
Кафедра екології та природозахисних технологій  
Спеціальність 183 „Технології захисту навколишнього середовища”

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Студенту Троцику Владиславу Анатолійовичу \_\_\_\_\_ Група ТС-81  
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема кваліфікаційної роботи: Технології очищення води від мікропластика
- Вихідні дані: обсяг стічних вод 65000 м<sup>3</sup>/добу, БСК стічних вод що надходять на очищення 30мг/дм<sup>3</sup>; ГДК шкідливих речовин, що містяться у стічних водах, середньозимова стічних вод що надходять на очищення 12°C.
- Перелік обов'язково графічного матеріалу:
  - Технологічна схема очисних споруд
  - Недоліки існуючої схеми очищення
  - Параметри проєктованого біофільтра
  - Параметри проєктованої установки озонування

4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проєктування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
	Літературний пошук	+					
	Патентний пошук		+	+			
	Узагальнення інформації				+		
	Проведення розрахунків				+	+	
	Оформлення пояснювальної записки						+

5. Дата видачі завдання 26.03. 2022 р.

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

доцент Васькін Р.А.  
(посада, прізвище)

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	С. 5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ МІКРОПЛАСТИКОМ.....	8
1.1 Класифікація та фізико-хімічні властивості мікропластику.....	8
1.2 Процеси трансформації пластику у мікропластик у навколишньому середовищі.....	12
1.3 Аналіз стану забруднення та впливу мікропластику на водні екосистеми та здоров'я людини.....	19
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ МІКРОПЛАСТИКУ НА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА ОЧИСНИХ СПОРУДАХ.....	22
2.1 Первинне очищення.....	22
2.2 Вторинне очищення.....	24
2.3 Вплив мікропластику на третинну обробку .....	25
2.4 Вплив мікропластику на очищення осаду стічних вод.....	28
РОЗДІЛ 3 АЛЬТЕРНАТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД МІКРОПЛАСТИКУ .....	38
3.1 Фільтрація.....	38
3.2 Золь-гель метод.....	40
3.3 Електрокоагуляція.....	42
3.4 Очищення від мікропластику методом екстракції .....	42
3.5 Аналіз проблем, пов'язаних з наявністю мікропластику в стічних водах, та перспективи щодо їх вирішення .....	44
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	52
4.1 Техніка безпеки при роботі на очисних спорудах.....	52
4.2 Пожежна безпека на очисних спорудах.....	57
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61

Підп. і дата	
Інв.№ докл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№ подл.	

					<i>ТС 14060367</i>			
Вул	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	<i>Технології очищення води від мікропластика</i>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Троцик					4	67	
Перев.	Васькін					<i>СумДУ, ТЕСЕТ зр. ТС-81</i>		
Н.Контр.	Батальцев							
Затв.	Пляцук							

## ВСТУП

Ступінь забруднення природних вод та Світового океану поступово зростає. Здатність води до самоочищення часто виявляється недостатньою, щоб впоратися з відходами, що скидаються і кількість яких постійно збільшується.

Світовий океан грає значну роль в житті людини. Він виконує середовище утворюючу, промислову, сировинну, транспортну та інші функції. З огляду на необмежені багатства Світового океану, вчені називають його сьомою економікою світу відразу після США, Китаю, Японії, Німеччини, Франції та Великобританії. Загальну вартість його ресурсів оцінюють в 24 млрд доларів. Але 2/3 океанської економіки залежить від стану самого океану.

Пластик на сьогоднішній день є найпоширенішим матеріалом в світі [1]. Пластик складається з природних або синтетичних полімерів природного або штучного походження. Близько 80% мікропластику в стічних водах – це синтетичні волокна, що потрапляють у стоки після прання одягу. Деякі частинки мікропластику та нанопластику потрапляють в річки і океани, минаючи очисні споруди. У той же час частинки, що були вловлені під час очистки стічних вод, в кінцевому рахунку потрапляють у ґрунт, але вже в якості шламу [2].

Якість питної води є світовою проблемою, важливою для всіх людей незалежно від регіонів, в яких вони проживають. Сьогодні йде інтенсивне забруднення Землі пластмасою. В ході досліджень останніх років було знайдено велику кількість пластику в багатьох екосистемах земної кулі, Світового океану і навіть в таких далеких місцевостях, як Антарктида і Арктика. На наш погляд, якщо не вживати серйозних заходів, то шкода від пластику може нівелювати його користь. Необхідно припинити випуск пластику, що не розкладається, як це зробили в Сінгапурі, Бангладеш і на о. Тайвань, заборонивши використання пластикових пакетів. Потрібно

Інв. Нагтобл.	Тіпл. Гоата	Взаєм. ІНБ. №	Інв. Неубл.	Тіпл. і Дата
---------------	-------------	---------------	-------------	--------------

Вилр	Арк	№ докum.	Підп.	Дата
------	-----	----------	-------	------

ТС 14060367

Арк

5

переходити на випуск біорозкладного пластика, проводити сортування відходів, їх переробку, утилізацію і т. д.

Актуальність роботи полягає в тому, що на даний момент проблема забруднення навколишнього середовища мікропластиком є маловивченою і тільки набирає популярність. Відносно недавно вчені з усіх країн почали активно проводити дослідження і розробки методів аналізу мікропластика у водних об'єктах, ґрунті і донних відкладеннях (седиментах), але до сих пір немає єдиної затвердженої методології, що дозволяє провести ефективну очистку стічних вод від частинок мікропластика. Дана проблема є глобальною, так як мікропластик знаходиться практично в усіх екосистемах і небезпечний для здоров'я людини.

З огляду на все це, метою цієї роботи є: аналіз забруднення мікропластиком водного середовища та його вплив на навколишнє середовище, здоров'я людини флора та фауни, а також пропозиції щодо системного впровадження методів очищення стічних вод від мікропластику на очисних спорудах.

**Об'єкт дослідження** – очисні споруди.

**Предмет дослідження** – процеси очищення стічних вод.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати нашого дослідження можуть бути використані при реконструкції очисних споруд в Україні. Це дасть можливість поліпшити ступінь очистки стічних вод на очисних спорудах, що в свою чергу призведе до зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище та зниження потенційних ризиків від забруднення пластиком на здоров'я населення.

Інв. № до обл.	Тип. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № до обл.	Тип. і дата

Випр	Арк	№ док. ум.	Підп.	Дата

ТС 14060367

Арк

6

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

PET (ПЕТ) – поліетилен терефталат;

HDPE (ПНД) – поліетилен високої щільності низького тиску;

PP (ПП) – поліпропілен;

PE (ПЕ) – поліетилен;

PS (ПС) – полістирол;

PVC (ПВХ) – полівінілхлорид;

BPA – бісфенол А

АФК – активна форма кисню;

БПК – біологічна потреба кисню;

ХПК – хімічна потреба кисню;

МП – мікропластик;

УФ – ультрафіолет.

Інв. Нагробл.	Тіпл. і дата	Взаєм. ІНБ. №	Інв. №зубл.	Тіпл. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Тіпл.	Дата	ТС 14060367	Арк
						7

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ МІКРОПЛАСТИКОМ

## 1.1 Характеристика, класифікація та джерела утворення мікропластику

У сучасному світі пластик є важливою та найпоширенішою сировиною. Проте, незважаючи на корисність і універсальність пластику, його повсякденна утилізація в безпрецедентних масштабах (Рис. 1.1) призводить до значного глобального впливу на навколишнє середовище, головним чином, на природні води, морську флору та фауну.

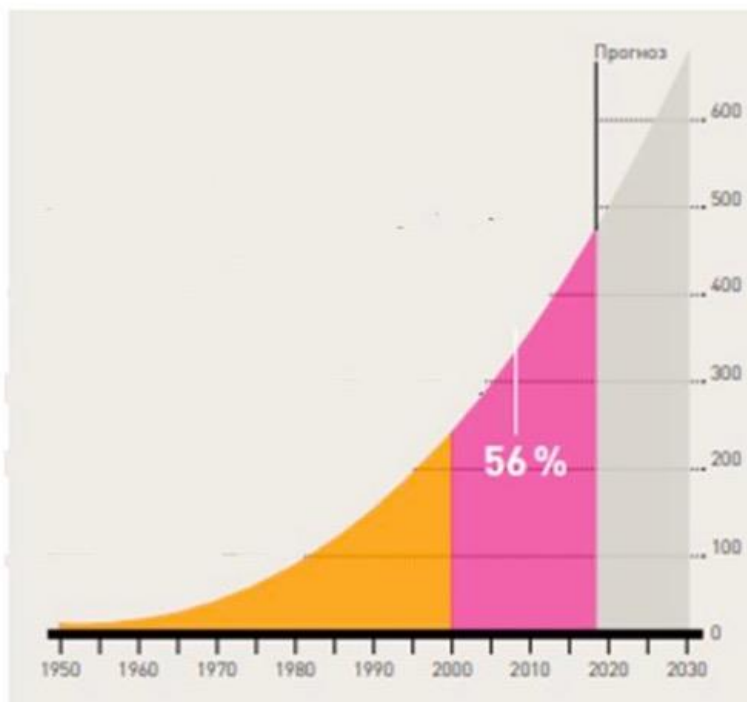


Рисунок 1.1 – Загальносвітове річне виробництво пластику, мліи тонн

Пластик не може повністю розкластися у природньому середовищі, він здатен лише подрібнитися чи трансформуватися. Наскільки швидко це

Інв. Нагробл.	Тіпл. і дата	Взаєм. ІНБ. №	Інв. Нагробл.	Тіпл. і дата
Вилр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 14060367



відбудеться, залежить від багатьох чинників, серед яких головними є контакт з рідинами, вплив температури чи хімічних сполук. Утворення мікропластику відбувається протягом усього ланцюга виробництва пластику, під час синтезу, транспортування та використання, а також наприкінці терміну служби пластикових виробів.

Мікропластиком вважаються будь-які частинки пластику, дрібніші ніж 5 мм. В свою чергу, мікропластик може розкладатися до нанопластику, тобто до частинок розміром від 1 до 100 нм. Сьогодні забруднення пластиком Світового океану асоціюється головним чином із накопиченням мікропластику на поверхні та у товщі води, а також у седиментах [3].

Ці види мікропластику можуть потрапити в прісну воду такими основними способами:

- із поверхневого стоку (стікаючи з прилеглих до водойм об'єктів);
- зі стічних вод (утворюються під час побутово-господарської чи промислової діяльності);
- із каналізаційних переливів (результат зношення й ерозії очисних споруд і трубопроводу);
- із пластикових відходів, що розпалися (через неправильне поводження з відходами, тобто неконтрольоване викидання пластику в довкілля та зведення на сміттеві полігони й звалища);
- з атмосферних опадів (мікропластик, який може бути в повітрі чи на поверхні ґрунту, поглинають краплини дощу або розносить вітер).

Залежно від процесів утворення мікропластик можна розділити на два основних типи: первинний та вторинний (Рис. 1.2).

№в. Нагтобл.	Тіпл. і дата	Взаєм. №	№в. Наубл.	Тіпл. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						9

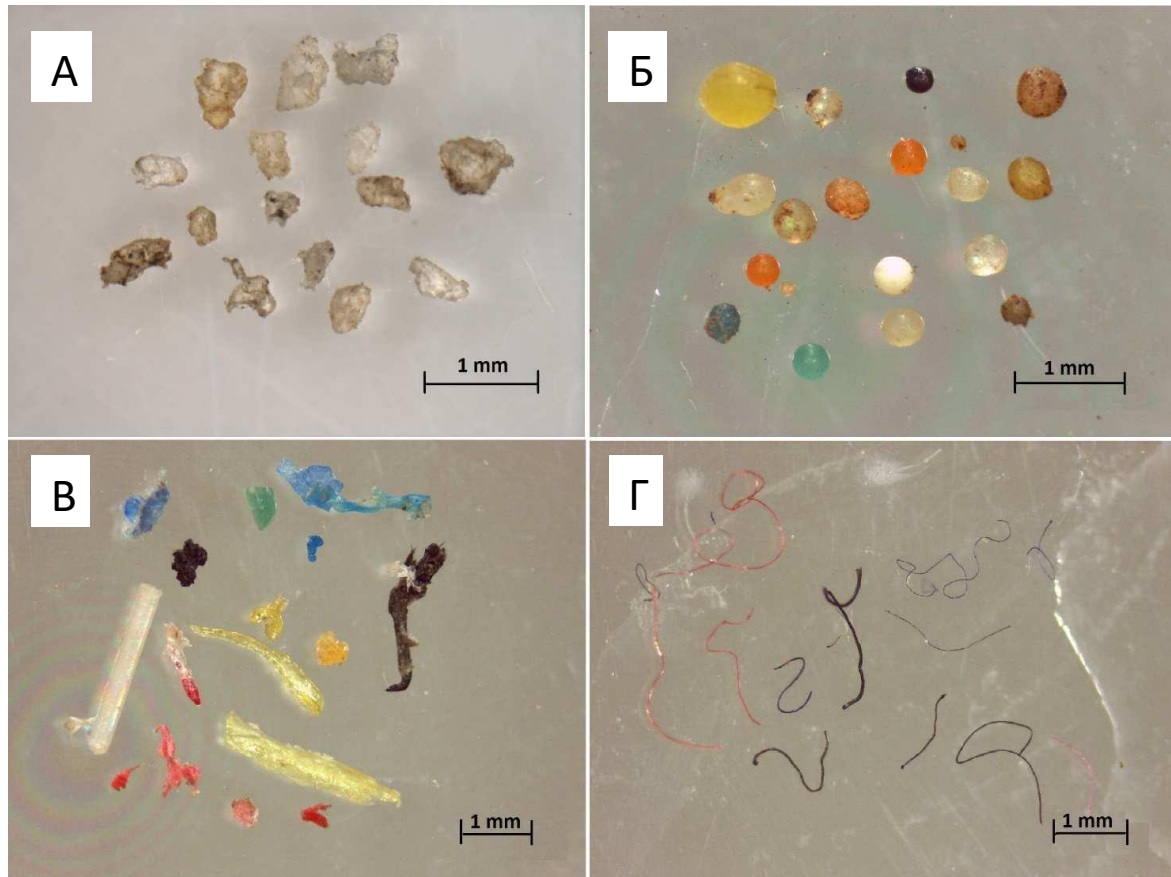


Рисунок 1.2 Первинний та вторинний мікропластик [4], який потрапляє у стічні води. А, Б – Мікрогранули, отримані із засобів особистої гігієни (первинний). В, Г – Фрагменти від руйнування більших пластмас і синтетичних текстильних волокон (вторинний).

Первинний мікропластик безпосередньо викидається в навколишнє середовище у вигляді частинок пластику. Їх додають до продуктів, наприклад, як стабілізатори або блиск в косметиці, або як гранульовані матеріали на спортивних майданчиках зі штучним покриттям. За оцінками Європейського хімічного агентства, щороку в Європі використовується 145 000 тон первинного мікропластика. Первинний мікропластик також може утворюватися в результаті розливу під час виробництва; від зносу пластикових виробів під час використання, наприклад, стирання автомобільних шин; від

№в. Нагтобл.	Тіпл. і дата	Взаєм. І№в. №	І№в. №зубл.	Тіпл. і дата
Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ТС 14060367				Арк
				10

відшарування фарб і покриттів; або через прання чи носіння синтетичного текстилю [4].

Дослідження показало, що близько 3 мільйонів тон первинного мікропластика щорічно викидається в глобальне навколишнє середовище, на додаток до 5,3 мільйона тонн більших пластикових предметів, які виникають переважно в результаті неправильного використання відходів і сміття і з часом руйнуються, перетворюючись на вторинний мікропластик. За іншими оцінками, щороку домогосподарства та комерційна діяльність викидають 3,2 мільйона тонн первинного мікропластику, з яких 1,5 мільйона тон викидається в океан [5]. У глобальному масштабі це в середньому відповідає 400 грамів первинного мікропластику, що викидається в навколишнє середовище на людину щороку, що еквівалентно 80 пластиковим пакетам, з яких половина потрапляє в океан.

Вторинний мікропластик утворюється в результаті розпаду більших пластикових предметів у навколишньому середовищі, як правило, неправильного використання пластикових відходів, таких як викинуті рибальські знаряддя, засмічені пластикові упаковки або пластик, втрачений на відкритих звалищах. Вітер може транспортувати пластикові відходи з відкритих звалищ або сміттєзвалищ до річок на відстані до 10 км. Є дані, які говорять, що від 60 до 90% первинного мікропластику змивається з доріг. На кожні 1000 кілометрів руху автомобіля виділяється майже 200 грамів мікропластику, а ще 25% виділяється під час прання синтетичних тканин, які поступово розшаровуються на дрібні мікрОВОлокна [6]. Також часто відбувається виділення частинок під час виробництва пластикових виробів і добавок. Основні джерела забруднення природних вод мікропластиком узагальнено на Рисунку 1.3.

№в. Нагтобл.	Тип. і дата	Взаєм. №в. №	№в. Наубл.	Тип. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 14060367

Арк

11

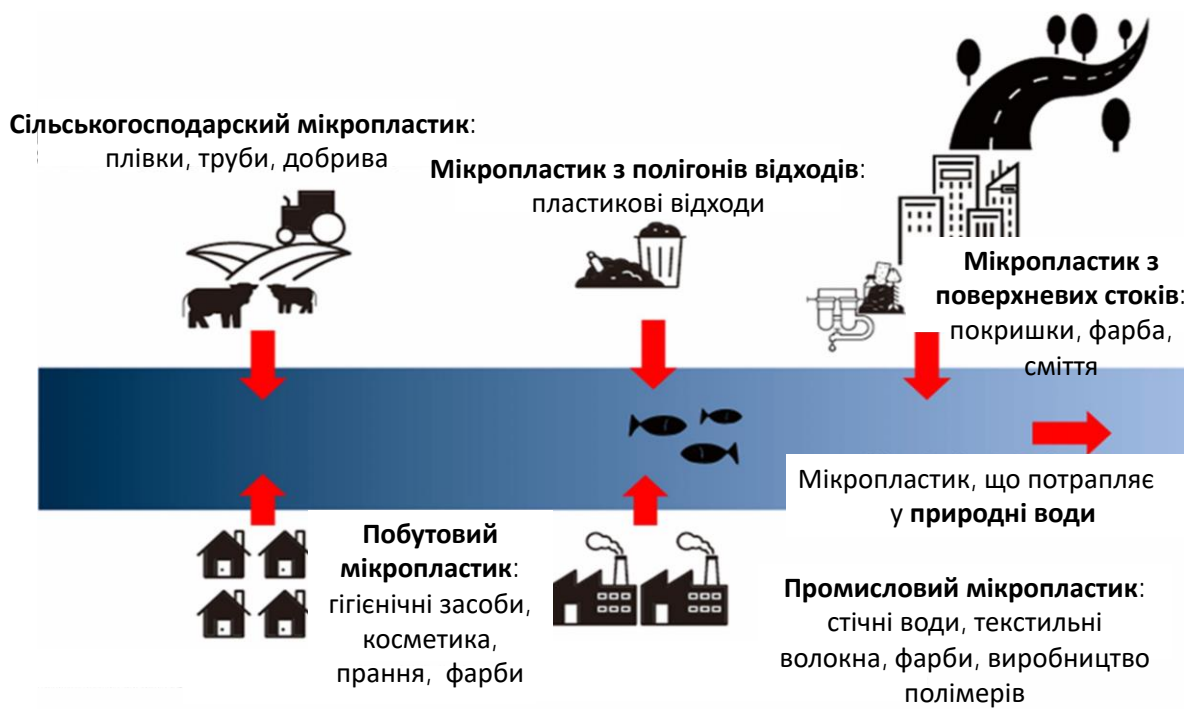


Рисунок 1.3 – Джерела забруднення природних вод мікропластиком

Згідно результатів дослідження, проведеного в університеті Міннесоти, мікрочастинки пластику можна знайти у воді практично в будь-якій точці світу [6]. У ході дослідження було проведено ретельний аналіз 159 зразків води з різних регіонів Землі, включаючи США, Європу, Індонезію, Уганду, Бейрут, Індію та Еквадор. У 83% досліджених проб знайшли пластик. Жодна країна не може похвалитися тим, що її водойми повністю чисті.

## 1.2 Процеси трансформації пластику у мікропластик у навколишньому середовищі

Пластик не може повністю розкластися у природньому середовищі, він здатен лише подрібнитися чи трансформуватися. Наскільки швидко це відбудеться, залежить від багатьох чинників, серед яких основними є контакт з рідинами, вплив температури чи хімічних сполук. У береговій зоні домінуючим процесом є температурна дія. Враховуючи, що питома

Інв. Нагтобл.	Тіпл. і дата	Взаєм. ІНБ. №	Інв. Не. Не. Обл.	Тіпл. і дата
Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
ТС 14060367				Арк
				12

теплоємність піску відносно низька (664 Дж/кгК), то поверхня піщаного пляжу і пластикові відходи, що знаходяться в межах пляжу, влітку можуть нагріватися до температури + 40 °С. При більш високих температурах залежно від енергії активації процесу (Ea) фотоокислювальне розкладання значно прискорюється. Наприклад, при Ea ~ 50 кДж/моль, швидкість деградації збільшується удвічі при підвищенні температури всього на 10 °С [7].

Деградація – це хімічна зміна, яка різко знижує середню молекулярну масу полімеру. Оскільки механічна цілісність пластмас незмінно залежить від їх високої середньої молекулярно-масової ваги, будь-яка значна ступінь деградації неминуче послаблює матеріал. Сильно розкладені пластмаси стають крихкими, щоб розпастися на порошкоподібні фрагменти при обробці. Навіть ці фрагменти, які часто не видно неозброєним оком, можуть зазнати подальшої деградації (як правило, за допомогою мікробіологічної біодеградації), при цьому вуглець в полімері перетворюється на CO<sub>2</sub>. Коли цей процес закінчується, і весь органічний вуглець у полімері перетворюється, це називається повною мінералізацією [8].

Деградація пластику класифікується відповідно процесу, який його спричиняє:

- біодеградація – дія живих організмів, як правило, мікробів;
- фотодєградація – дія світла (зазвичай сонячного світла під відкритим небом);
- термоокислювальна деградація – повільний окислювальний розпад при помірних температурах;
- термічна деградація – дія високих температур;
- гідроліз – реакція з водою.

Деградація пластичних полімерів може протікати абіотичним або біотичним шляхом. Зазвичай абіотична деградація передуює біодеградації і ініціюється термічно, гідролітично або ультрафіолетовим світлом у навколишньому середовищі [9]. Менші фрагменти полімеру, утворені

Інв. Нагтобл.	Тіпл. і дата	Взаєм. ІНБ. №	Інв. Набувл.	Тіпл. і дата
---------------	--------------	---------------	--------------	--------------

Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						13

абіотичною деградацією, можуть проходити через клітинні мембрани і біодеградуються в клітинах мікроорганізмів клітинними ферментами, проте деякі мікроби також виділяють позаклітинні ферменти, які можуть діяти на певні пластичні полімери. Більшість пластмас спочатку руйнуються на поверхні полімеру, яка піддається впливу і доступна для хімічного або ферментативного впливу. Тому деградація мікропластику протікає швидше, ніж мезо- та макропластика, оскільки мікропластик має більш високе відношення поверхні до об'єму. Першими візуальними ефектами деградації полімеру є зміни за кольором і розтріскування поверхні. Поверхнєве розтріскування робить внутрішню частину пластикового матеріалу доступною для подальшої деградації, що врешті-решт призводить до крихкості та розпаду.

Пластикові матеріали в навколишньому середовищі піддаються впливу умов, які можуть сприяти вивітрюванню внаслідок будь-якого з вищезазначених процесів. Однак не всі види шляхів деградації ефективні для всіх типів полімерів.

За типами полімерів виділяють наступні групи пластиків, які призводять до забруднення навколишнього середовища, зокрема природних вод, мікропластиком, а також можуть бути небезпечними для здоров'я людини [10]:

РЕТ (ПЕТ) – поліетилентерефталат. Його використовують для виготовлення упаковок (пляшок, коробок, банок) для розливу прохолодних напоїв, соків, води. Також цей матеріал зустрічається на упаковках для порошоків, сипучих харчових продуктів.

HDPE (ПНД) – поліетилен високої щільності низького тиску. Його застосовують для виготовлення виробів, що контактують з харчовими продуктами, іграшок. Цей матеріал є безпечним для харчового використання і зберігання їжі.

№в. Нагтобл.	Тіпл. і дата	Взаєм. І№в. №	І№в. Наубл.	Тіпл. і дата

Випр.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 14060367

Арк

14

PVC (ПВХ) – полівінілхлорид. Використовують для труб, трубок, садових меблів, в підлогових покриттях, для віконних профілів, жалюзі, пляшок миючих засобів. Матеріал є потенційно небезпечним для харчового застосування, так як може містити діоксини, бісфенол А, ртуть, кадмій та інші.

LDPE (ПВД) – поліетилен низької щільності високого тиску. З нього виробляють поліетиленові пакети, гнучкі пластикові упаковки, вироби для пакування і закупорювання лікарських засобів.

PP (ПП) – поліпропілен. Його застосовують в автомобільній промисловості (обладнання, бампери), при виготовленні іграшок, в харчовій промисловості, в основному при виробництві упаковок. Поліпропілен витримує високі температури, тому посуд можна використовувати для гарячої їжі і напоїв. Контакт з алкоголем можливий, але небажаний. Пластикові одноразові стаканчики, що роблять з поліпропілену, до гарячих рідин «байдужі», тому шкідливих речовин при нагріванні не виділяють. Але вони мають інший властивістю: при контакті з алкоголем або газованими напоями (з будь-якими складними хімічними сполуками) можуть виділяти формальдегід або фенол. З цього випливає, що воду пити з такої склянки можна, а от горілку – не варто. Формальдегід має яскраво виражені мутагенні властивості, володіє алергенною і подразнюючою дією. Контакт людського організму з середовищем, що містить цю речовину, може привести до появи раку дихальних шляхів і багатьох інших важких захворювань аж до лейкозу. До ознак, характерних для отруєння формальдегідом через його вдихання, відносять кон'юнктивіт і прогресуючий набряк легень. Потрапляння даної речовини в організм через шлунково-кишковий тракт може стати причиною його хімічного опіку, ерозії, виразки.

PS (ПС) – полістирол. Використовують при виготовленні плит теплоізоляції будівель, харчових упаковок, столових приладів і чашок, іншого одноразового посуду, коробок CD, піноматеріалів, іграшок, ручок. Посуд з полістиролу придатна виключно для холодних харчових продуктів і

Інв. Нагтобл.	Тіпл. і дата	Взаєм. ІНБ. №	Інв. Нагтобл.	Тіпл. і дата
---------------	--------------	---------------	---------------	--------------

Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
------	-----	----------	-------	------

ТС 14060367

Арк

15

прохолодних напоїв, так як при нагріванні або контакті з гарячим виділяє стирол – високотоксичну речовину, що відноситься до III класу небезпеки. Стирол служить основою для виготовлення полімеризаційних пластиків (полістиролів), склопластиків, синтетичних каучуків, поліефірних смол. Практично всі реакції, яким піддаються стирол і його гомологи, несуть потенційну загрозу здоров'ю і життю людей. Вдихання його парів загрожує численними гострими і хронічними захворюваннями. Тривале потрапляння стиролу в організм людини може призводити до ураження дихальних шляхів, подразнення шкіри і слизових оболонок, ураження печінки, нирок, кровоносної і нервової систем.

OTHER або O – інші. До цієї групи відносять будь-який інший пластик без літерного коду, що не може бути включений в попередні групи. Служить як багат шарова упаковка або комбінований пластик. Наприклад, полікарбонат, який не є токсичним для навколишнього середовища [3].

Пластикове забруднення переміщується по всьому Світовому океану переважаючими вітрами та поверхневими течіями. Це було показано для північної півкулі, де тривалий поверхневий транспорт призводить до накопичення пластикової підстилки в центрі океанських басейнів. Класи пластмас, які часто зустрічаються в морському середовищі наведені у таблиці 1.1.

Пластик, що плаває на поверхні океану, піддається впливу помірних температур, сонячної радіації на довжинах хвиль 300 нм і більше та окислювальних умов. Оскільки температури помірні, найважливішими факторами, що ініціюють абіотичну деградацію, є кисень та сонячне світло.

Інв. Нагтобл.	Тіпл. і дата	Взаєм. ІНБ. №	Інв. Наубл.	Тіпл. і дата

Випр	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						16



Таблиця 1.1 – Класи пластмас, що призводять до утворення мікропластику

Клас пластика	Питома вага	Відсоток виробництва	Продукція та типове походження
Поліетилен низької щільності	0,91–0,93	21%	Поліетиленові пакети, пляшки, сітки, соломинки для пиття
Поліетилен високої щільності	0,94	17%	Пляшки для молока та соку
Поліпропілен	0,85–0,83	24%	Мотузка, кришки від пляшок, сітки
Полістирол	1,05	6%	Пластиковий посуд, контейнери для їжі
Нейлон		<3%	Сітка та пастки
Термопластичний поліестер	1,37	7%	Пластикові пляшки для напоїв
Полівінілхлорид	1,38	19%	Пластикові плівка, пляшки, чашки

Для полімерів з вуглецевим каркасом (PE, PP, PS та PVC) абіотична деградація, ймовірно, передре біодеградації. Фотоініційоване окислювальне руйнування PE, PP і PS призводить до зменшення молекулярної маси та утворення карбонових кінцевих груп, а УФ-світло особливо ефективно при ініціюванні дехлорування ПВХ [11]. Потім полімерні фрагменти з меншою молекулярною масою, утворені розщепленням ланцюга після УФ-ініціації, можуть потім біодеградувати. Пластмаси, що містять гетероатоми в основному ланцюзі, такі як PET та PU, можуть розкладатися гідролізом,

№в. Нагтобл.	Типл. і дата	Взаєм. І№в. №	І№в. №зубл.	Типл. і дата

Вилр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 14060367

Арк

17

фотоокисленням та біодеградацією. Це призводить до утворення менших фрагментів і карбонових кінцевих груп.

Кілька шляхів деградації можуть мати місце одночасно, оскільки різні фактори ініціюють деградацію в морському середовищі, і тому продукти деградації можуть бути більш різноманітними, ніж очікувані для будь-якого конкретного шляху. Полімери рідко використовуються в чистому вигляді, і майже всі комерційні пластмаси містять добавки. Таким чином, описані шляхи деградації та продукти не є єдиними хімічними речовинами, що виділяються в океанську воду, оскільки пластик вивітрюється. Також виділяються добавки, і ці речовини можуть також розкладатися, утворюючи інші забруднювачі навколишнього середовища. Стабілізатори, додані до полімерів, підвищують стійкість до руйнування, але кількість, що використовується в пластикових виробках, різниться [12].

Як правило, швидкість деградації у навколишньому середовищі буде залежати від добавок. Таким чином, важко зробити кількісні твердження щодо швидкості деградації, оскільки різні продукти можуть відрізнятися за своїм складом. Крім того, інші фактори можуть впливати на показник [10]. Плавучий пластик може бути захищений від ультрафіолетового випромінювання водою або біоплівкою, що призведе до зменшення фотоініційованої деградації. Стан вивіреного пластику також відіграє певну роль, оскільки дрібні частинки та пластмаси з високим поверхневим розтріскуванням є більш сприйнятливими до деградації, а деякі шляхи деградації є автокаталітичними.

Пластик з високою молекулярною масою не піддається помітній біодеградації, оскільки види мікроорганізмів, які можуть метаболізувати ці полімери, досить рідкісні в природі. У водному середовищі це простежується відносно практично усіх видів пластика, за винятком біополімерів, таких як целюлоза і хітин. Проте в роботах деяких учених визначені декілька штамів мікробів, які здатні розкладати поліетилен (*Rhodococcus ruber* – штам C208, *Brevibacillus borstelensis* – штам 707), а також ПВХ (*Pseudomonas putida*). У

Інв. № до обл.	Тіп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № до обл.	Тіп. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						18

лабораторних умовах, впродовж 30 днів інкубації, в концентрованій рідинній культурі, актиноміцети *Rhodococcus ruber* (штам С208) змогли переробити до 8% поліолефіну в перерахунку на суху масу. Лакази, що секретуються цим видом штаму, зменшили середню молекулярну масу полімеру [12]. Але проте, в ґрунті і водному середовищі цей процес практично неможливий. Це пов'язано з тим, що ці мікроорганізми не зустрічаються у великих концентраціях і, крім того, в природі завжди є джерела легко засвоюваних поживних речовин.

### 1.3 Аналіз стану забруднення та впливу мікропластику на водні екосистеми та здоров'я людини

Складно кількісно оцінити глобальні об'єми мікропластику, що викидаються в навколишнє середовище через відсутність стандартизованих методів відбору проб і вимірювань. Для отримання інформації про масштаби забруднення води пластиком був проведений аналіз наукових джерел та лабораторних звітів як українських, так і закордонних видань. Таким чином, теоретичною базою досліджень стали новітні наукові розробки (1989-2021 рр.), в яких описано, який пластик, в якій формі і кількості присутній у питній та бутильованій воді, а також у стічних водах [6-9].

Оцінки того, скільки пластикових відходів потрапляє в океан, дуже різняться: від 1,15 до 12,7 мільйонів тонн на рік, або до 1,8 кг пластикового морського сміття на людину в усьому світі [5, 13-16]. За допомогою моделювання було підраховано, що на дні Світового океану накопичилося від 15 до 51 трильйона частинок мікропластику, що відповідає щонайменше 14 млн. тон мікропластику [16]. Ще приблизно 1,5 млн. тон щорічно потрапляє в природні води [5]. Дослідження [17] підраховали, що в усьому світі більше 80 % джерел попадання пластикових відходів у водне середовище доводиться на річковий сток, тобто берегові або сухопутні джерела [4]. При вступі

Інв. №	Титул. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № зубл.	Титул. і дата

Випр.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						19

пластикових відходів у водне середовище значну роль грає безпосереднє скидання господарчо-побутових стічних вод, забруднення берегової смуги відпочивальниками, залишки риболовецького спорядження. Близько 18 % пластикових відходів належить рибному промислу, оскільки для виготовлення снастей використовуються PE і PP. Викинуті рибальські сітки, які, за оцінками, становлять близько 500 000 тонн на рік у всьому світі, також є джерелом вторинного мікропластику, що викидається безпосередньо в океан [5].

На європейському рівні за оцінками дослідження 2021 року в океан щорічно викидається від 307 до 925 мільйонів одиниць сміття. Пластмаси становили 82% спостережуваного сміття [18]. Європейське хімічне агентство підрахувало, що 176 000 тонн ненавмисно утвореного мікропластика щорічно викидається в поверхневі води Європи через стирання та вивітрювання пластикових виробів. Щорічно в навколишнє середовище викидається ще 42 000 тонн мікропластику, навмисно доданого в продукти. Гранульований наповнювач, який використовується на полях зі штучним покриттям, є переважним джерелом цього мікропластику, що становить 16 000 тонн; інші джерела включають добавки до косметичних засобів, мийні засоби та добрива. В результаті досліджень [17] було підраховано, що щорічно в поверхневі води Європи викидається 72 000-280 000 тонн первинного мікропластика.

Щодо забруднення мікропластиком питних вод в Україні вчені Дніпровського національного університету залізничного транспорту провели аналіз водопровідної мережі міст Придніпров'я [19]. Результати дослідження показали, що питна вода містить до 4 часток пластику (іноді і менше), а бутильована вода відомих українських брендів містить понад 10 мікрочастинок пластику. Найбільшу концентрацію мікропластику у воді знаходили поблизу густонаселених міст.

На 1 літр у прісній воді концентрація була від 0 до 1000 частинок. А у питній воді, яку досліджували з меншим розміром сітки, концентрація могла

Інв. №10001.	Тіпл. і дата	Взаєм. ІНБ. №	Інв. №зубл.	Тіпл. і дата						Арк
Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 14060367					20

досягати аж до 10 000 часток на літр у окремих зразках. Найчастіше траплялися поліетилентерефталат (маркування «PET 1», з якого виготовляють переважно пляшки для води) та поліпропілен (маркування «PP 5», з якого виготовляють різну тару, в тому числі й одноразову, плівку для пакування продуктів та ін.). В менших кількостях знаходили полістирол «PS 6», з якого виробляють одноразовий посуд, а також полівінілхлорид «PVC 3», з якого виготовляють пластикові труби.

На думку вчених, видалення мікропластику зі Світового океану не є можливим [[13]. Наявність в океані величезної маси мікропластику – це нова, маловідома загроза для водних екосистем і людського організму. Багато морських тварин і птахів споживають пластик як частину їжі. Люди легко заражаються, споживаючи забруднені морепродукти, що можуть викликати серйозні проблеми зі здоров'ям – від ушкодження імунної системи до раку. Тому найефективнішим рішенням даної проблеми є скорочення пластикових відходів.

Різні країни вирішують проблему забруднення води пластиком по-своєму. Наприклад, в Сінгапурі, Бангладеш, на о. Тайвань заборонили використання пластикових пакетів. Євросоюз передбачає до 2030 р заборонити одноразові пластикові упаковки. Уряди багатьох країн вводять податки, мотивуючи своє населення відмовлятися від виробництва і використання пластику. В Україні до теперішнього часу проблему забруднення природних вод пластиком не розглядали ні на офіційному, ні на академічному рівнях. Незважаючи на всі зусилля законодавців та неурядових організацій, в океан як і раніше потрапляють тисячі пластмасових відходів. Саме тому для зниження обсягів забруднення природних вод мікропластиком, важливо удосконалити схему роботи очисних споруд для ефективного видалення пластику зі стічних вод.

Інв. Нагтобл.	Тіпл. і дата	Взаєм. ІНБ. №	Інв. Нагтобл.	Тіпл. і дата
---------------	--------------	---------------	---------------	--------------

Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						21

## РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВПЛИВУ МІКРОПЛАСТИКУ НА ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА ОЧИСНИХ СПОРУДАХ

Дослідження впливу мікропластику на ефективність процесу очищення стічних вод і впливу мікропластику на якість стічної води все ще мало, а механізм все ще недостатньо зрозумілий внаслідок відсутності статистичних та технологічних даних. Ми проаналізували особливості очищення стічних вод, що містять мікропластик, на кожному етапі очищення на очисних спорудах, а також розглянули потенційні ефекти від наявності мікропластику у стічних водах.

Очищення стічних вод на типових очисних спорудах поділяється на такі стадії:

- первинне очищення (механічне);
- вторинне очищення (біологічне);
- відокремлення активного мулу та його ущільнення;
- зневоднювання мулу;
- знезаражування очищеної води.

Схему очищення вод від мікропластику на очисних спорудах наведено на Рисунку 2.1.

### 2.1 Первинне очищення

Первинне очищення в основному видаляє зважені тверді речовини зі стічних вод фізичними методами, такими як осадження. За допомогою окислення, нейтралізації та інших методів, сильні кислоти, сильні луги та надмірно концентровані токсичні речовини в стічних водах видаляються, щоб забезпечити належні умови якості води для вторинної обробки. Зазор між крупними брусками решітки зазвичай становить 16-25 мм. Зазор між тонкими планками решітки зазвичай становить 3-10 мм.

Інв. №	№ добул.	Т. ПОП. І. ОСТА	Взаєм. ІНБ. №	Інв. № добул.	Т. ПОП. І. ОСТА
--------	----------	-----------------	---------------	---------------	-----------------

Випр.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 14060367	Арк.
						22

Інв. №дообл.	Тіпл. і оата	Взаєм. І№в. №	Інв. №зубл.	Тіпл. і дата
Випр.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

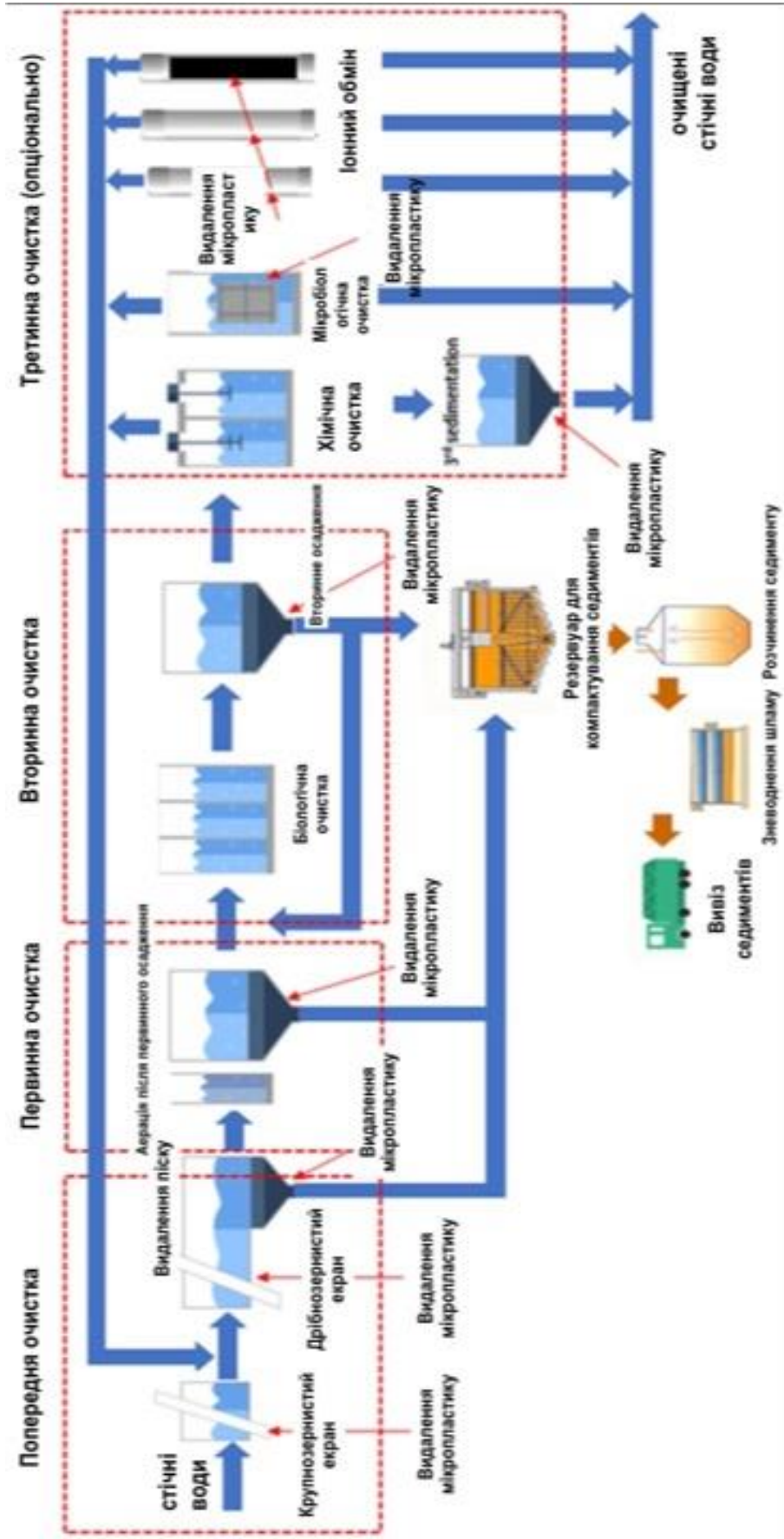


Рисунок 2.1 – Схема очищення сітчних вод від мікропластику на очисних спорудах

Через невеликий розмір частинок мікропластик не спричиняє закупорювання великих решіток, але через їх велику кількість може спричинити закупорку дрібних пор. Мікропластик може адсорбувати інші полютанти через велику площу поверхні та гідрофобність. Для досягнення такого ж ефекту очищення, що і немікропластична система, необхідно збільшити дозування реагентів. Крім того, мікропластик також може адсорбувати токсичні речовини, впливаючи на попереднє видалення забруднюючих речовин [20].

## 2.2 Вторинне очищення

Вторинне очищення стічних вод ґрунтується на первинному очищенні, а подальше очищення стічних вод шляхом біохімічної дії. Мікропластик впливає на ефективність біологічної трансформації неорганічного азоту. Ефективність трансформації в системі  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  при обробці мікропластиків, особливо нанопластиків, значно знижується [21]. Наявність мікропластику може пригнічувати процес денітрифікації, що призводить до накопичення амонію у воді [22]. Наявність мікропластику може змінити мікробіологічні процеси, які контролюють утворення амонію та процеси відновлення (нітрифікацію та денітрифікацію) [23]. Мікропластик має слабку негативну кореляцію з видаленням фосфору і позитивно корелює з біотрансформацією азоту. Це може бути пов'язано з тим, що бактерії, пов'язані з видаленням азоту, більш чутливі, ніж мікроорганізми, що накопичують фосфор [24]. Тому мікропластик зазвичай має більш негативний вплив на видалення азоту, ніж видалення фосфору. Наявність мікропластику значно підвищувала рівні загального розчиненого фосфору і розчиненого органічного фосфору, але не виявила істотного впливу на видалення фосфору в довгострокових тестах [25]. Крім того, біохімічна потреба кисню (БПК), розчинений кисень, загальний азот і загальний фосфор позитивно корелюють

Інв. Нагтобл.	Тіпл. і дата	Взаєм. ІНБ. №	Інв. Наубл.	Тіпл. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 14060367

Арк

24



з концентрацією мікропластику. Порівняно з натуральним мікропластиком, мікропластик, що вивітряється, може призвести до помітного збільшення значення БПК [26].

Завдяки величезній питомій поверхні мікропластиків їх легко зв'язувати зі зваженими речовинами в стічних водах, утворюючи сфери, що призводить до нерівномірного розподілу води. Мікропластик призводить до зниження видимої деструкції летких твердих речовин [27]. Примітно, що знижене руйнування летких твердих речовин перетворюється на більшу кількість мулу, що збільшує вартість подальшої обробки. Підраховано, що тривалий вплив високих рівнів мікропластику призведе до збільшення кількості відходів на 9,1%, що збільшує відповідні витрати на транспортування та утилізацію мулу [28].

### 2.3 Вплив мікропластику на третинну обробку

У процесі коагуляції кількість ефективного флокулянта зменшується через взаємодію між мікропластиком та негативною поверхнею флокулянтів, таких як сіль алюмінію та сіль заліза [29]. На стадії повітряної флотації поверхневі властивості мікропластика дозволяють легко адсорбувати забруднювачі та агломерати. Розмір і щільність новоутворених заповнювачів відрізняються від вихідних конструктивних параметрів повітряного флотаційного резервуара. Сконструйовані бульбашки не можуть виносити забруднювачі на поверхню води, а мікропластик деформується через попередні процеси очищення стічних вод. У процесі УФ, зворотного осмосу та мікрофільтрації мембрана легко зношується нерегулярним мікропластиком. Пошкодження мембран зворотнього осмосу відбувається внаслідок впливу високого тиску [30]. В даний час більшість очисних станцій використовують полімерні мембрани. Мікропластик, ймовірно, зношує цей тип мембрани і знижує ефективність фільтрації. Крім того, через властивості поверхні

Інв. №	№ добул.	Взаєм. ІНБ. №	Тіпл. і дата	Тіпл. і дата	Арк	Дата	№ докум.	Підп.	Дата	Арк	25
ТС 14060367										Арк	25

мікропластику забруднення мембрани також може бути викликано закупоркою або утворенням фільтраційної корки. Забруднення призводить до підвищення трансмембранного тиску, що, у свою чергу, вимагає більш тривалого часу фільтрації та призводить до більшого споживання енергії. Результати дослідження [31] свідчать про обростання латексу ПС (0,2-200 мкм) на полі (сульфонових) мембранах. При цьому для частинок менше 10 мкм характерна закупорка пор мембрани, а для частинок розміром більше 10 мкм в основному спостерігалось утворення фільтрувального корку.

Мікропластик також може вплинути на процес дезінфекції. Мікропластик може бути суспендованим у стічних водах, перешкоджаючи хлору та УФ-дезінфекції. Мікропластик можна використовувати як захисний субстрат для бактерій, які можуть протистояти дезінфекції. Крім того, озон також може окислювати мікропластик, що призводить до зменшення ефективних молекул озону.

Біоплівка вважається гарячою точкою метаболізму та важливим місцем деградації загальної органічної речовини [32]. Симбіоз різних мікроорганізмів, які співіснують у мікропластиковій біоплівці, може сприяти утворенню мікроагрегатів для спільного розкладання органічної речовини. Підвищена гетеротрофна активність, що відбувається на поверхні мікропластику, може сприяти утворенню «мертвої зони», яка може певним чином впливати на функції очищення стічних вод. Наприклад, мікропластик помітно зменшує відносну кількість мікроорганізмів, які призводять до кругообігу азоту (*Xanthobacteraceae* та *Isosphaeraceae*) [33]. За результатами проведених досліджень, амінокислотний метаболізм кофакторів і вітамінів, пов'язаних з розпадом аланіну, аспарагінової кислоти, глютамінової кислоти та інших амінокислот, очевидно, відрізняється між водою, що містить мікропластик та стічними водами без мікропластику [34]. Таким чином, мікропластик, як унікальне середовище проживання мікробів, впливає на

Інв. № добул.	Тип. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № добул.	Тип. і дата

Випр.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						26

метаболічні характеристики та потенційний метаболізм поживних речовин конкретних спільнот у зонах накопичення мікропластику.

Багато досліджень показали, що наночастинки можуть інгібувати процеси денітрифікації, видалення фосфору та хімічної потреби кисню (ХПК) [24; 35; 46]. Як різновид мікропластику, нанопластики також можуть пригнічувати ці процеси, зменшуючи кількість функціональних мікроорганізмів. Мікрогранули, що використовується у косметичних засобах та скрабах, містять антимікробні сполуки, які пригнічують мікробіологічні процеси і викликають зміни в процесах циркуляції поживних речовин [22].

Як мембранно-зв'язані ферменти, важливі для нітрифікації та денітрифікації ферменти вбудовані в клітинну мембрану або розташовані в цитоплазмі. Незважаючи на те, що захисні ефекти полімерних субстратів, прикріплення мікропластику до біомолекул на поверхні клітини збільшує можливості контакту між мікропластиком та важливими ферментами, що може призвести до зниження та інактивації активності ферментів, відповідно впливаючи на ефективність денітрифікації стічної води [26]. Коли мікропластик подрібнюється до розмірів нанометрів, через свій малий розмір він легко потрапляє в щілини між біополімерними ланцюгами, що призводить до формування новоутворених комплексів мікропластиків з білками та фосфоліпідами. Таким чином, зміни функціональних властивостей можуть призвести до прихованого впливу на кругообіг вуглецю та азоту в біоплівках [34]. Розчин для вилуговування мікропластику також може впливати на нітрифікацію. Ми узагальнили огляд останніх досліджень щодо результатів впливу мікропластику на очищення стічних вод (табл. 3.1).

Інв. № докл.	Тіпл. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № докл.	Тіпл. і дата	ТС 14060367	Арк
Випр	Арк	№ док.м.	Підп.	Дата		27

## 2.4 Вплив мікропластику на очищення осаду стічних вод

Дослідження показали, що більшість мікропластику в стічних водах затримується в осаді стічних вод з ступенем утримання до 99% [37; 38]. Концентрації мікропластику виявлені в мулі коливаються у діапазоні  $1,5 \times 10^3$  -  $2,4 \times 10^4$  мікропластику/кг [20; 39]. Крім того, на концентрацію мікропластику в стічних водах впливає і експлуатаційна швидкість очисних станцій. Робота очисних споруд від перевантаження зменшує час утримування та збільшує швидкість потоку стічних вод, скорочуючи таким чином час мікробної деградації біологічного забруднення в процесі видалення жиру, що призводить до збільшення концентрації мікропластику [40].

Анаеробне зброджування є одним із найбільш часто використовуваних методів стабілізації мулу. Першим кроком анаеробної переробки є перетворення твердих органічних речовин у розчинні субстрати. Чим вищий вміст ПВХ мікропластику, тим більше значення потреби у розчиненому хімічному кисні [37]. Це може бути пов'язано з ліпідами та нуклеїновими кислотами, що виділяються з активного мулу, що вказує на те, що розчинення активного мулу в анаеробному розщепленні посилюється при впливі ПВХ мікропластику. PE мікропластики не впливають на розчинення органічних речовин, які беруть участь у травленні, або тому, що розчинення є абіотичним процесом, або тому, що PE мікропластики не впливають на мікроорганізми, пов'язані з розчиненням. Наявність мікропластику в відробленому активному мулі негативно впливає на гідроліз білків і полісахаридів, що знижує доступність підкислених субстратів і, таким чином, виділяє менше газу [27]. Мікропластик також може знизити швидкість деградації бутирату [28]. На відміну від анаеробних систем очищення без нанопластиків, вироблення метану знизилася за наявності нанопластиків. Виробництво метану є етапом, який найбільш легко пригнічується мікропластиком [27]. Було виявлено, що висока концентрація мікропластику

Інв. № добул.	Тіпл. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № добул.	Тіпл. і дата
---------------	--------------	---------------	---------------	--------------

Випр.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
-------	------	----------	-------	------

ТС 14060367

Арк

28

ПЕ (тобто 100 і 200 частинок/г седименту) призвело до зниження виробництва метану на 12,4-27,5% із меншим метановим потенціалом та коефіцієнтом гідролізу [27]. Сумарне виробництво метану було знижено на  $27,5 \pm 0,1\%$  за наявності мікропластику (200 частинок/г седименту) [27]. Низькі рівні ПВХ мікропластиків можуть підвищити вироблення метану в активному мулі, тоді як більш високі рівні ПВХ мікропластику можуть стримувати виробництво метану та гідроліз активного мулу [37].

Мікропластик руйнує цілісність біоплівки в активному мулі, які контролюють велику кількість клітинних функцій, в тому числі активність мембранних білків. Мікропластик може проникати в клітини шляхом ендоцитозу [41]. Оскільки розмір частинок зменшується до нанометрового масштабу, він поступово наближається до товщини біоплівки (близько 4 нм). У разі контакту полістирольних нанопластиків з ліпідами нанопластики проникають в мембрану за кілька мікросекунд, після чого полістирольні нанопластики швидко розчиняються, змінюючи структуру мембран та помітно зменшуючи молекулярну дифузію за рахунок пом'якшення мембрану [42]. Окислювальний стрес є механізмом пояснення токсичності цих забруднювачів, що з'являються на клітинному рівні. Виробництво АФК у клітинах може бути відповідальним за токсичність мікропластиків [28]. Підвищення вмісту АФК в клітинах призведе до перекисного окислення ліпідів, пошкодження структури клітинної мембрани та макромолекул (наприклад, білків). Коли концентрація АФК занадто висока і перевищує власну здатність клітини до відновлення, клітини гинуть. Адсорбція між мікропластиком і клітинами також є основною причиною токсичності. Мікропластик може блокувати проходження речовин у клітини, перешкоджаючи обміну речовиною та енергією всередині та поза клітиною.

АФК, включаючи перекис водню ( $H_2O_2$ ), супероксид ( $O_2^-$ ) і гідроксильний радикал ( $OH^\cdot$ ), можуть викликати токсичний окислювальний стрес у клітинах або організмах, що призводить до втрати життєздатності

Інв. Нагтобл.	Тіпл. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. Наубл.	Тіпл. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						29

клітин. Кисень реагує з відновленими групами на МП для отримання  $O_2^-$  і  $H_2O_2$  шляхом диспропорціонування або реакцій Фентона [43]. Навіть в анаеробних умовах АФК може вироблятися киснем у субмікромолярних концентраціях, що утримуються в середовищі. Крім того, взаємодія утвореного  $H_2O_2$  і відновленого заліза, викличуть додаткові АФК. Дослідження показали, що зі збільшенням концентрацій мікропластику у стічних водах, і відповідно у мулі, спостерігалось збільшення продукції АФК в клітинах[27]. Мікропластик також може збільшити частку мертвих клітин. Коли концентрація мікропластику становить 60 частинок/г седименту, частка мертвих клітин досягає  $28,9 \pm 1,9\%$ . Чим вища концентрація, тим більша частка [27].

Пластмаси також поглинають або містять іони металів, такі як залізо, мідь і срібло [44]. Вони беруть участь у молекулярному транспорті та клітинних сигнальних шляхах у низьких концентраціях, таким чином регулюючи основні клітинні процеси в усіх організмах. Тим не менш, надлишок іонів цих іонів може викликати несприятливі ефекти, такі як зміни в активності ферментів або окислювальний стрес, утворення вільних радикалів, пошкодження ДНК та перекисне окислення мембранних ліпідів [44]. Інші іони металів, такі як срібло та алюміній, також можуть викликати апоптоз, оскільки вони можуть безпосередньо взаємодіяти з ДНК. Отже, деградація старіючих пластмас і виділення токсичних речовин є основною загрозою для навколишнього середовища.

Потенційні ефекти можуть виникати опосередковано від вимивання полімерів з хімічних речовин, пов'язаних з мікропластиком. Добре відомо, що велика кількість гнучких виробів з ПВХ, таких як труби, синтетична шкіра або пластикові підлогові покриття, містять ксеноестрогени, такі як фталати та ВРА, як пластифікатори [45]. Крім того, деякі металоестрогени, такі як алюміній, а також мідь, були додані до виробничих процесів як каталізатори, біоциди, УФ-стабілізатори та термостабілізатори. Добавки до пластмас забезпечують антимікробну здатність до розкладання, що покращує

Інв. №	№ док.	Дата	Інв. №	№ док.	Дата
Інв. №	№ док.	Дата	Інв. №	№ док.	Дата
Інв. №	№ док.	Дата	Інв. №	№ док.	Дата
Інв. №	№ док.	Дата	Інв. №	№ док.	Дата

Випр	Арк	№ док.	Підп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						30



Літп. і дата	№.№докл.	Взаєм.№.№	Літп. і дата	№.№докл.

Таблиця 2.1 – Вплив мікропластику на очищення стічних вод та мулу

Види мікропластику	Концентрації мікропластику	Розмір частинок	Уражені об'єкти	Ефективність методу очистки	Посилання
NH <sub>2</sub> модифікований PS	80 мг/л	50 нм	Життєздатність клітин	-13,8%	[27]
NH <sub>2</sub> модифікований PS	160 мг/л	50 нм	Життєздатність клітин	-24,5%	[27]
PS	160 мг/л	55 нм	Життєздатність клітин	-25,0%	[27]
NH <sub>2</sub> модифікований PS	320 мг/л	50 нм	Життєздатність клітин	-34,0%	[27]
PS	320 мг/л	55 нм	Життєздатність клітин	-32,7%	[27]
NH <sub>2</sub> модифікований PS	320 мг/л	1 мкм	Життєздатність клітин	-16,4%	[27]
PS	80 мг/л	55 нм	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Переривати	[27]
ПП	0,045 частинок/г (WW)	0,033-5 мм	Концентрація амонію	+45,3% (близько)	[23]
PE , PP і PS	не вказано	0,1-5 мм	БПК	Позитивна кореляція	[26]

TC 14060367

Вид	ДРК	№ док.м.	Літп.	Дата
32	ДРК			



Ліп. / дата	№. № дубл.	Взаєм. №. №	Ліп. / дата	№. № дубл.

Вид	Адрк	№ докум.	Ліп.	Дата	Види мікропластику	Концентрації мікропластику	Розмір частинок	Уражені об'єкти	Ефективність методу очистки	Посилання
					PE , PP і PS	не вказано	0,1-5 мм	Загальний азот	Позитивна кореляція	[26]
					PE , PP і PS	не вказано	0,1-5 мм	Загальний фосфор	Позитивна кореляція	[26]
					Вивітрювання ПВХ	не вказано	<0,3 мм	БПК	+164,0% (близько)	[26]
					PS	0,2 г/л	54,8 нм	Максимальна добова норма вироблення метану	-40,7%	[40]
					PS	0,2 г/л	54,8 нм	Зростання <i>Acetobacteroides hydrogenes</i>	Інгібується протягом 35 днів	[40]
					PS	0,1 мг/мл	28,2-91,3 нм	Середній OUREn	-13,1%	[41]
					PS	5 мг/мл	28,2-91,3 нм	Середній OUREn	Значно знизився (P <0,001)	[41]
					PS-NH <sub>2</sub>	20 мкг/мл	<5 мм	Загальна відносна чисельність споріднених видів	-35,6%	[39]
					PS-SO <sub>3</sub> H	100 мкг/мл	<5 мм	Виробництво метану	-17,5%	[39]
					PS-SO <sub>3</sub> H	100 мкг/мл	<5 мм	Загальна відносна чисельність споріднених видів	-29,5%	[39]
					ПЕТ	60 частинок/г-TS	<5 мм	Максимальне вироблення водню	-29,3±0,1%	[28]

TC 14060367

Ліп. / дата	№. №убл.	Взаєм. №. №	Ліп. / дата	№. №убл.

Вид	Арку	№ докум.	Ліп.	Дата	Види мікропластику	Концентрації мікропластику	Розмір частинок	Уражені об'єкти	Ефективність методу очистки	Посилання
					ПЕТ	60 частинок/г-TS	<5 мм	Деградація білка	-20,3±0,1% (приблизно)	[28]
					ПЕТ	60 частинок/г-TS	<5 мм	Деградація полісахаридів	-13,2±0,1% (приблизно)	[28]
					ПЕТ	60 частинок/г-TS	<5 мм	Розпад амінокислот	-17,8%	[28]
					ПЕТ	60 частинок/г-TS	<5 мм	Деградація моносахаридів	-11,6±2,1%	[28]
					ПЕТ	60 частинок/г-TS	<5 мм	Деградація бутирату	-17,3%	[28]
					ПЕТ	60 частинок/г-TS	<5 мм	Велика кількість <i>Firmicutes</i>	-12,2±0,1%	[28]
					ПЕТ	60 частинок/г-TS	<5 мм	Велика кількість <i>актинобактерій</i>	-20,5±0,1%	[28]
					ПЕТ	60 частинок/г-TS	<5 мм	Велика кількість <i>Bacteroidetes</i>	-29,6±0,2%	[28]
					ПЕТ	60 частинок/г-TS	<5 мм	Велика кількість <i>Bacteroides</i> sp.	-23,8±0,1%	[28]
					ПП	100 частинок/г-TS	40±2мкм	Виробництво метану	-12,4%	[27]
					ПП	200 частинок/г-TS	40±2мкм	Виробництво метану	-27,5±0,1%	[27]
					ПП	200 частинок/г-TS	40±2мкм	Послідовність мікробної спільноти	-13,2%	[27]
					ПП	200 частинок/г-TS	40±2мкм	Відносна кількість <i>протеобактерій</i>	-12,2%	[27]

TC 14060367

Ліп. / дата	№. №убл.	Взаєм. №. №	Ліп. / дата	№. №убл.

Види мікропластику	Концентрації мікропластику	Розмір частинок	Уражені об'єкти	Ефективність методу очистки	Посилання
ПП	200 частинок/г- TS	40±2мкм	Відносна чисельність <i>Rhodobacter</i> sp.	-15,2±0,1%	[27]
ПП	200 частинок/г- TS	40±2мкм	Відносна чисельність <i>Proteiniclasticum</i> sp.	-24,1±0,3%	[27]
ПП	200 частинок/г- TS	40±2мкм	Відносна чисельність <i>Proteiniborus</i> sp.	-28,2±0,2%	[27]
ПП	200 частинок/г- TS	40±2мкм	Відносна чисельність <i>Fonticella</i> sp.	-19,4±0,1%	[27]
ПП	200 частинок/г- TS	40±2мкм	Швидкість розпаду розчинного білка	-16,1%	[27]
ПП	200 частинок/г- TS	40±2мкм	Швидкість розпаду вуглеводів	-8,1%	[27]
ПП	200 частинок/г- TS	40±2мкм	Швидкість розпаду амінокислот	-9,4%	[27]
ПП	200 частинок/г- TS	40±2мкм	Швидкість деградації моносахаридів	-11,2%	[27]
ПП	100 частинок/г- TS	40±2мкм	Сукупне виробництво метану	-10,9±0,5%	[27]
ПП	200 частинок/г- TS	40±2мкм	Сукупне виробництво метану	-22,7±0,4%	[27]
ПП	200 частинок/г- TS	40±2мкм	Життєздатність клітин	-15,4%	[27]

ТС 14060367

Ліп. / дата	№. №дубл.	Взаєм. №. №	Ліп. / дата	№. №дубл.

Вид	Арку	Види мікропластику	Концентрації мікропластику	Розмір частинок	Уражені об'єкти	Ефективність методу очистки	Посилання
		ПВХ	20 частинок/г	1 мм	Виробництво метану	-9,4%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	Виробництво метану	-24,2%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	Розчинний білок	Накопичення +14,7%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	VFA	16,8±0,2%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	протеаза	-12,9%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	АК	-12,8%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	F 420	-20,7%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	Велика кількість протеобактерій	-10,8±0,1%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	Велика кількість <i>Chloroflexi</i>	-4,3±0,1%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	Велика кількість <i>Firmicutes</i>	-10,2±0,1%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	Велика кількість <i>Euryarchaeota</i>	-14,7%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	Велика кількість <i>Rhodobacter sp</i>	-13,1%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	Численні <i>Proteiniborus sp .</i>	-25,0%	[37]
		ПВХ	60 частинок/г	1 мм	Велика кількість <i>Garciella sp.</i>	-42,1%	[37]

TC 14060367

Підп. і дата	№. №зубл.	Взаєм. №	Підп. і дата	№. №зубл.

Види мікропластику	Концентрації мікропластику	Розмір частинок	Уражені об'єкти	Ефективність методу очистки	Посилання
ПВХ	60 частинок/г	1 мм	Численні <i>Methanosaeta</i> sp.	-16,5%	[37]
<p>TC 14060367</p>					
Арк	37				

Види мікропластику  
 Арк  
 № об'єкту  
 Підп.  
 Дата

## РОЗДІЛ 3 АЛЬТЕРНАТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ВІД МІКРОПЛАСТИКУ

Існує багато шляхів для вирішення проблеми очищення води від пластику, але вони зводяться в основному до двох: перший – це створення нових видів пластмас і матеріалів, що розкладаються в природі і нешкідливі для екосистем та здоров'я людини; другий – вдосконалення діючих і створення нових ефективних методів і технологій для очищення води від пластику.

### 3.1 Технологія очищення вод від мікропластиком за допомогою фільтрації

В даний час для видалення мікропластиків використовуються лише дуже дорогі або неефективні методи, при яких до стічних вод (глибинна фільтрація, мікрофільтрація та УФ) додаються або занадто неефективні та негнучкі (флокуляція та осадження), або хімічні реагенти (глибинна фільтрація, мікрофільтрація та УФ). Було доведено, що такий підхід є проблематичним для екосистем, ефективного вторинного відновлення або відновлення матеріалу. За результатами досліджень технологія використання мембранного реактору є більш ефективною, ніж використання звичайного активного мулу для видалення мікропластику зі стічних вод [47]. Багато досліджень показали, що фільтрація відіграє важливу роль у видаленні мікропластику. Однак у цього методу є свої недоліки, оскільки механічне напруження, яке створюється на поверхні фільтру, може призвести до зношування мікропластику, що дозволяє їм без обмежень потрапляти в навколишнє середовище. Інша причина полягає в тому, що дрібним частинкам потрібно більше часу для фільтрації і вони схильні до засмічення, що призводить до збільшення часу та витрат на технічне обслуговування, які перекладаються на

Інв. № докл.	Тіп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № докл.	Тіп. і дата
--------------	-------------	---------------	--------------	-------------

Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						38

споживачів. Деякі дослідження показали, що біологічно активний фільтр не впливає на зниження концентрації мікропластиків [29]. Швидкість видалення мікропластику при вторинній обробці становила приблизно від 64% до 99,56% [48].

Для уловлювання тонких часток пластику ми пропонуємо здійснювати проціджування на вібраційних грохотах, на яких встановлюють щілиновидні сита (Рис. 3.1) з розмірами отворів 0,1-0,25 мм. Такі грохоти широко застосовують в гірничорудній і вугільній промисловості для зневоднення концентрату на збагачувальних фабриках. Для підвищення ефективності вилучення пластику можна встановлювати багатоступінчате проціджування (2 і більше ступені) на грохотах. Це дозволить вловлювати частинки пластику з розмірами від 0,1 мм до 30 мкм і менше. Фільтрування, але вже як доочищення, може бути здійснено через шар розробленого нами спеціального зернистого матеріалу. Він дозволяє затримувати забруднення у воді, в тому числі і пластик з розмірами менше 30-40 мкм [19].



Рисунок 3.1 – Щілиновидні сита

Інв. № дообл.	Тіп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дообл.	Тіп. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата	ТС 14060367

Ефективність різних методів видалення мікропластику узагальнено у Таблиці 3.1.

### 3.2 Золь-гель метод

Це новий метод видалення полімерів зі стічних вод шляхом золь-гель-індукованої агломерації для утворення величезних агломератів частинок. Завдяки тому, що він економічний і хімічно стабільний, синтетичний аморфний кремній (силан) найбільш придатний для використання як каталізатор, носій та адсорбент. Були проведені дослідження для перевірки ПАВ як адсорбенту органічних та неорганічних забруднювачів при очищенні стічних вод [49]. Силан утворюється в результаті гідролізу та конденсації для утворення макромолекулярної мережі під час золь-гель процесу. Для очищення вод від мікропластику застосовуються N-алкілзаміщені хлорсилани, оскільки вони високореакційні при контакті з водою [50]. Через низьку стабільність силанів і каталітичний ефект соляної кислоти, що виділяється під час гідролізу, силани конденсуються та зливаються, утворюючи силоксанові зв'язки, що дозволяє уникнути викиду екотоксикологічного силоксану в навколишнє середовище.

Золь-гель процес можна проводити в лужних і кислих каталітичних умовах [51]. Золь-гель процес, індукований рН, може сприяти флокуляції мікропластиків. Згодом величезні флокуляти мікропластику легше виділити зі стічних вод. Екстракти флокулянтів можна відновити теплом і переробити, що втілює екологічність. Заповнювачі можна легко ізолювати від стічних вод за допомогою систем розділення, таких як пісколовки, оскільки вони плавають. Ще одна перевага полягає в тому, що агломерація може бути повністю незалежною від типів, розмірів і кількості слідових забруднень і зовнішніх впливів (рН, температури, тиску). Зв'язок Si-OR алкоксисполук гідролізується та розщеплюється. При подальшій конденсації груп Si-OH в ході реакції утворюються силоксанові зв'язки та тривимірний твердий скелет [52]. Через

№. Нагробл.	Тип. і дата	Взаєм. №	№. Науобл.	Тип. і дата

Випр.	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						40



біоіндукований алкоксисиліл, функціоналізовані молекули діють як адгезиви між мікропластиками [52]. Тобто спочатку мікропластики ущільнюються, а потім видаляються із стічних вод.

### 3.3 Електрокоагуляція

Електрохімічні технології, такі як електрокоагуляція та електрофлотація, забезпечують менш дорогі рішення, які не залежать від хімічних реагентів чи мікроорганізмів [29]. Найбільш поширеним коагулянтами є іони металів (зазвичай  $Fe^{2+}$  або  $Al^{3+}$ ), які реагують з ОН-групою з утворенням гідроксидів металів. Гідроксидні коагулянти металів виробляються іонами під час електролізу [29]. Коагулянти утворюють шар мулу, який затримує зважені частинки і виділяє газ  $H_2$  під час електролізу, а потім піднімає осад до поверхні стічних вод. Встановлено, що при значеннях рН в діапазоні від 3 до 10 ефективна швидкість видалення мікропластику за допомогою електрокоагуляції перевищувала 90% [29]. На даний момент доведено, що електрокоагуляція ефективна для видалення барвників, важких металів і часток глини, з яких більше 80% забруднених частинок видаляється після обробки [53]. Також підтверджено ефективне видалення деяких рідких органічних сполук [54]. Порівняно з солями на основі Fe, солі на основі Al мають вищу ефективність видалення ПЕ мікропластиків [54]. Крім того, такі властивості води, як іонна сила та мутність, мало впливають на швидкість видалення.

Додавання поліакриламід, особливо аніонного поліакриламід, відіграє важливу роль у видаленні РЕ мікропластику, оскільки він виробляє позитивно заряджені флокулянти на основі Al в нейтральних умовах. Поліакриламід часто використовується для сприяння процесів очищення на очисних спорудах. Деякі дослідження довели, що рН має важливе значення для властивостей флокулянтів на основі Al [55]. У порівнянні з рН,

№. Нагробл.	Тіп. і дата	Взаєм. №. №	№. Науобл.	Тіп. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						41

поліакриламід, має значні переваги для видалення мікропластиків через сприяння коагуляції. Отже, цей вид інноваційної технології поділу, яка викликає ріст частинок і сприяє поділу, є найбільш перспективним на даний час.

### 3.4 Очищення від мікропластику методом екстракції

Крайтон та ін. запропонував метод екстракції за допомогою олії, що базується на використанні ліпофільних властивостей мікропластиків [56]. Ця технологія є високоефективним та економічним методом вилучення мікропластику з навколишнього середовища [56]. Метод використовує ліпофільність пластикових полімерів і покращує виявлення волокон. Він відокремлює щільні та важкі пластмаси від органічних речовин без дорогих або шкідливих реагентів.

Інший відомий ефективний метод екстракції є каталітична екстракція пероксидами – це метод вилучення мікропластику. Гідроксильні радикали, що утворюються під час розкладання перекису водню, окислюють більшість природних органічних речовин до карбонових кислот, альдегіди,  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  не руйнують мікропластик. Наявність каталізаторів ( $\text{FeSO}_4$ ) дозволяє швидко перетравлювати органічну речовину при додаванні  $\text{FeSO}_4$  і  $\text{H}_2\text{O}_2$  до зразка і нагріванні розчину при  $70^\circ\text{C}$  та перемішуванні протягом 30 хвилин або до завершення реакції [57].

Мул є більш складним зразком, ніж осад, оскільки він складається з в'язкої матриці органічних матеріалів, мікроорганізмів та неорганічних частинок, пов'язаних між собою біополімерами, з високою спорідненістю до більшості полімерних поверхонь. В даний час методи вилучення МП з осаду є трудомісткими і вимагають дорогих реагентів поділу по щільності та великої кількості окислювачів для видалення органічних речовин. Суджатан та ін. запропонував оптимізовану методіку вилучення МП із мулу щільністю до

№. Нагол.	Тіп. і дата	Взаєм. №	№. Науобл.	Тіп. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						42

1,34 г/см<sup>3</sup> [58]. Для частинок > 20 мкм ефективність вилучення становила 78 (±8%) [58]. Порівняно з описаними раніше методами, що використовуються для осаду, метод термічного відбілювання вимагає менше 24 годин обробки, що зменшує кількість поділу щільності розчину на 50% і витрати на обробку зразка 100 мл на 75% [58]. Результати дослідження [59] підтвердили ефективність реагенту Фентона при вилученні мікропластику з твердих субстратів (шлам, ґрунт тощо) разом із розділенням по щільності. Щоб зменшити розкладання перекису водню, крижану баню використовували періодично для регулювання температури реакції та підтримки температури нижче 40°C, що також значно захищає мікропластик [59].

ZnCl<sub>2</sub>, NaI і CaCl<sub>2</sub> можна використовувати для вилучення мікропластику з осаду та шламу. Застосування цих методів екстракції ґрунту ґрунтує на різниці щільності між мулом і мікропластиком для їх розділення. Коли зразки мулу поміщають у розчин солі високої щільності, пластикові частинки мають тенденцію спливати на поверхню розчину, тоді як більш щільні мулові матеріали залишаються в нижній частині градієнта розчину. Солі високої щільності, такі як ZnCl<sub>2</sub> і NaI були використані для покращення відновлення мікропластиків [60]. Іншими словами, їх робота полягає в тому, щоб додавати вилучений реагент до зразків, статично відстоюватися, а потім фільтрувати полікарбонатною мембраною. Вищевказані операції повторюються кілька разів, щоб витягти мікропластик із зразків. При виборі методів добування слід також враховувати економічний принцип. У таблиці 3.2 наведено аналіз вартості методів екстракції мікропластику. Екстракція за допомогою ріпакової олії має найнижчу вартість одиниці реагенту.

№. Нагол.	Тіп. і дата	Взаєм. №	№. Нагол.	Тіп. і дата	ТС 14060367	Арк
						43
Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата		

Таблиця 3.2 – Аналіз вартості видалення мікропластику за допомогою методів екстракції

Екстрагуючий реагент	Вартість налаштування	Вартість реагенту за зразок	Об'єм або вага зразку	Тривалість попередньої обробки	Тривалість екстракції	Розмір пор	Посилання
	[\$]	[\$]		[хв]	[хв]	[мкм]	
Ріпакова олія	191,63	0,96	50 г	0	90-168	1	[56]
CaCl <sub>2</sub>	67,60	75,70	455-957 г	720	35-65	55	[61]
NaI	34,40	90,00	50-200 г	0	60	0,45	[62]
ZnCl <sub>2</sub>	40000	922	500-600 мл	0	15-1440	0,3	[63]

### 3.5 Аналіз проблем, пов'язаних з наявністю мікропластику в стічних водах, та перспективи щодо їх вирішення

Незважаючи на існуючі технології очищення стічних вод від мікропластику, є багато проблем, які потребують вирішення в майбутньому.

На даний момент методи ідентифікації та виявлення мікропластика у водах є неповними. Не було сформовано стандартної системи, а всі методи виявлення очищення є руйнуючими. Крім того, не вистачає методів ідентифікації та виявлення для менших розмірів мікропластика, такого як нанопластик. З точки зору сучасних технологій, швидкість відновлення низька, а вартість висока. Надалі необхідно запропонувати методи очищення та виявлення для мікропластика з високою швидкістю відновлення, низькою вартістю, економією часу та праці та простою експлуатації.

№. Нагол.	Тіп. і дата	Взаєм. №	№. Науч.	Тіп. і дата

Мікропластик знижує ефективність процесів очищення стічних вод і мулу і збільшує об'єм мулу. Якщо велика кількість мікропластику потрапляє в систему з активним мулом, для досягнення такого ж ефекту обробки, як і немікропластична система, знадобиться більший час утримання мулу або більший резервуар, що підвищить вартість обробки. Тому внутрішні зміни в процесах очищення стічних вод і мулу повинні бути внесені для захисту процесів очищення води. Очисні споруди повинні уникати перевантаження.

Важливим кроком очищення під час видалення зерен піску в первинних відстійниках, таких як пісковловлювачі є покращення видалення мікропластиків з низькою щільністю під час видалення жиру та посилення осадження мікропластиків з високою щільністю. Далі необхідно обробити жир і пісок, щоб запобігти потраплянню мікропластиків, видалених на цьому етапі, в систему подальшої обробки. Після аерації залишки мікропластиків у первинних стоках легко поглинаються шматками мулу. Флокулянти (такі як сульфат заліза та сульфат алюмінію) можна додати до первинного відстійника, щоб допомогти накопиченню мікропластику [40]. Через гідрофобність мікропластику гідрофобні магнітні матеріали можна використовувати для адсорбції мікропластиків, а потім їх збору для видалення [55].

Для обробки мембрани способи модифікації поверхні, такі як занурення, змішування добавок за допомогою УФ-випромінювання або плазмова полімеризація та прищеплення поверхні, можуть вирішити проблему забруднення плівки. Це дозволяє уникнути забруднення плівки, спричиненого мікропластиком [55]. Потім матеріал плівки слід змінити відповідно до характеристик мікропластику (гідрофобність, негативно заряджена поверхня), наприклад, використання гідрофільної, негативно зарядженої плівки з низькою шорсткості. Після цього зняття слід обробити окремо. Поєднання цих трьох процесів може досягти мети видалення мікропластику. Для коагуляції коагулянт із позитивним зарядом після гідролізу можна вибрати відповідно до характеристик негативно зарядженого заряду на поверхні мікропластиків. Для повітряної

№. Нагол.	Тип. і дата	Взаєм. №	№. Новоубл.	Тип. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Тип.	Дата	ТС 14060367	Арк
						45

флотації параметри повітряної флотації, такі як розмір бульбашки, можна регулювати відповідно до комбінаційних характеристик мікропластику та забруднюючих речовин.

Анаеробна система очищення відіграє значну роль у очищенні стічних вод, що містять нанопластики, наприклад, у стічних водах від фарбування текстилю [40]. Тому рішенням може бути анаеробна обробка. На основі попереднього дослідження пластмаси можна було розкласти на біогаз в резервуарах для анаеробного розщеплення. На зразках шламу, що містять мікропластик, проводили термічну сушку та стабілізацію вапна. Результати показали, що надлишок мікропластиків у зразках були низькими, що вказує на те, що анаеробна обробка може зменшити кількість мікропластику [31]. Однак невідомо, чи можуть анаеробні умови викликати розпад мікропластика. Щоб запобігти впливу на перетравлення мулу мікропластику, їх можна видалити за допомогою піролізних технологій, таких як термічний піроліз, піроліз за допомогою мікрохвильової печі та каталітичний піроліз на стадії попередньої обробки.

Час гідравлічного утримання можна збільшити, щоб забезпечити видалення мікропластику. У майбутньому можна буде спроектувати та застосувати до повномасштабних очисних установок конкретні очисні установки, призначені для мікропластику, щоб виключити або зменшити ефекти негативного впливу мікропластику на системи очищення стічних вод та мулу. Більше того, нинішні процеси очисних станцій не розроблені спеціально для видалення мікропластику і неефективні для видалення мікроволокон. Надалі необхідно розробити прості, недорогі та високошвидкісні методи видалення.

Якщо концентрації токсичних речовин у мікропластику досить високі і легко виділяються, це може впливати на очищення стічних вод і мулу. Крім того, у майбутньому слід дослідити вплив форми (а також розміру) мікропластику на виконання різних процесів очищення. Розуміння механізму

№. Нагол.	Тіп. і дата	Взаєм. №	№. Новоубл.	Тіп. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						46

впливу мікропластика різного розміру на ефективність процесів очищення стічних вод дозволяє уникнути небезпек.

Рішення для мікропластика мають бути зосереджені на контролі джерел, ремонті та очищенні. На порядок денний слід поставити скорочення або навіть видалення пластикових кульок із засобів особистої гігієни, зменшення використання мішків для сміття, пропаганду зеленої упаковки, усунення надмірної упаковки та поступову заміну пластикових виробів матеріалами, що розкладаються. Водночас мул може бути другим за величиною джерелом забруднення мікропластиком. Мікропластики не розкладаються у мулі негайно після очищення, що також може вплинути на подальшу обробку та утилізацію. Зокрема, європейське співтовариство та американське законодавство дозволяють використовувати мул на землі [64]. Таким чином, велика кількість мікропластику може викидатися в наземні та водні екосистеми, в яких мікропластику можуть викликати потенційну біологічну токсичність у майбутньому.

Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата	Ілюст. і дата
Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 14060367
Арк	47				

Пізн. і дата	Інв. № докл.	Взаєм. інв. №	Пізн. і дата	Інв. № докл.

**Таблиця 3.1.** Ефективність видалення мікропластику різними методами.

Процеси / Методи	Концентрації мікропластику до очищення	Концентрації мікропластику після очищення	Ефективність видалення	Посилання
Медіа-процес	13,865 МП/л	0,28 МП/л	98% або вище	[64]
УФ	0,48 МП/л	0,28 МП/л	41,6%	[61]
Зворотний осмос	0,28 МП/л	0,21 МП/л	25%	[61]
Третинна постфільтрація	МП>500 мкм: $5 \times 10^1 / \text{м}^3$ ; МП <500 мкм: $2 \times 10^2 / \text{м}^3$ ; Синтетичні волокна: $9 \times 10^2 / \text{м}^3$	МП>500 мкм: немає; МП <500 мкм: $1 \times 10^1 / \text{м}^3$ ; Синтетичні волокна: $\times 10^1 / \text{м}^3$	МП >500 мкм: повністю, МП <500 мкм: 93%; Синтетичні волокна: 98%	[60]
MBR	6,9 МП/л	0,005 МП/л	99,9 %	[48]
Швидкий піщаний фільтр	0,7 МП/л	0,02 МП/л	97 %	[48]

ІС 14060367

Випр. Арк.	№ док.м.	Пізн.	Дата
48	Арк		



Підп. і дата	№ докум.	Взаєм. інв. №	Інв. № докл.	Інв. № докл.
--------------	----------	---------------	--------------	--------------

Випр. АРК	№ докум.	Підп.	Дата	Процеси / Методи	Концентрації мікропластику до очищення	Концентрації мікропластику після очищення	Ефективність видалення	Посилання
				Флотація розчиненим повітрям	2,0 МП/л	0,1 МП/л	95 %	[48]
				Дисковий фільтр	0,5-2,0 мікропластиків/л	0,03-0,3 МП/л	40-98,5 %	[48]
				Анаеробний мембранний реактор	83 мікропластиків/л	0,5 SAL/л	99,4 %	[51]
				Процес активного мулу	134 мікропластиків/л	5,9 SAL/л	95,6 %	[51]
				Фільтрація зернистого піску	92,8 мікропластиків/л	2,6 SAL/л	97,2 %	[51]
				Алюмінієвий електрод електрокоагуляція	0,1 г/л (300-355 мкм)	0,01-7,6×10 <sup>-4</sup> г/л	> 90%, найкраще видалення 99,24% виявлено при рН 7,5	[29]
				Біологічне очищення відстійник	2,5±0,3 мікропластиків/л	0,9±0,3 Мп/л	64%	[47]

ІС 14060367

Пізн. і дата	№ докум.	Взаєм. №	№ докл.	№ докл.
--------------	----------	----------	---------	---------

Процеси / Методи	Концентрації мікропластику до очищення	Концентрації мікропластику після очищення	Ефективність видалення	Посилання
Фільтр дезінфекція	0,9±0,3 мікропластиків/л	0,4±0,1 МП/л	55,6%	[47]
Піщаний фільтр	15,70(±5,23) мікропластиків/л	8,70(±1,56) МП/л	Максимальне зниження 44,59%	[40]
Первинний відстійник	8,70(±1,56) мікропластиків/л	3,40(±0,28) МП/л	33,75%	[40]
Аеротенк відстійник	3,40(±0,28) мікропластиків/л	0,25(±0,04) МП/л	20,07%	[40]
Аерована зерниста камера первинний відстійник	79,9 мікропластиків/л	-	40,7%	[65]
Хлорна дезінфекція	-	28,4 МП/л	7,7%	[65]
Анаеробне травлення	-	-	Вказує на меншу кількість МП	[20]

ТГ 14060367

Підп. і дата	Інв. № докл.	Взаєм. інв. №	Підп. і дата	Інв. № докл.

Процеси / Методи	Концентрації мікропластику до очищення	Концентрації мікропластику після очищення	Ефективність видалення	Посилання
Окислювальна канава	5,6±0,09 мг/л	0,168±0,02 мг/л	97%	[28]

Вилр. Арк.	№ док. ум.	Підп.	Дата

ТС 14060367

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### 4.1 Техніка безпеки при роботі на очисних спорудах

При експлуатації очисних споруд слід керуватися правилами техніки безпеки, поширеними на всі установки систем водоочищення та водовідведення, а також типовою інструкцією по експлуатації систем. Контроль кількісних показників стічних вод здійснюється в лабораторіях згідно затверджених методик.

В даному розділі на основі аналізу шкідливих та небезпечних виробничих факторів запропоновані заходи та засоби направлені на створення безпечних умов праці в лабораторії очисних споруд. Під час роботи на оператора на станції очисних споруд можуть шкідливо діяти, в основному, такі небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

- підвищена концентрація шкідливих речовин в повітрі робочої зони;
- підвищена загазованість повітря робочої зони;
- підвищена вологість повітря;
- підвищена температура повітря;
- біологічні фактори (наприклад, мікроорганізми);
- фізичні перевантаження;
- обертові частини устаткування;
- можливість падіння з висоти;
- недостатня освітленість робочої зони;
- гострі кромки, задирки, шорсткості на поверхнях деталей і вузлів інструментів, обладнання при його технічному обслуговуванні та ремонті;
- електричний струм.

№. Нагол.	Тіп. і дата	Взаєм. №	№. Новоубл.	Тіп. і дата

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 робота працівників в приміщеннях на очисних станціях відноситься до категорії середньої важкості 2б. Це такі, що виконуються стоячи, пов'язані з ходінням, переміщенням невеликих (до 10 кг) вантажів та супроводжуються помірним фізичним напруженням.

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 робота в лабораторії відносяться до категорії легкої важкості 1б. До категорії 1б належать роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням.

Мікрокліматичні умови виробничих приміщень характеризуються такими показниками: температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря, температура (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 Оптимальні та допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Оптимальна температура, °С	Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
			Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
Холодний	Легкі – 1б	21-23	40-60	75	0,1	Не більше 0,1
	Середньої важкості - 2б	17-19	40-60	75	0,2	Не більше 0,4
Теплий	Легкі – 1б	22-24	40-60	60 (при 27°С)	0,2	0,1-0,3
	Середньої важкості - 2б	20-22	40-60	70 (при 25°С)	0,3	0,2-0,5

При забезпеченні допустимих показників мікроклімату температура внутрішніх поверхонь конструкцій, що обгороджують робочу зону (стін, підлоги, стелі та ін.), або пристроїв (екранів та ін.) не повинна виходити за

№. Нагол.	Тіп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № у обл.	Тіп. і дата
-----------	-------------	---------------	---------------	-------------

Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						53

межі допустимих величин температури повітря. Перепад температури повітря повисоті робочої зони допускається до 3 °С.

Коливання температури повітря по горизонталі в робочій зоні, а також протягом зміни допускаються до 4 °С - при легких роботах, до 5 °С - при середній тяжкості роботах, при цьому абсолютні значення температури повітря, яка вимірюється на різній висоті і в різних ділянках приміщень протягом зміни, не повинні виходити за межі допустимих величин.

Мікроклімат приміщення відповідає санітарним нормам. В холодний період року фактичні значення параметрів мікроклімату підтримуються за рахунок використання системи центрального опалення.

Для зменшення впливу дії шкідливих виробничих факторів передбачені такі заходи:

1. Обладнання та робочі місця зі застосуванням шкідливих речовин оснащенні системами витяжної вентиляції, що забезпечує вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони нижче ГДК, регламентованих державними стандартами і санітарними нормами.

2. В робочих зонах, де є ризик потрапляння у повітря шкідливих виробничих речовин, передбачено встановлення газоаналізаторів.

Організація штучного освітлення необхідна для забезпечення безпеки робіт з обслуговування очисних споруд. Згідно з вимогами СН-496.77, «майданчики очисних споруд повинні мати штучне освітлення і під'їзні дороги. Майданчики для ставків-відстійників повинні бути озеленені, в разі необхідності мати огорожі».

Джерелом виробничого шуму і вібрації на каналізаційних очисних станціях є різне технологічне устаткування (обладнання з електроприводами – змішувачі, насоси, лінії транспортування осаду), а також вентиляційне устаткування (компресори, вентилятори, трубчаті аератори) [66].

№. Нагол.	Тіп. і дата	Взаєм. №	№. Новообл.	Тіп. і дата
-----------	-------------	----------	-------------	-------------

№. Нагол.	Тіп. і дата	Взаєм. №	№. Новообл.	Тіп. і дата	TC 14060367	Арк
Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата		54

З метою зниження шуму та вібрації конструкції закривають кожухами із звуконепроникного матеріалу. Також пропонується вентиляційне обладнання оснащувати звукозахисною ізоляцією і розміщувати на технічному поверсі.

Джерелами вібрації можуть бути механізми замикання, насоси, які перекачують стічну воду та осадки на різних етапах очищення. Для зменшення вібрації в механізмах замикання передбачається зменшення зусилля замикання із збільшенням ходу рухливої плити. Для зниження рівня вібрації передбачається віброізоляція. Під віброуюче устаткування ставляться амортизатори вібрацій, виготовлені зі сталевих пружин [66].

Для вимірювання та аналізу шуму і вібрації передбачені шумоміри і частотні аналізатори [66]. Вібрація на виробництві нормується згідно ДСН 3.3.6.039-99.

На очисних спорудах використовують різне електрообладнання (щити, трансформатори, насоси, електродвигуни та ін.) і порушення правил експлуатації "Правила влаштування електроустановок" може призвести до ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу [67].

При обслуговуванні електродвигунів насосів, вентиляторів, освітленняустановок та іншого електрообладнання технологічний персонал повинен дотримуватися таких правил:

- використання ізоляції;
- розміщення струмоведучих проводів і частин обладнання на недоступній висоті;
- огорожі і екранування струмоведучих частин електроустановок;
- корпуси електродвигунів і пускової апаратури повинні бути надійно заземлені згідно з ГОСТ 12.1.030-81 (2010) "ССБТ. Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення" (опір заземлювального пристрою повинен бути не більше 4 Ом).

Електрообладнання та електроапаратура, що встановлюються на

Інв. № докл.	Тіп. і дата	Взаєм. Інв. №	Інв. № зубл.	Тіп. і дата	ТС 14060367					Арк		
										55		
					Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата			

установці по своєму виконанню повинні відповідати класу вибухонебезпечних зон, категоріям і групі вибухонебезпечних сумішей за класифікацією "Правил улаштування електроустановок" [67].

При русі рідин трубопроводами та апаратів може накопичитися статична електрика, що призведе до вибуху. З метою зменшення накопичення статичної електрики необхідно передбачити відповідний захист згідно ГОСТ 12.1.018-93 (2001) - "Пожежовибухонебезпека статичної електрики. Загальні вимоги" для відводу статичної електрики. Всі пристрої захисту приєднуються до спеціальних контурів заземлення [66].

Щити і пульти всіх призначень, на яких встановлюють прилади та інші засоби автоматизації, підлягають заземленню. У вибухонебезпечних приміщеннях передбачають заземлення щитів і пультів, до яких підведено змінний або постійний струм незалежно від його напруги.

Очисні споруди необхідно захистити від прямих ударів блискавок, згідно "Інструкція по влаштуванню блискавкозахисту будівель, споруд і промислових комунікацій" (СО 153 - 34.21.122 - 2003), передбачити наступні заходи:

- захист від прямих ударів блискавки;
- захист від вторинних проявів блискавки;
- захист від заносу високого потенціалу виконана шляхом приєднання металевих корпусів обладнання і комунікацій на вводі в блоки споруд до заземлювального пристрою.

Для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу МОС необхідно підтримувати систему заземлення і приєднання до неї в робочому стані.

В якості блискавковловлюючих пристроїв використовувати окремо встановлені на спорудах громовідводи, блискавковловлюючі сітки, а також природні громовідводи, приєднані до загального заземлюючого пристрою [66].

№. Нагол.	Тіп. і дата	Взаєм. №	№. Новоубл.	Тіп. і дата
Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата

ТС 14060367

Арк

56



З метою усунення небезпеки попадання у відкриті споруди (відстійники, пісковловлювачі, аеротенки тощо) передбачається відгородження споруд. Категорично забороняється виходити за огорожі та ходити по стінках каналів аеротенків, по бортах відстійників та трубопроводах. Канали, які подають стічну воду, активний мул в аеротенк, а також відводять очищену воду, повинні бути закриті змінними дерев'яними або бетонними щитами. При ширині каналів більше 0,8 м вони можуть бути відкритими з обов'язковою огорожею висотою не менше 1м. Для переходів через відкриті розвідні та відвідні дренажні канали глибиною 1 м і більше необхідно влаштовувати містки шириною не менше 0,7 між поручнями висотою не менше 1 м. [68].

Видалення плаваючих речовин та очищення водозливних пристроїв і збірних лотків відстійників слід виконувати, використовуючи відповідні пристосування й пристрої та дотримуючись заходів, що виключають падіння працівників у воду. Заборонено ручну очистку ходового шляху мулоскребів, мулососів, відстійників [68].

#### 4.2 Пожежна безпека на очисних спорудах

На весь комплекс і на кожен очисну споруду повинні бути складені виробничий регламент і технологічні карти [68].

На кожен об'єкт повинні бути розроблені інструкції про заходи пожежної безпеки [68].

Проходи і сходи не повинні бути захарашені будь-якими предметами, залиті водою, маслом. Сходи і площадки для обслуговування баків, ємностей та інших апаратів повинні мати надійні поручні і огорожі, що забезпечують безпеку праці обслуговуючого персоналу

Експлуатація всіх механізмів, що застосовуються на очисних спорудах, повинна здійснюватися за відповідними інструкціями.

У приміщеннях очисних споруд, де можливе раптове надходження в

Інв. № докл.	Тіп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № докл.	Тіп. і дата	ТС 14060367					Арк		
										57		
					Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата			

повітря великої кількості токсичних і вибухонебезпечних речовин, повинна передбачатися аварійна витяжна вентиляція. У цих приміщеннях повинні встановлюватися автоматичні газоаналізатори, заблоковані з аварійною вентиляцією [68].

У всіх виробничих приміщеннях повинні знаходитися первинні засоби пожежогасіння та пожежний інвентар.

Використовувати пожежний інвентар для побутових цілей забороняється. Куріння на території об'єктів і в приміщеннях заборонено.

У всіх виробничих приміщеннях повинен бути визначений клас вибухонебезпечності відповідно до положення Технічного регламенту про вимоги пожежної безпеки. Вся апаратура в даних приміщеннях встановлюється у вибухозахищеному виконанні відповідно до категорії та групою вибухонебезпечності [68].

Території очисних споруд та водозабору повинні міститися в чистоті. У літню пору на вільній території повинен своєчасно проводитися покіс трави та прибирання території від горючих відходів [68].

Інв. № дообл.	І підп. і дата	Взаєм. ІНБ. №	Інв. № дообл.	І підп. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 14060367

Арк

58

## ВИСНОВКИ

У роботі проаналізовано міжнародний досвід поводження з мікропластиком та існуючі технології очищення води від мікропластику, такі як: проціджування (механічні методи), флотаційні, мембранні і зворотньоосмотичні системи, мембранні біореактори (фізико-хімічні та комбіновані методи). Як другий шлях зниження кількості пластику у сточних та природних водах запропоновано зниження обсягів його виготовлення або створення біорозкладного пластику.

Також ми розглянули вплив мікропластику на стічні води, очищення шламу та удосконалені методи їх видалення.

В даний час існує багато досліджень щодо методів очищення та виявлення мікропластиків. Обробка з хімічними речовинами може змінити властивості мікропластика і, можливо, навіть повністю розчинити зразок, що призведе до неправильної ідентифікації. Різні методи та відсутність стандартної системи ускладнюють порівняння результатів різних досліджень.

Дослідження показали, що очисні споруди можуть видаляти частину мікропластику. Мікропластики в очисних спорудах в основному складаються з поліестеру та поліетилену. Основна морфологія зерниста і волокниста. Швидкість видалення гранул в процесах очищення стічних вод вища, ніж волокна. Щільність населення, економічний рівень, озеленення міських територій, параметри процесу очищення стічних вод, процеси зневоднення та очищення мулу можуть впливати на концентрацію та поведінку мікропластику на різних стадіях очисних станцій.

Доведено, що підвищення рівня мікропластику негативно вплине на стічні води та обробка шламу. Мікропластик впливає на пласти активного мулу. Мікропластик може пригнічувати вироблення метану в мулі та впливають на його ключові ферменти та проміжні продукти обміну речовин.

№. Нагол.	Тіп. і дата	Взаєм. №	№. Новоубл.	Тіп. і дата	TC 14060367	Арк
						59
Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата		

Крім того, мікропластик зменшує різноманітність біологічних спільнот і загальну кількість мікроорганізмів.

Інв. № тобл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № зубл.	Підп. і дата	ТС 14060367	Арк
Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		60



11. Новікова І.В. Очистка вод Світового океану від мікропластику з використанням асцидій для біоіндикації: Магістерська робота, Київ, 2020, 79 с.
12. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Біотехнології очищення води» напряму підготовки 6.051401 - біотехнологія. Електронне видання. Уклад.: Саблій Л.А., Бойчук С.Д., Жукова В.С. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. 58с.
13. Jambeck, J. R., et al., 2015, Plastic waste inputs from land into the ocean', Science 347(6223), 768-771.
14. Sherrington, C., 2016, Plastics in the marine environment, Eunomia, Bristol, UK, <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/plastics-in-the-marine-environment>.
15. Lebreton, L. C. M., et al., 2017, 'River plastic emissions to the world's oceans', Nature Communications 8, 15611.
16. Barrett, J., et al., 2020, 'Microplastic pollution in deep-sea sediments from the Great Australian Bight', Frontiers in Marine Science 7, 576170
17. Meijer, L. J. J., et al., 2021, 'More than 1000 rivers account for 80% of global riverine plastic emissions into the ocean', Science Advances 7(18), eaaz5803.
18. Wang, F., et al., 2018, 'Interaction of toxic chemicals with microplastics: a critical review', Water Research 139, pp. 208-219
19. Долина Л.Ф., Машихіна П.Б., Козачина В.А. Реконструкція систем водопостачання та водовідведення: Монографія: – Дніпро: Журфонд, 2021. – 220 с.
20. A. Bakir, S.J. Rowland, R.C. Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions, Estuarine, Coastal and Shelf Science 140 (2014) 14-21.
21. X. Sun, B. Chen, Q. Li, N. Liu, B. Xia, L. Zhu, K. Qu, Toxicities of polystyrene nano- and microplastics toward marine bacterium Halomonas alkaliphila, Sci. Total Environ. 642 (2018) 1378-1385.

Інв. № докл.	Тіп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № докл.	Тіп. і дата	TC 14060367					Арк
										62
Випр	Арк	№ докум.	Тіп.	Дата						

22. M. Cluzard, T.N. Kazmiruk, V.D. Kazmiruk, L.I. Bendell, Intertidal concentrations of microplastics and their influence on ammonium cycling as related to the shellfish industry, Arch. Environ. Con. Tox. 69 (2015) 310-319.
23. D.S. Green, B. Boots, N.E. O Connor, R. Thompson, Microplastics affect the ecological functioning of an important biogenic habitat, Environ. Sci. Technol. 51 (2016) 68-77.
24. Y. Chen, Y. Su, X. Zheng, H. Chen, H. Yang, Alumina nanoparticles-induced effects on wastewater nitrogen and phosphorus removal after short-term and long-term exposure, Water Res. 46 (2012) 4379-4386.
25. H. Liu, X. Yang, G. Liu, C. Liang, S. Xue, H. Chen, C.J. Ritsema, V. Geissen, Response of soil dissolved organic matter to microplastic addition in Chinese loess soil, Chemosphere 185 (2017) 907-917.
26. G. Caruso, C. Pedà, S. Cappello, M. Leonardi, R. La Ferla, A. Lo Giudice, G. Maricchiolo, C. Rizzo, G. Maimone, A.C. Rappazzo, L. Genovese, T. Romeo, Effects of microplastics on trophic parameters, abundance and metabolic activities of seawater and fish gut bacteria in mesocosm conditions, Environmental science and pollution research 25 (2018) 30067-30083.
27. W. Wei, Q. Huang, J. Sun, X. Dai, B. Ni, Revealing the mechanisms of polyethylene microplastics affecting anaerobic digestion of waste activated sludge, Environ. Sci. Technol. 53 (2019) 9604-9613.
28. W. Wei, Y. Zhang, Q. Huang, B. Ni, Polyethylene terephthalate microplastics affect hydrogen production from alkaline anaerobic fermentation of waste activated sludge through altering viability and activity of anaerobic microorganisms, Water Res. 163 (2019) 114881.
29. W. Perren, A. Wojtasik, Q. Cai, Removal of microbeads from wastewater using electrocoagulation, ACS Omega 3 (2018) 3357-3364.
30. C.Y. Lai, A. Groth, S. Gray, M. Duke, Enhanced abrasion resistant PVDF/nanoclay hollow fibre composite membranes for water treatment, J. Membrane Sci. 449 (2014) 146-157.

И№.№гдоп.	Тип. / дата	Взаем.И№.№	И№.№вубл.	Тип. / дата	TC 14060367					Арк		
										63		
					Випр	Арк	№ докум.	Тип.	Дата			





41. L. Feng, J. Wang, S. Liu, X. Sun, X. Yuan, S. Wang, Role of extracellular polymeric substances in the acute inhibition of activated sludge by polystyrene nanoparticles, *Environ. Pollut.* 238 (2018) 859-865.
42. G. Rossi, J. Barnoud, L. Monticelli, Polystyrene nanoparticles perturb lipid membranes, *The Journal of Physical Chemistry Letters* 5 (2014) 241-246.
43. H. Mu, Y. Chen, Long-term effect of ZnO nanoparticles on waste activated sludge anaerobic digestion, *Water Res.* 45 (2011) 5612-5620.
44. M. Kedzierski, M. D'Almeida, A. Magueresse, A. Le Grand, H. Duval, G. César, O. Sire, S. Bruzaud, V. LeTilly, Threat of plastic ageing in environment. Adsorption/desorption of micropollutants, *Mar. Pollut. Bull.* 127 (2018) 684-694.
45. A. Turner, Heavy metals, metalloids and other hazardous elements in marine plastic litter, *Mar. Pollut. Bull.* 111 (2016) 136-142.
46. T.J. Suhrhoff, B.M. Scholz-Böttcher, Qualitative impact of salinity, UV radiation and turbulence on leaching of organic plastic additives from four common plastics-a lab experiment, *Mar. Pollut. Bull.* 102 (2016) 84-94.
47. M. Lares, M.C. Ncibi, M. Sillanpää, M. Sillanpää, Occurrence, identification and removal of microplastic (2018) 236-246.
48. S. Magni, A. Binelli, L. Pittura, C.G. Avio, C. Della Torre, C.C. Parenti, S. Gorbi, F. Regoli, The fate of microplastics in an Italian Wastewater Treatment Plant, *Sci. Total Environ.* 652 (2019) 602-610.
49. M. Wawrzekiewicz, M. Wiśniewska, A. Wołowicz, V.M. Gun'Ko, V.I. Zarko, Mixed silica-alumina oxide as sorbent for dyes and metal ions removal from aqueous solutions and wastewaters, *Micropor. Mesopor. Mat.* 250 (2017) 128-147.
50. N. Hurkes, H.M.A. Ehmman, M. List, S. Spirk, M. Bussiek, F. Belaj, R. Pietschnig, Silanol-Based surfactants: Synthetic access and properties of an innovative class of environmentally benign detergents, *Chemistry - A European Journal* 20 (2014) 9330-9335.

Ид. № докл.	Титул. і дата	Взаєм. ід. №	Ид. № докл.	Титул. і дата	TC 14060367	Арк
						65
Випр	Арк	№ докум.	Титул.	Дата		



60. S. Sujathan, A. Kniggendorf, A B. Roth, K. Rosenwinkel, R. Nogueira, Heat and bleach: A cost-efficient method for extracting microplastics from return activated sludge, Arch. Environ. Con. Tox. 73 (2017) 641-648.
61. S.M. Mintenig, I. Int-Veen, M.G.J. Löder, S. Pimpke, G. Gerdt, Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging, Water Res. 108 (2017) 365-372.
62. S. Ziajahromi, P.A. Neale, L. Rintoul, F.D.L. Leusch, Wastewater treatment plants as a pathway for microplastics: Development of a new approach to sample wastewater-based microplastics, Water Res. 112 (2017) 93-99.
63. H.K. Imhof, J. Schmid, R. Niessner, N.P. Ivleva, C. Laforsch, A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments, Limnology and Oceanography: Methods 10 (2012) 524-537.
64. D. Eerkes-Medrano, R.C. Thompson, D.C. Aldridge, Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs, Water Res. 75 (2015)
65. X. Liu, W. Yuan, M. Di, Z. Li, J. Wang, Transfer and fate of microplastics during the conventional activated sludge process in one wastewater treatment plant of China, Chem. Eng. J. 362 (2019) 176-182.
66. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Чинний від 01.12.1999. –Київ: МОЗ, 1999.
67. НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок». Чинний від 06.10.1997. – Київ: Державний комітет України по нагляду за охороною праці, 1997.
68. НАПБ 06.004-07 «Перелік однотипних за призначенням об'єктів, які підлягають обладнанню автоматичними установками пожежогасіння та пожежної сигналізації» Чинний від 03.08.2007. Київ: МНС, 2007.

№. Нагол.	Тип. і дата	Взаєм. №	№. Новообл.	Тип. і дата

Випр	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 14060367	Арк
						67