

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ,
ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ Т.В. Дудар
« _____ » _____ 2022 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 101 «ЕКОЛОГІЯ»,
ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ
«ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»

Тема: «Дослідження ефективності очищення промислових стічних вод за допомогою фотокаталізу»

Виконавець: студентка групи ЕК-201М Процак Юлія Олександрівна
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник: канд.техн.наук, доцент Черняк Лариса Миколаївна
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: _____
(підпис)

Кажан К.І.
(П.І.Б.)

Нормоконтролер: _____
(підпис)

Явнюк А.А.
(П.І.Б.)

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра екології

Спеціальність, освітньо-професійна програма: спеціальність 101 «Екологія»,
ОПП «Екологія та охорона навколишнього середовища»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дудар Т.В.

«_____» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Процак Юлії Олександрівни

1. Тема роботи «Дослідження ефективності очищення промислових стічних вод за допомогою фотокаталізу» затверджена наказом ректора від «26» серпня 2022 р. №1132/ст.
2. Термін виконання роботи: з 26.09.2022 р. по 30.11.2022 р.
3. Вихідні дані роботи: методичні матеріали, дані експериментальних досліджень.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз проблеми хімічного забруднення стічних вод на авіапідприємствах; аналіз методів очистки промислових стічних вод авіапідприємств; дослідження ефективності очистки промислових стічних вод від хімічних органічних речовин методом фотокаталізу.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1	Вибір та формулювання теми дипломної роботи.	25.08.2022-26.08.2022	
2	Пошук та опрацювання літературних джерел стосовно обраної теми.	01.09.2022-15.09.2022	
3	Робота над 1 розділом дипломної роботи та висновками до нього.	17.09.2022-29.09.2022	
4	Робота над 2 розділом дипломної роботи та висновками до нього.	01.10.2022-14.10.2022	
5	Робота над 3 розділом дипломної роботи та висновками до нього.	16.10.2022-27.10.2022	
6	Робота над 4 розділом дипломної роботи та висновками до нього.	28.10.2022-05.11.2022	
7	Написання загальних висновків та попереднє редагування тексту диплому.	06.11.2022-07.11.2022	
8	Оформлення дипломної роботи відповідно до вимог.	08.11.2022-09.11.2022	
9	Остаточне редагування дипломної роботи.	10.11.2022-11.11.2022	
10	Створення презентації до дипломної роботи.	12.11.2022-14.11.2022	
11	Попередній захист дипломної роботи	15.11.2022	
12	Захист дипломної роботи.	22.11.2022	

7. Консультація з окремого(мих) розділу(ів):

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Доцент кафедри ЦПБ, Кажан К.І.		

8. Дата видачі завдання: « ___ » _____ 2022 р.

Керівник дипломної роботи (проекту): _____
(підпис керівника)

Черняк Л.М.
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання: _____
(підпис випускника)

Процак Ю.О.
(П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Дослідження ефективності очищення промислових стічних вод за допомогою фотокаталізу»: 89 с., 21 рис., 8 табл., 67 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: очищення стічних вод авіапідприємств від органічних забруднювачів.

Мета роботи: експериментально визначити ефективність та швидкість очищення води від органічних забруднювачів з використанням методу фотокаталізу.

Методи дослідження: комплексний науковий аналіз літературних джерел, проведення досліджень та лабораторних експериментів, обробка та узагальнення отриманих дослідних та науково-теоретичних даних.

АВІАПІДПРИЄМСТВО, ЗАБРУДНЕННЯ ГІДРОСФЕРИ, СТІЧНІ ВОДИ, ФОТОКАТАЛІЗ, МЕТАНОЛ, ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА АВІАПІДПРИЄМТЦВАХ	11
1.1. Авіаційна галузь як джерело забруднення довкілля	11
1.2. Хімічне забруднення складових навколишнього середовища територій авіа підприємств та прилеглих до них територій	15
1.2.1. Вплив на атмосферу.....	15
1.2.2. Вплив на ґрунти	18
1.2.3. Вплив на гідросферу.....	20
1.3. Характеристика стічних вод авіа підприємств	21
1.4. Характеристика сучасних систем відведення стічних вод та їх недоліки	23
1.5. Висновки до розділу	27
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЧИСТКИ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД АВІАПІДПРИЄМСТВ	28
2.1. Класифікація існуючих методів очистки промислових стічних вод.....	28
2.2. Сучасні методи очистки стічних вод підприємств з експлуатації та ремонту авіаційної техніки.....	32
2.2.1. Механічне очищення стічних вод на авіа підприємствах	32
2.2.2. Фізико-хімічне очищення стічних вод на авіа підприємствах.....	33
2.2.3. Хімічне очищення стічних вод на авіа підприємствах.....	35
2.2.4. Біологічне очищення стічних вод на авіа підприємствах	38
2.3. Проблеми очистки стічних вод на авіа підприємствах.....	42
2.4. Фотокаталіз як метод очистки забруднених стічних вод.....	43
2.4.1. Загальна характеристика фотокаталізу та галузі його застосування	44
2.4.2. Механізм фотокаталізу.....	47
2.4.3. Фотокаталітичне розкладання органічних забруднювачів.....	49
2.4.4. Принципи газової хроматографії.....	50

2.5. Висновки до розділу.....	52
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИСТКИ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД ХІМІЧНИХ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН МЕТОДОМ ФОТОКАТАЛІЗУ	54
3.1. Методика проведення досліджень.....	54
3.1.1. Матеріали та обладнання для проведення експерименту	54
3.1.2. Методика проведення експерименту очистки водного розчину від метанолу... ..	56
3.2. Аналіз результатів фотокаталітичного розкладання метанолу	59
3.2.1. Аналіз результатів експерименту з УФ лампою	59
3.2.2. Аналіз результатів експерименту з лампою видимого світла.....	64
3.2.3. Порівняння отриманих результатів експериментів	68
3.3. Висновки до розділу	69
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	71
4.1. Аналіз шкідливих та небезпечних чинників працівника під час роботи у хімічній лабораторії.....	72
4.2. Розробка заходів з охорони праці	73
4.3. Правила безпеки праці еколога в лабораторії під час проведення дослідження ефективності очищення промислових стічних вод за допомогою фотокаталізу	75
4.4. Пожежна безпека	77
4.5. Висновки до розділу.....	79
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

НПС – навколишнє природне середовище;

МА – міжнародний аеропорт;

ЦА – цивільна авіація;

ЗПС – злітно-посадкова смуга;

ІКАО – міжнародна організація цивільної авіації;

СВ – стічні води;

КОС – каналізаційні очисні споруди;

ГДК – гранично допустима концентрація;

ГДР – гранично допустимий рівень;

ГХ – газова хроматографія;

УФ лампа – ультрафіолетова лампа.

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах сьогодення, з активним розвитком авіаційної галузі, навколишнє середовище, особливо водні об'єкти, потерпають від надмірного забруднення токсичними компонентами. Одним із найбільших джерел хімічного забруднення гідросфери, при забезпеченні авіатранспортних процесів, є аеропорти та авіаремонтні заводи. У ґрунтових, підземних та поверхневих водах, що розташовані поблизу підприємств такого типу, міститься значна кількість органічних забруднюючих речовин, важких металів, нафтопродуктів, що надходять до них внаслідок виконання технологічних операцій з ремонту та обслуговування літаків, а також, внаслідок руху транспортних засобів на території даних підприємств. Ці речовини накопичуються у водних об'єктах та загрожують нормальному функціонуванню живих організмів, які там знаходяться. Саме через це, для зменшення негативного впливу на довкілля та запобігання його забрудненню, є актуальним питання підвищення ефективності очищення промислових стічних вод на даних підприємствах.

Станом на сьогодні, існує велика кількість методів очистки стічних вод авіапідприємств, серед яких механічні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні методи та їх комбінації. Проте, кожен із них має ряд недоліків, через які не завжди вдається необхідного результату. До того ж, рівень техногенного навантаження від авіаційної галузі постійно зростає, рівень забруднення водних об'єктів збільшується та постає необхідність розробки ефективних та безпечних методів знешкодження наявних забруднень.

Фотокаталіз є досить перспективною галуззю науки, яка активно розвивається. Оскільки, особливо актуальним є питання розробки ефективних та безпечних методів знешкодження наявних забруднень. Тому, для експериментального вивчення можливості очистки стічних вод органічних забруднюючих речовин (на прикладі метанолу) ми обрали метод фотокаталізу. Даний метод являє собою процес пришвидшення або збудження перебігу хімічних реакцій під дією світла за

допомогою каталізаторів та дає можливість запобігати утворенню додаткових відходів, а в процесі реакції речовини розкладаються на воду та вуглекислий газ.

Дослідженням питання впливу підприємств, що експлуатують авіаційну техніку на водні об'єкти та проблемами очистки стічних вод аеропортів займались в своїх роботах Запорожець О. І., Маджд С. М., Франчук Г. М., Черняк Л. М., Дмитруха Т.І., Писанко Я. І. Шаманський С. Й. та інші.

Мета і завдання виконання дипломної роботи.

Мета роботи – експериментально визначити ефективність та швидкість очищення води від органічних забруднювачів з використанням методу фотокаталізу.

Завдання роботи:

- 1) Проаналізувати вплив авіаційної галузі на навколишнє середовище;
- 2) Проаналізувати проблеми забруднення стічних вод у результаті забезпечення діяльності аеропорту;
- 3) Визначити джерела та тип хімічного забруднення промислових стічних вод аеропорту;
- 4) Проаналізувати сучасні технології очищення промислових стічних вод аеропорту;
- 5) Експериментально дослідити ефективність використання методу фотокаталізу для очистки води від органічних забруднювачів.

Об'єкт дослідження – очищення стічних вод авіапідприємств від органічних забруднювачів.

Предмет дослідження – фотокаталітичне розкладання метанолу у складі стічних вод.

Методи дослідження – комплексний науковий аналіз літературних джерел, проведення досліджень та лабораторних експериментів, обробка та узагальнення отриманих дослідних та науково-теоретичних даних.

Наукова новизна отриманих результатів. В роботі запропоновано використання методу фотокаталізу для очистки стічних вод авіапідприємств під хімічних органічних речовин.

Практичне значення отриманих результатів. Результати наших

досліджень, отриманих в лабораторних умовах, можуть бути використані для подальшого вивчення процесу очистки стічних вод промислових галузей, в тому числі, й авіапідприємств, за допомогою фотокаталізу.

Особистий внесок випускника: було проаналізовано наукові літературні джерела в області досліджень хімічного впливу на довкілля аеропортами. Розглянуто проблему забруднення стічних вод внаслідок обслуговування авіапідприємств та визначено основні забруднюючі речовини, що містяться в їх складі. Проаналізовано сучасні методи очистки стічних вод, їх переваги та недоліки. Проведено аналіз можливості застосування методу фотокаталітичного розкладання забруднюючих речовин, для очистки промислових стічних вод. Здійснено експериментальне дослідження очистки води від органічних забруднювачів, на прикладі метанолу з використанням методу фотокаталізу. Представлено результати ефективності та швидкості очистки водного розчину від розчиненого метанолу за допомогою фотокаталізу. На основі аналізу проведених експериментів (з використанням лабораторної бази Інституту загальної та екологічної хімії Лодзинського технічного університету, м. Лодзь, Польща), визначено, який із фотокаталізаторів показав найбільшу ефективність в перебігу цього процесу.

Апробація отриманих результатів. Результати дипломної роботи доповідалися на: XIX Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки», м. Київ, 2019 рік; XIII Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених та студентів “Екологічна безпека держави” м. Київ, 2019 рік; XXI Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки» м. Київ, 2021 рік.

Публікації: за результатами досліджень дипломної роботи було надруковано: 1 статтю в науковому фаховому виданні, 4 тези доповідей у Міжнародних наукових конференціях, 5 тез доповідей у Всеукраїнських наукових конференціях та 1 тези доповіді у X Всесвітньому конгресі “Авіація в XXI столітті”.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА АВІАПІДПРИЄМТЦВАХ

1.1. Авіаційна галузь як джерело забруднення довкілля

Стрімкий розвиток авіаційного транспорту та зростання його ролі в житті людини не можуть не позначитися на навколишньому середовищі. За різними підрахунками, у період, не охоплений економічною кризою, щорічний приріст літаків світової цивільної авіації становить 5-10%. Це значно вище, ніж в інших видах транспорту, енергетиці та багатьох інших галузях економіки. Відповідно, частка цивільної авіації в забрудненні навколишнього середовища з кожним роком зростає. Під час переміщення повітряного судна з одного аеропорту в інший, а також під час наземного обслуговування, дозаправки, ремонту, очищення, захисної обробки повітряного судна, за допомогою спеціального обладнання, відбувається значне забруднення компонентів навколишнього середовища, особливо прилеглих територій [1-3].

Порівняно з іншими видами транспорту, авіація є особливим забруднювачем, який має широкий спектр впливу на якість навколишнього середовища. Негативний вплив повітряного транспорту на навколишнє середовище є як глобальним, так і локальним. Наземні джерела забруднення землі загалом можна розділити на ті, що розташовані всередині аеропорту, і ті, що розташовані за його межами. До останніх відносять, в першу чергу, установки теплоенергетики, які працюють на різних видах місцевого палива, а характер забруднень визначається видом палива, способами його спалювання й шляхами відведення викидів. Внутрішніми джерелами забруднення повітря є: вентиляційні системи, окремі зони, що використовуються для технічного обслуговування літаків, підприємства з постачання авіаційного палива та транспортні засоби спеціального призначення. У разі необхідності, коли повітря, що видаляється з робочого місця, містить велику кількість шкідливих речовин,

очищається за допомогою обладнання для видалення пилу та газоочищення перед викидом в атмосферу. З окремих об'єктів на промислових майданчиках і в аеропортах, в атмосферу потрапляють пари нафтопродуктів, розчинників, лакофарбових матеріалів, лугів, кислот; аерозолі водних розчинів їдкоого, вуглекислого газу і фосфату натрію, діоксид сірки, оксиди азоту, оксид вуглецю, пил [2].

Кількість небезпечних речовин, що надходять в атмосферу з виробничих майданчиків аеропортів або авіаремонтних заводів через систему вентиляції, може перевищувати гранично допустимі значення, що призводить до перевищення гранично допустимої концентрації цих небезпечних речовин. Найчастіше це відбувається при згрупованому розміщенні вентиляційних шахт, де відбувається сумарна дія шкідливих викидів і навіть утворюються нові, більш токсичні речовини.

Різні види забруднення навколишнього середовища утворюються під час повітряних перевезень, включаючи польоти та технічне обслуговування повітряних суден, роботу аеропортів і роботу компаній з обслуговування літаків.

Вихлопні гази літаків, що викидаються авіаремонтними заводами та аеропортами під час експлуатації, а також утворення наземного обслуговування літаків і забруднених стічних вод призведуть до хімічного забруднення різними речовинами.

Під час зльоту, польоту та посадки літак створює сильне акустичне (шумове) забруднення НПС. Джерела шуму на території авіаційних підприємств і навколо них включають [5;10]:

- 1) авіаційні силові установки з газотурбінними і поршневіми двигунами;
- 2) допоміжна силова установка літака та пусковий пристрій;
- 3) спеціальні машини аеродромного обслуговування різного призначення, у тому числі теплові та вітряні, створені на базі авіаційних двигунів, що вичерпали свій льотний ресурс;
- 4) верстати та технологічне обладнання для виробничого процесу.

Акустичне середовище території аеропорту визначається наступними факторами [15]:

- 1) режимом діяльності авіапідприємства;
- 2) типом повітряного судна, що працює в аеропорту;
- 3) поточні маршрути прибуття та відправлення повітряного судна;
- 4) розташування житлових будинків відносно ЗПС та заходи, які вживає аеропорт для зменшення шкідливого впливу авіаційного шуму на навколишнє середовище.

Під час наземних випробувань, зльоту та посадки авіаційних двигунів виникають складні акустичні коливання, які, крім гучних високочастотних шумів, включають також низькочастотний інфразвук, який може посилити шкідливий вплив на живі організми. За останні кілька десятиліть у всіх країнах стало актуальним вирішення проблеми акустичного забруднення навколишнього середовища повітряним транспортом, особливо в районі аеропортів.

Робота радіолокаційного та радіотехнічного обладнання цивільної авіації призводить до електромагнітного забруднення. Радіозв'язкове, радіонавігаційне та радіолокаційне обладнання аеропортів, випромінює велику кількість електромагнітної енергії. Екологічна небезпека пов'язана з тим, що вони розташовані на величезній території і випромінювання характеризуються різними частотними діапазонами, режимами роботи та потужністю. Таким чином, такі об'єкти можуть опромінювати не тільки працівників і пасажирів аеропорту, а й значну частину населення в безпосередній близькості від аеропорту [1;4].

Джерелом високочастотного електромагнітного випромінювання є радіотехніка цивільної авіації, в тому числі [6;10]:

- 1) зовнішнє та внутрішнє радіобладнання (радіостанції зв'язку, командування та аварійні радіостанції);
- 2) радіонавігаційне обладнання (бортовий оглядовий радар, доплерівський радіолокатор вимірювання швидкості та кута зносу, радіовисотомір, радіокомпас, радіодалекомір);
- 3) Радіобладнання систем посадки літаків (вимірювальні, контрольні-посадкові радари, радіопеленгатори, радіомаяки).

Оскільки радіолокаційне обладнання випромінює електромагнітну енергію в

довкілля, воно може створювати електромагнітні поля високої інтенсивності, які становлять реальну загрозу живим істотам. При взаємодії з живими організмами електромагнітні хвилі частково відбиваються, частково поширюються через них і поглинаються. Ступінь ефекту залежить від того, скільки енергії поглинається тканиною тіла, частоти хвилі (біологічна активність зростає зі зменшенням довжини хвилі) і розміру організму. Це поглинання електромагнітної енергії призводить до теплового ефекту, який проявляється у значному нагріванні тканини. Наявність в організмі органів зі слабкими механізмами терморегуляції (мозок, очі, нирки, жовчний міхур тощо) призводить до їх підвищеної чутливості до електромагнітного випромінювання. Наприклад, опромінення людського ока мікрохвилями сантиметрового рівня підвищить температуру задньої сторони кришталика на 20°C, викликаючи катаракту [10].

Процеси авіаційного транспорту, також сприяють тепловому забрудненню навколишнього середовища. Крім того, повітряні перевезення пасажирів, робота аеропортів, можуть призвести до біологічного забруднення навколишнього середовища, поширення інфекційних захворювань та епідемій. При будівництві аеропорту, особливо в місцях, де мало людської діяльності, необхідно враховувати естетичне забруднення навколишнього середовища.

При розгляді забруднення навколишнього середовища, спричиненого повітряним транспортом, необхідно враховувати конкретну ситуацію в галузі цивільної авіації. Так, ця проблема особливо актуальна для великих аеропортів із щільним повітряним трафіком. Часто хімічному, електромагнітному та шумовому забрудненню навколишнього середовища піддаються не тільки пасажери, екіпаж і працівники аеропорту, а й населення, що знаходиться в околицях аеропорту [13].

Цивільна авіація відіграє значну роль у забрудненні верхніх шарів тропосфери та стратосфери, верхніх шарів атмосфери, які не зазнавали безпосереднього впливу людини до розвитку повітряного транспорту. Забруднення цих шарів атмосфери загрожує глобальному клімату та екологічним наслідкам, завдає шкоди людям і біосфері. Внесок цивільної авіації в забруднення навколишнього середовища не обмежується забрудненням повітряним транспортом. Існування та розвиток

цивільної авіації не можна відокремити від руху промислових підприємств (авіація, нафтопереробка, металургія, хімічна промисловість тощо). Кожне з цих підприємств спричиняє забруднення навколишнього середовища.

Донедавна, дослідженню впливу авіації на екосистеми та здоров'я людини не приділяли належної уваги, а також не віддавали належної уваги в колах сучасних соціальних проблем людини. Проте, визнання важливості охорони навколишнього середовища, як основи можливості майбутнього існування всієї планети, привернуло увагу до екологічних проблем і пошуку методів їх вирішення. У результаті уряди почали впроваджувати принципи екологічної політики, спрямовані на мінімізацію впливу авіаційної промисловості на всі компоненти НПС [5].

1.2. Хімічне забруднення складових навколишнього середовища територій авіапідприємств та прилеглих до них територій

1.2.1. Вплив на атмосферу

Під час переміщення повітряних суден з одного аеропорту в інший, а також у процесі наземного обслуговування спецтехнікою, дозаправки, ремонту, очищення, сильно забруднюється атмосфера, особливо страждають прилеглі території аеропорту. Якщо ризик такого забруднення є незначним на маршрутах польоту понад 8-12 км, то неможливо ігнорувати це забруднення на території аеропорту та прилеглих до нього зонах [4;9].

Під час експлуатації повітряного судна в районі аеропорту, від пуску двигуна літака до зупинки після приземлення, в атмосферу безперервно потрапляють різні шкідливі речовини. Літаки забруднюють атмосферу через викиди шкідливих речовин своїми двигунами. Шкідливі гази викидаються в атмосферу через сопла і вихлопні труби авіадвигунів. Цей процес відомий як емісія авіаційних двигунів[6].

Літаки викидають в атмосферу продукти повного і неповного згоряння вуглеводнів авіаційного палива. Склад і кількість забруднюючих речовин, які надходять в повітря, також залежать від якості палива, що використовується

двигунами літаків. Хімічний склад емісії двигуна залежить від виду та якості палива, технології виробництва, способу спалювання двигуном та його технічного стану.

ІКАО визначила найпоширеніші речовини, що викидаються авіаційними двигунами в атмосферу, до яких належать: оксиди сірки (SO_x), оксиди азоту (NO_x), оксиди вуглецю (CO), різні вуглеводні, а саме метан, ацетилен, етан, бензол, також альдегіди (формальдегід, акролеїн, ацетальдегід, сажа) [6].

Вміст NO_x у викидах авіаційних двигунів залежить від [4;12]:

- 1) температури суміші в камері згоряння (чим вище значення, тим більше утворюється NO_x), максимальне значення в режимі відбору (2500-3000 К);
- 2) тривалості перебування суміші в камері згоряння (чим довший час, тим більше утворюється оксидів азоту), що відбувається на низькій швидкості повітряного судна.

Тобто максимальні викиди NO_x припадають на злітний режим двигуна та близькі до нього (під час зльоту та набору висоти).

Під час зльоту повітряного судна, в маршрутному просторі близько половини викидів у вигляді твердих часток, пилу, важких металів, тощо, розсіюються на територіях навколо злітно-посадкової смуги, все інше, залишається у повітрі у вигляді аерозолу кілька годин, а потім також осідає на поверхню.

Якщо припустити, що двигун літака знаходиться в стаціонарному режимі і працює з оптимальними параметрами, без перевантаження 35-50% потужності, то вміст оксидів вуглецю і вуглеводів зменшиться, але викид оксидів азоту збільшиться. При перевантаженні двигуна в 1,1-1,2 рази, при зльоті і наборі висоти на збагаченій паливній суміші, в атмосферу потрапляє велика кількість сажі [15].

Найбільше забруднення навколишнього середовища спостерігається, в районі аеропорту, під час посадки та зльоту літаків та під час прогріву двигунів. Найбільш несприятливими режимами роботи авіаційних двигунів є низькі оберти та «холостий хід». Саме на цих режимах кількість забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу, значно перевищує викиди інших режимів. Наприклад, при 300 зльотах і посадках літаків щодня в атмосферу потрапляє 3,7 т чадного газу, 2 т вуглеводнів,

1,7 т оксидів азоту. Однак забруднювачі не потрапляють у навколишнє середовище безперервно, а залежать від графіка роботи аеропорту [14].

Вуглеводневі суміші є основними компонентами рідкого і газоподібного палива. Авіаційне паливо, бензин і гас, містять різні рівні сірки та парафінів, нафти та ароматичних речовин.

Кожен розроблений авіаційний двигун повинен пройти ряд випробувань (сертифікації), в тому числі дослідження екологічної безпеки, перед запуском у масове виробництво. Тому, Міжнародна організація цивільної авіації встановила суворі стандарти викидів для авіаційних двигунів.

Кількісною характеристикою шкідливих речовин, що виділяються авіаційними двигунами, є індекс емісії (EI), який показує, скільки грамів таких шкідливих речовин викидається в повітря при згорянні 1 кілограма палива. Цей показник характеризує організацію процесу згоряння в камері згоряння кожного прототипу двигуна і пов'язаний з конструктивними та експлуатаційними характеристиками камери згоряння. Тому її часто називають характеристикою викидів двигуна [17].

Показники викидів визначаються під час сертифікаційних випробувань. Вміст CO та C_xH_y у вихлопних газах авіадвигунів зумовлений неповним згорянням палива в двигуні, і цей процес залежить від особливостей параметрів його згоряння, а саме коефіцієнта згоряння та умов роботи двигуна.

Близько половини авіаційних викидів є у формі твердих частинок, багато з яких є важкими металами, які розлітаються на дорогах, тоді як решта залишається в атмосфері годинами у вигляді аерозолів, які осідають на ґрунті та рослинах [9;16].

Велика кількість забруднюючих речовин накопичується в повітрі на території аеропорту, осідають на ґрунтово-рослинний покрив, та разом із стічними та дощовими водами надходять до водойм поблизу, спричиняють зміни в їх хімічному складі та властивостях.

1.2.2. Вплив на ґрунти

Окрім забруднення атмосфери, авіаційний транспорт із приписаною до нього технікою, забруднює ґрунти різними механічними, фізичними та хімічними домішками. Забруднення ґрунту відбувається внаслідок осідання забруднюючих речовин з повітряного басейну, на поверхню ґрунту, та потрапляння в атмосферу з вихлопними газами літаків, наземної авіаційної техніки та котельні [18].

Ґрунтовий покрив є менш динамічною, але більш буферною системою, ніж атмосфера або водойми. Однією з особливостей ґрунту є те, що він накопичує інформацію про процеси та зміни, що відбулися, таким чином не лише вказуючи на стан НПС в даний момент часу, але й відображаючи процеси минулого. Ґрунти захищають природні водойми, атмосферу та рослинність. У той же час ґрунти відіграють захисну роль і можуть бути основним джерелом багатьох хімічних речовин, які забруднюють природні води та є шкідливими для рослин. Перерозподіл забруднюючих речовин у ґрунті, а отже, і в навколишньому середовищі (рослинах, воді, повітрі) спричинений переміщенням важких металів по профілю ґрунту. На відміну від органічних хімічних забруднювачів, які розкладаються з часом, важкі метали можуть лише перерозподіляти між компонентами природного середовища, а цикли їх розкладання можуть охоплювати тисячі років.

Вміст важких металів у ґрунті біля аеропорту зростає більш ніж у 20 разів [19]. Найбільш забрудненими є території біля складів паливно-мастильних матеріалів, ремонтні майстерні, платформи та вздовж злітно-посадкових смуг, особливо поблизу місць зльоту та посадки літаків. Загалом ґрунт поблизу аеропортів забруднений такими важкими металами: цинк, мідь, свинець, хром, олово, вольфрам, а також специфічними металами (кобальт, нікель, кадмій, стронцій, срібло, літій).

Дослідження в Україні та за кордоном показують, що забруднення ґрунту в районах, де розташовані аеропорти та компанії з обслуговування літаків, досить високе. В 1 м² ґрунту виявлено 200-250 г органічних і неорганічних хімікатів штучного походження.

Великі площі території аеропорту піддаються вітровій ерозії. Цьому процесу сприяє забруднення ґрунту паливно-мастильними матеріалами, а також газоподібні викиди в природне середовище за рахунок викидів двигунів внутрішнього згорання та спецтранспорту. Найбільше забруднення ґрунту відбувається в місцях заправки автотранспорту внаслідок випадкових розливів мастил і мастил [14].

Цілісність системи ґрунт-рослина свідчить про необхідність дослідження хімічного впливу повітряного транспорту на рослини. Забруднення рослин поділяють на екзогенне (осадження на поверхні листя і стебла) та ендегенне (надходження в клітини через коріння). Під час надходження забруднюючих речовин через коріння рослин активуються захисні механізми. Вони обмежують проникнення забруднювачів у земні органи та їх участь у метаболічних реакціях клітин. Характер поглинання і накопичення важких металів рослинами, в умовах забруднення залежить, від ступеня забруднення, селективності рослин і ефектів супутніх викидів з підкислених або лужних розчинів [18-20].

Існує незаперечний зв'язок між хімічним складом рослин і елементним складом навколишнього середовища, але внаслідок вибіркового накопичення елементів у рослинах, пряма залежність вмісту важких металів у рослинах від вмісту важких металів у ґрунті часто порушується. Поглинання елементів рослинами залежить не тільки від реакційних каналів у системі ґрунтового розчину, але також залежить від взаємодії між розчином і рослинами, яка змінюватиметься залежно від концентрації елементів. Порівнюючи глибину міграції важких металів у ґрунті без рослинності, та ґрунті з рослинністю, виявлено, що глибина проникнення останніх була дещо більшою. Крім того, встановлений показник захисної здатності ґрунту (ґрунтовий бар'єр) безпосередньо залежить від здатності металів (їх хімічних властивостей) перетворюватися в рухливі форми і подальшого транспорту в системах ґрунт-рослина [13].

1.2.3. Вплив на гідросферу

Існує багато досліджень про вплив повітряного транспорту на гідросферу. Поверхневі водойми, підземні та ґрунтові води, в зоні локального впливу повітряного транспорту піддаються сильним техногенним впливам, що супроводжуються зміною гідрогеологічних, гідрохімічних і гідробіологічних умов. Джерелами забруднення гідросфери є поверхневі стоки з території аеропорту, внаслідок дощу та талого снігу, а також вода, що утворюється під час вологого прибирання майданчиків з техногенним покриттям. У середньому на кожен кубічний метр промислових стічних вод, що скидаються, забруднюється близько 60 кубічних метрів природних вод [22].

Хімікати, що викидаються з аеропортів, можуть забруднювати джерела постачання води та погіршувати її якість в прилеглих районах. Деякі з основних проблем, пов'язаних із цим забрудненням, – це токсичний вплив на водні організми. Вміст таких речовин, як етиленгліколь, авіаційне паливо, важкі метали та аміак, навіть у кількості однієї частини на мільйон може мати токсичний вплив на водних тварин і рослини. Важкі метали та аміак можуть бути смертельними для чутливих рослин, риб і амфібій, а також можуть завдати шкоди цілим екосистемам. Евтрофікація (надмірний ріст водоростей або рослин, викликаний надлишком нітратів, фосфатів і органічних вуглецевих поживних речовин) може бути спричинена розпадом хімічних речовин, що містяться у протиожеледних рідинах для літаків. Виснаження кисню є ще однією серйозною проблемою, яка може виникнути, коли гліколі та вуглеводні розкладаються у воді [15].

У водоймах постійно накопичуються забруднюючі речовини, що загрожує нормальній життєдіяльності організмів. У зв'язку з цим, з метою зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та запобігання його забрудненню, необхідно підвищити ефективність очищення промислових стічних вод на цих підприємствах. Добре сконструйовані цистерни в аеропорту та ізоляційні ставки допомагають стримувати забруднення. Очисні споруди можуть експлуатуватися аеропортами, поєднуючи інфраструктуру стічних вод і рішення щодо захисту

навколишнього середовища для зменшення скидів у навколишнє середовище.

1.3. Характеристика стічних вод авіапідприємств

Склад стічних вод аеропорту тісно пов'язаний з видом виробничої діяльності, сировиною і різними допоміжними продуктами, які беруть участь у процесі, а також залежить від перебігу цих процесів, типу і ступеня досконалості виробничого обладнання.

Поверхневий стік на території аеропорту накопичує різноманітні забруднювачі дощових і талих снігів, а також води, що утворюються під час вологого прибирання місць з штучними поверхнями, до складу яких входять: залишки мийних, дезінфекційних, протижеледних засобів та спеціальні реагенти проти обледеніння, продукти руйнування штучних покриттів і стирань ними шасі літаків та наземної техніки, відпрацьоване паливо, тощо. Основними джерелами забруднення поверхневого стоку є [22]:

- 1) території для доводочних робіт, миття та захисної обробки повітряних суден;
- 2) перон і привокзальну площа;
- 3) території авіатехнічних баз;
- 4) приміщення служб ПММ.

Поверхневий стік з території аеропорту характеризується наявністю [15]:

- 1) мінеральні суспензії;
- 2) нафтопродукти;
- 3) феноли;
- 4) розчинені органічні хімічні сполуки та азотисті речовини;
- 5) авіаочисні суміші для літаків;
- 6) мінеральне масло.

Основними джерелами побутових стічних вод є будівлі та транспорт для обслуговування авіаційних перевезень [15]:

- 1) сам аеропорт;

- 2) готелі;
- 3) ресторани;
- 4) послуги громадського харчування;
- 5) територія авіамістечок, що прилягає до аеропорту.

Джерелами промислових стічних вод аеропорту є [21]:

- 1) корпуси авіаційного обслуговування (база авіаційної техніки, допоміжні виробництва);
- 2) будівлі та споруди допоміжних приміщень (склади технічного майна, склади, пожежні депо, котельні).

Стічні води у виробничих приміщеннях авіапідприємств, таких як аеропорти та авіаремонтні заводи, містять в своєму складі: етиленгліколь, бензол; ацетон; нафтопродукти; кислоти та луги; розчинені сполуки різних металів - алюмінію, міді, берилію, хрому та ін. Сполуки берилію часто використовуються в аерокосмічній промисловості для підвищення зносостійкості деталей літаків.

Частина металів, що містяться в стічних водах авіапідприємств, потрапляє на очисні споруди і осідає в другому шарі відстійників і метантенках, що негативно впливає на мікробне співтовариство, яке бере участь у ферментації осаду, затримуючи його мінералізацію, а в метантенках – на процес утворення газу. На біологічних фільтрах і повітряних фільтрах вони шкідливо впливають на мікроорганізми, які беруть участь в очищенні стічних вод, повністю стерилізуючи їх або знижуючи ефект біологічного очищення стічних вод. Хром, нікель, свинець, мідь, цинк, срібло та ртуть особливо згубно впливають на мікробну флору очисних споруд. Через це, у великих аеропортах, відведення поверхневого стоку має розподілятися, і його потрібно обробляти та очищати по-різному. В першу чергу, необхідно очищувати поверхневі стоки в зоні обслуговування літаків (особливо в таких місцях [22]):

- 1) миття та обробки проти зледеніння спецрідинами;
- 2) дегазації повітряних і устаткування, яке застосовується на авіаційних хімічних роботах;
- 3) змиву лакофарбових покриттів і фарбування літаків;

4) миття автотранспортної техніки й спецмашин.

1.4. Характеристика сучасних систем відведення стічних вод та їх недоліки

Відходи, які надходять до НПС, можуть спричинити численні екологічні проблеми. За традиційною технологією господарсько-побутові стічні води, повертаються у навколишнє середовище, після механічної та біологічної (біохімічної) очистки.

На переважній більшості очисних споруд населених пунктів України, не використовуються технології видалення зі стічних вод біологічних елементів, які є причиною великого надходження азоту та фосфору в поверхневі водойми. Осад, видалений під час очищення, необхідно утилізувати. Вони повинні бути стабілізовані та зневоднені (механічні, термомеханічні, мулові поля тощо), перш ніж їх можна буде використовувати як органічні добрива або як сировину для виробництва гумусних ґрунтів. Переважна більшість КОС не використовують методи стабілізації. У разі відсутності позитивного висновку санітарного нагляду щодо можливості утилізації осад зберігається у мулових полях [21-23].

Для організації контролю та управління потоками стічних вод та активного мулу, на очисних спорудах під час здійснення процесу очищення, а також для створення ефективної автоматизованої системи керування процесом очищення необхідно організувати вимірювання витрат і обсягів стічних вод, що проходять через очисні споруди. Зараз для вимірювання кількості стічних вод, що надходять на очисні споруди, використовується тільки вимірювальна техніка у вигляді відкритих лотків, яка працює з великими похибками. Кількість та витрати СВ у потоці, всередині КОС не вимірюються через відсутність надійних засобів вимірювання [25].

Як правило, муніципальні очисні споруди сконструйовані таким чином, щоб якомога більше стічних вод могло перетікати між спорудами під дією сили тяжіння. Однак на окремих ділянках очисних споруд часто доводиться піднімати

стічні води на невелику висоту, щоб забезпечити їх подальший гравітаційний рух. Відкачування або рециркуляція активного мулу, також, необхідне для транспортування його до головної частини будівлі. Для цього, необхідно створити невеликий тиск, або піднятися на невелику висоту. Через відсутність надійного насосного обладнання, яке можна було б відрегулювати на невелику висоту, необхідну для підйому рідини, на муніципальних очисних спорудах використовують відцентрові насоси, які часто працюють при надлишковому напорі. У результаті такі насоси споживають додаткову енергію (для створення надлишкового тиску) і вимагають спеціальних пристроїв для зменшення тиску. Крім того, відцентрові насоси створюють значні динамічні навантаження на перекачувану рідину, під час роботи. У разі перекачування зворотного потоку або рециркуляції активного мулу ці динамічні навантаження зменшують його масу, оскільки вони викликають загибель мікробів, при потраплянні рідини на лопаті робочого колеса та корпус насоса, коли вона входить у робоче колесо та виходить із нього [24].

Можна виділити основні недоліки, які спричиняють технічні та екологічні проблеми в сучасних процесах водовідведення та потребують усунення (табл. 1.1). Ці недоліки, традиційних процесів водовідведення, що призводять до екологічних проблем, перерахованих раніше, також є причиною існуючих екологічних ризиків. Ці ризики знижують екологічну безпеку. З метою підвищення екологічної безпеки виділяють напрями вирішення екологічних проблем, які можуть зменшити існуючі екологічні ризики. Існує потреба в розробці нових, екологічно безпечних та енергоефективних процесів водовідведення, які базуватимуться на новіших концепціях. Вони повинні включати розгляд процесу очищення СВ, а також утворених відходів як потенційного джерела комерційно цінної сировини та альтернативних джерел енергії, одночасно зменшуючи потенційний негативний вплив процесу на середовище НПС та покращуючи економічні ефективність його діяльності [37].

Недоліки процесів водовідведення, які призводять до технічних та екологічних проблем [25]

Недоліки існуючих технологій	Сутність проблемних ситуацій, спричинених недоліками існуючих технологій	
	Технічні проблемні ситуації	Екологічні проблемні ситуації
1	2	3
1. Скидання СВ у водойми після КОС без доочищення від біогенних елементів.	Незворотні втрати фосфору.	Забруднення гідросфери залишковими концентраціями азоту аміачного, азоту нітритного, азоту нітратного та фосфатами. Результат – евтрофікація водойм.
2. Використання для доочищення СВ споруд типу біоплато і біоставки.	Відведення значних площ для розміщення споруд та під санітарно-захисні зони.	Недоотримання відновлюваних джерел енергії, що потенційно можуть бути отримані під час доочищення.
3. Використання для доочищення СВ реагентних, сорбційних, біосорбційних методів.	Вимагають складного обладнання, засобів автоматизації, висококваліфікованого персоналу. Висока вартість реагентів.	Недоотримання відновлюваних джерел енергії, що потенційно можуть бути отримані під час доочищення. Проблеми з утилізацією відходів.
4. Утилізація осадів СВ без попередньої стабілізації.	Проблемна імплементація багатьох способів утилізації через високу вологість, схильність до загнивання, вміст патогенних мікроорганізмів.	Значні викиди у НПС через енергозатратність зневоднення, надходження в атмосферу метану під час загнивання, надходження у літосферу патогенів під час використання як добрива.

Закінчення таблиці 1.1

1	2	3
5. Стабілізація осадів СВ у метантенках традиційної конструкції.	Складнощі з забезпеченням неперервності процесу, значна тривалість бродіння (значні об'єми споруд), необхідність очищення біогазу та підвищення його калорійності.	Недоотримання відновлюваного енергоносія – метану через неповноту розкладання органіки, додаткові викиди CO ₂ під час спалювання біогазу через значний його вміст в останньому, надходження у НПС патогенів через «проскоки» тощо.
6. Застосування лоткових вимірювальних пристроїв кількості та витрати СВ.	Низька точність вимірювання, технічні складнощі калібрування пристроїв.	Зниження ступеня очищення СВ через низьку ефективність управління параметрами процесу очищення.
7. Відсутність вимірювання кількостей та витрат СВ у потоках всередині КОС.	Складність управління потоками СВ всередині КОС.	Зниження ступеня очищення СВ через низьку ефективність управління їх потоками на КОС.
8. Застосування відцентрових насосів для перекачування СВ та зворотного активного мулу.	Низький коефіцієнт корисної дії фекальних відцентрових насосів, технічна складність їх обслуговування, робота з надлишковими напорами.	Зниження ступеня очищення СВ по БПК через погіршення якості активного мулу, викликаного значними динамічними навантаженнями.

1.5. Висновки до розділу

Отже, аналіз проблеми впливу авіаційної галузі на довкілля показав, що авіаційна галузь має значний вплив на стан всіх складових навколишнього природного середовища, спричиняючи фізичне та хімічне забруднення гідросфери, атмосфери та ґрунтів. Визначено, що ґрунтові, підземні та поверхневі водойми поблизу авіапідприємств, в досить сильній мірі потерпають від негативного техногенного впливу авіапідприємств. Це спричинено як роботою самих літаків, так і їх наземним обслуговуванням, ремонтом, миттям та виконанням інших технологічних операцій із забезпечення авіатранспортних процесів.

Проаналізовано, що джерелом забруднення водойм авіапідприємствами є господарсько-побутові, виробничі стічні води та поверхневий стік, що складається з дощових і талих снігових вод. Аналіз науково-технічної літератури показав, що до поверхневого стоку із території аеропорту можуть входити різні токсичні хімічні речовини, а саме: важкі метали; нафтопродукти; феноли; розчинені органічні сполуки та речовини, що містять азот; суміші для миття літаків та обробки проти зледеніння; залишки мінеральних мастил.

Ці речовини накопичуються у водних об'єктах, поблизу авіапідприємств, та загрожують нормальному функціонуванню живих організмів, які там знаходяться. Тому, особливу актуальність має питання якісного та ефективного очищення стічних вод аеропортів, для зменшення негативного впливу на довкілля та запобігання його забрудненню.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЧИСТКИ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД АВІАПІДПРИЄМСТВ

2.1. Класифікація існуючих методів очистки промислових стічних вод

Визначено, що на сьогодні, існує велика кількість доступних методів очищення стічних вод, детальна класифікація, яких наведена на рис. 2.1:



Рис. 2.1. Класифікація існуючих методів очистки стічних вод [27]

Механічне очищення передбачає механічне видалення нерозчинних речовин (піску, глини), а також жирів, нафтопродуктів, смол тощо. Для механічного очищення використовують [26]:

- 1) решітки, для затримання великих домішок СВ (>5 мм);
- 2) сита, для вловлювання домішок (<5 мм);
- 3) пісковловлювачі, що використовують для затримання важких мінеральних забруднень, таких як пісок;

4) жиρο-, масло-, нафто- та смоловловлювачі, призначені для видалення відповідних забруднень;

5) відстійники, для осадження завислих речовин, а також спливання легких сполук на поверхню води;

б) спеціальні фільтри і центрифуги.

З побутових стічних вод механічними методами можна видалити до 60% нерозчинених домішок. В останні роки для інтенсифікації цього процесу використовується їх первинна аерація. Таким чином можна підвищити ефективність очищення до 75% [28].

Хімічне очищення полягає у додаванні в стічні води спеціальних речовин-реагентів, які вступають у хімічну реакцію з забруднюючими речовинами, що містяться у воді, для осадження нерозчинних, колоїдних і частково розчинених речовин, а також для перетворення деяких шкідливих речовин у нешкідливі.

Для хімічного очищення стічних вод використовуються такі споруди та установки [31]:

Для хімічного очищення стоків застосовують такі споруди і пристрої:

1) реагентне господарство – для зберігання, приготування та транспортування реагентів до змішувачів;

2) змішувачі – для змішування реагентів із стічними водами, що очищаються;

3) камери реакції – для контактування стічних вод з реагентами;

4) відстійники – для осадження оброблених реагентами забруднень стічних вод.

Для очищення промислових стічних вод використовують хімічні методи. У той же час утворюється велика кількість осаду, який важко обробляти та утилізувати. Цей метод дозволяє видалити зі стічних вод до 95% нерозчинених забруднюючих речовин і до 25% розчинених забруднюючих речовин.

Крім того, хімічні методи включають електролітичне очищення стічних вод, яке, по суті, передбачає пропускання електричного струму через стічні води. У той же час іони електроліту починають рухатися до анода і катода, де вони

розряджаються і утворюють нові сполуки між ними і з матеріалом електрода. Цей спосіб очищення здійснюється в спеціальних установках, які називаються електролізерами. Після електролітичної очистки стічні води надходять у відстійник, а конденсований осад осідає [27;31].

Подібно до механічних методів очищення, хімічні методи очищення можуть використовуватися як завершальний етап перед скиданням стічних вод у водойму або як перший етап перед біологічним очищенням. Хімічні методи очищення зазвичай доповнюються фізико-хімічними методами, такими як флотація, випаровування, екстракція, нейтралізація, адсорбція домішок спеціальними адсорбентами.

Суть методу біологічного очищення полягає в мінералізації органічних забруднень стічних вод шляхом аеробного біохімічного процесу. Ці процеси відбуваються за участю спеціальних аеробних мікроорганізмів - мінералізаторів органічних забруднювачів, які живляться органічними речовинами (білками, вуглеводами, органічними кислотами), що містяться у стічних водах, і розкладають їх на прості неорганічні шкідливі сполуки: воду, вуглекислий газ і мінеральні солі. Частина окислених мікроорганізмами речовин використовується для утворення біомаси (відбувається процес біосинтезу). В результаті біологічного очищення отримують прозору воду, яка не гниє і містить розчинений кисень і нітрати [34].

У природі біологічне очищення навколишнього середовища відбувається самостійно. Стійкі екологічні відносини розвивалися протягом мільйонів років, у яких навіть найменші організми відіграють важливу роль. Вивчаючи ці складні взаємозв'язки, люди використовують їх для створення різноманітних біологічних переробних установок. У технологічному процесі очищення стічних вод вирішальну роль відіграють біологічні методи. Біологічні очисні споруди поділяються на дві групи [39]:

- 1) До першої категорії належать споруди, де відбувається очищення в умовах, наближених до природного середовища (зрошувані поля, біологічні ставки);

- 2) До другої - споруди для очищення в штучно створених умовах (аеротенки і біофільтри).

У біологічних ставках, в очищенні бере участь все водне населення водойми. У біофільтрах активним агентом є біоплівка, прикріплена до його навантажувальної поверхні. В аеротенку основним компонентом очищених стічних вод є активний мул – сукупність мікроскопічних рослин, тварин, грибів і бактерій. Аеротенки – це великі бетонні резервуари, в які потужним потоком найдрібніших бульбашок повітря знизу видуються стічні води – аерація [38].

Популяції бактерій і мікрофауна швидко розвиваються в активному мулі через надлишок розчиненого кисню (внаслідок аерації) і постійного надходження органічних речовин (стоки). Бактерії злипаються разом у пласти, з надзвичайно великою поверхнею та виділяють ферменти, які розкладають органічні забруднювачі на прості мінерали – відбувається так звана органічна мінералізація. Поглинувши велику кількість органічних речовин, бактерії активно діляться і збільшуються в масі. Завдяки прикріпленню листоподібних бактерій активний мул може швидко осідати і відділятися від чистої води. Відстояну воду можна використовувати далі, а осад знову потрапляє в процес очищення. Активний мул не відразу пристосовується до очищення певного виду стічних вод – для формування необхідної біоти в ньому потрібно кілька місяців. Експлуатаційний контроль аераційного басейну здійснюється шляхом хімічного аналізу очищеної води [38-42].

Існують і біологічні методи контролю, де досліджуючи зразок осаду під мікроскопом і визначаючи, які організми присутні та в яких кількостях, можна зробити висновки про ефективність роботи очисних споруд. Завдяки повному біологічному очищенню концентрація завислих речовин у стічних водах знижується до 15-20 мг/л. Якщо повне біологічне очищення не відповідає умовам скидання в поверхневі водні об'єкти, то в цьому випадку передбачаються споруди поглибленого очищення (доочищення) стічних вод. На цьому етапі застосовуються фізико-хімічні методи очищення, а також очищення в природних умовах в біологічному басейні, висаджуються вищі водні рослини для вилучення біологічних елементів у воду. Слід зазначити, що жоден сучасний метод очищення стічних вод не є 100% успішним, оскільки витрати зростають з кожним додатковим відсотком очищеної води. Тому стічні води зазвичай очищають до певної економічно обґрунтованої межі, а потім

розбавляють чистою природною водою, щоб вміст домішок у суміші не перевищував гранично допустиму концентрацію. Слід зазначити, що особливо токсичні стічні води деяких промислових підприємств не очищаються сучасними методами, а можуть лише закачуватися в підземні води водосховищ для захоронення. Таким чином створюються екологічно небезпечні об'єкти, оскільки ця вода завжди під загрозою просочування в підземні водоносні горизонти. Іноді вода, яка не піддається очищенню, випаровується у відстійниках, що значно зменшує об'єм і масу відходів, які потрібно захоронювати [43].

Методи очищення стічних вод необхідно вибирати, виходячи з певних параметрів, першими з яких є ступінь забруднення та тип забруднювача. Багато методів мають обмежену ефективність, можуть утворювати вторинні відходи або можуть мати інші обмеження [44].

2.2. Сучасні методи очистки стічних вод підприємств з експлуатації та ремонту авіаційної техніки

2.2.1. Механічне очищення стічних вод на авіапідприємствах

В Україні для обробки стічних вод, які утворюються авіапідприємствами під час технічних процесів, зазвичай будуються власні очисні споруди, де всі стічні води очищаються перед скиданням у каналізаційні колектори або відразу у водойми. Але є й такі підприємства, які не мають власних очисних споруд і змушені скидати стоки на очисні споруди, які часто не можуть досягти рівня очищення [44].

Для очищення стічних вод авіакомпанія використовує механічні методи перед скиданням, включаючи чотири залізобетонні резервуари для стічних вод і вісім резервуарів для збору нафтопродуктів. Спосіб передбачає осадження стічних вод і розділення вуглеводневих компонентів шляхом створення водонафтових емульсій і коагуляції завислих речовин за допомогою реагентів[28].

На авіаремонтному заводі № 410, у Києві, попереднє очищення стічних вод здійснюється на нейтралізаційній станції, побудованій у 1968 році [14].

Принцип очищення стічних вод на станції нейтралізації такий: кислотно-основні стічні води та хромисті стічні води надходять у два накопичувачі об'ємом 60 куб.м та 30 куб.м відповідно. Кислотно-лужні стоки з накопичувача перекачуються в реактор-відстійник, в який подається 5% розчин лугу. Процес подачі лугу супроводжується перемішуванням стисненого повітря для доведення рН до 8,5 [41].

Збагачені хромом стічні води з накопичувача надходять в реактор осадження об'ємом 56,3 куб.м. У свою чергу, до нього додають 5% розчин сірчаної кислоти, щоб довести рН цих стоків до 2,5. Потім додають 5% розчин бісульфіту натрію, щоб відновити Cr^{6+} до Cr^{3+} . Для утворення гідроксиду хрому в реактор додають 5% розчин лугу для доведення кислотності стоків до рівня рН 8,5 [32].

Стічні води повинні залишатися в реакторі-відстійнику близько трьох годин перед відстоюванням. Потім відстоювану воду направляють на механічний фільтр для подальшого очищення, а утворений осад збирають у шламоушільнювачі та зневоднюють у випарній установці. Після цього сухий залишок збирають і відправляють на утилізацію [32].

Однак навіть після того, як стоки проходять через ці очисні споруди та скидаються, залишається значне перевищення ГДК забруднюючої речовини. На це впливає досить застаріле обладнання та методи очищення, які потребують перегляду та модернізації [34].

2.2.2. Фізико-хімічне очищення стічних вод на авіапідприємствах

До фізико-хімічних методів в очистці СВ авіапідприємств належить такі способи як [44]:

- 1) флотація;
- 2) коагуляція.
- 3) сорбція;

Коагуляція – злипання частинок колоїдної системи при їх зіткненні під час теплового руху, перемішування або спрямованого руху в зовнішньому силовому

полі. У результаті коагуляції утворюються агрегати – більші частинки, що складаються зі скупчень дрібніших частинок. Первинні частинки в таких агрегатах пов'язані міжмолекулярними силами безпосередньо або через навколишній шар.

Коагуляція супроводжується поступовим укрупненням частинок і зменшенням їх загальної кількості в об'ємі дисперсійного середовища. Злипання однорідних частинок називається рівномірною коагуляцією, а неоднорідні частинки – різномірною коагуляцією [36].

Кількість коагулянту, тобто реагентів, необхідних для процесу, залежить від типу самого реагенту, його складу, вартості та необхідного рівня очищення стічних вод. Це визначається експериментально в лабораторних умовах [31].

Флотація – це процес, у якому молекули частинок плаваючих речовин прилипають до межі розділу, що складається з двох фаз: газ та рідина, внаслідок надмірної вільної енергії поверхневого прикордонного шару та явища поверхневого змочування. Флотація відбувається за рахунок утворення піни. Вона обволікає сторонні частинки і видаляє їх зі стічних вод разом із самою піною. Вода наповнюється дрібнодисперсними бульбашками повітря, завдяки чому вона насичується піною. Частинки, такі як нафта, нафтопродукти, олії та волокнисті речовини, що містяться у стічних водах, прилипають до поверхні розділу та спливають на поверхню води [27].

У процесі сорбції стічна вода або поглинається твердою речовиною (метод називається абсорбцією), або осідає на її поверхні, що активно розвивається (метод називається адсорбцією). У третьому випадку, хемосорбції, забруднена речовина хімічно взаємодіє з твердою речовиною [28].

Адсорбція найчастіше використовується для очищення промислових стічних вод. Для цього в стічні води додається сорбент (тверда речовина в подрібненому вигляді) і перемішується. Адсорбенти, насичені домішками, відокремлюють фільтруванням або відстоюванням. Як адсорбенти використовують золу, торф, каолін, коксовий порошок, силікагель, алюмінієвий гель, активоване вугілля та ін. Ефективним адсорбентом є активоване вугілля з пористістю 60-75% і питомою поверхнею 400-900 м²/г[36].

Найпростіша конструкція має такий вигляд: наливний фільтр, який представляє собою колону з фіксованим шаром сорбенту розміром 0,8-5 мм, через який фільтруються стічні води. Швидкість фільтрації – 1-12м/год, що визначається концентрацією речовин, розчинених у стічних водах[36].

Методи коагуляції та флокуляції широко використовуються при очищенні промислових стічних вод, які містять нафтопродукти, різні хімічні речовини та дрібні частки, тому ці методи не підходять для очищення стічних вод авіаційних компаній, оскільки їхні стічні води містять інші забруднюючі речовини, крім нафтопродуктів. Методи адсорбції також не можуть видалити всі типові забруднювачі, які зустрічаються в авіакомпаніях [36].

2.2.3. Хімічне очищення стічних вод на авіапідприємствах

Ще однією групою методів, які активно використовуються для очищення стічних вод авіапідприємств в Україні та за кордоном, є хімічні методи, основою яких є окиснення. Окиснення застосовують для нейтралізації промислових стічних вод, що містять токсичні домішки або сполуки, які неможливо видалити (ціаніди, сполуки міді та цинку, сірководень та ін.). Механічно та фізико-хімічно очищені стічні води все ще містять розчинені та дрібнодисперсні нафтопродукти, а також інші органічні забруднюючі речовини в достатньо великих кількостях, щоб не скидати їх у водойми без додаткового очищення.

Основними окиснювачами, що використовуються при хімічному очищенні стічних вод є [41]:

- 1) хлор;
- 2) хлорне вапно;
- 3) діоксид хлору;
- 4) озон;
- 5) технічний кисень;
- 6) гіпохлорид кальцію;

7) гіпохлорид натрію;

8) кисень.

У процесі окислення, токсичні речовини в стічних водах, хімічно перетворюються на менш токсичні речовини, які можна видалити з води. Активність речовини як окиснювача, можна визначити як значення потенціалу окиснення [42].

Фтор займає одне з провідних місць серед інших окиснювачів, але не може використовуватися на практиці через високу агресивність. Для інших речовин значення потенціалу окиснення дорівнює [43]:

1) для озону – 2,07;

2) для хлору – 0,94;

3) для пероксиду водню – 0,68;

4) для перманганату калію – 0,59.

Хлор і речовини, що містять активний хлор, є найпоширенішими окиснювачами. Ці речовини використовуються для очищення стічних вод від фенолів, ціаніду, сірководню, сірководню тощо. За їх агрегатним станом або хлорвмісними реагентами, які додають у воду, визначають технологію очищення стічних вод [37].

Якщо стічні води обробляються озоном або газоподібним хлором, процес відбувається в окиснювальній колонці або контактній камері. Якщо окиснювач знаходиться в розчині, його направляють спочатку в змішувач, а потім в контактну ємність [44]. Завдяки цьому процесу розчинені токсичні речовини стають нетоксичними сполуками або перетворюються в осад [37].

Сильнішим за хлор, у процесі окиснення, можна назвати озон. Він має здатність руйнувати велику кількість органічних сполук і домішок у стічних водах при нормальній температурі. Озон витягується безпосередньо під час очищення в пристрої, який називається генератором озону. Утворюється при розряді в кисневому середовищі між двома електродами з прикладеною напругою 5-25 кВ [44].

Під час очищення стічних вод озон надходить у контактну камеру у вигляді суміші, де хімічно реагує з іншими речовинами, що забруднюють воду [43].

Після цього процесу починається реакція гідролізу, що призводить до утворення менш шкідливих продуктів. Цей метод окиснення відомий на практиці як озонування [43].

Озонування – це процес абсорбції, що супроводжується хімічними реакціями в рідкій фазі. Усуває неприємні запахи і присмаки, знебарвлює воду. Озонування можна використовувати для очищення ароматичних речовин у стічних водах, нафтопродуктах, фенолах і барвниках у пестицидах [44].

Озон має унікальні окисні властивості. Виявляє високу стабільність у кислих розчинах. Швидше дисоціює у водних і слаболужних розчинах. Однак на сухому повітрі він дуже швидко розкладається. Під час очищення стічних вод нейтралізує та розкладає органічні речовини. Бактерії, знайдені в стічних водах, гинуть у кілька разів швидше, ніж під час очищення стічних вод хлором [27].

Однак розчинність озону у воді залежить від вмісту розчинених у воді речовин і рН. Розчинність озону збільшується при наявності у воді невеликих кількостей нейтральних солей і кислот [44].

У процесі окиснення, роль озону зазвичай відображається в трьох аспектах [44]:

1. Пряме окиснення за участю атома кисню;
2. Приєднання всієї молекули озону до речовини, яка окиснюється й утворює озонід;
3. Окиснення кисню за допомогою каталізатора – озону.

Озон надходить у стічні води у вигляді озоно-кисневої суміші. Концентрація озону в суміші досягає близько 3%. У стічних водах суміш диспергується на дрібні бульбашки повітря для посилення процесу окислення [41].

Іншим окиснювачем може бути кисень. Реакції окиснення киснем відбуваються в рідкій фазі при високій температурі і тиску. Швидкість реакції і глибина окислення гідросульфідів і сульфідів зростає з підвищенням тиску і температури. Зазвичай використовується для очищення заліза в стічних водах [41].

Вуглекислий газ також руйнує сполуки сірки, які можуть бути присутніми у відпрацьованих димових газах. Сірководень, захоплений парою і димовими газами,

видаляється і направляється на спалювання, при використанні вуглекислого газу він служить сировиною для отримання сірчаної кислоти.

Однак, яким би ідеальним не був цей спосіб очищення стічних вод, він не зможе належним чином очистити забруднювачі, характерні для авіаційної промисловості, про що свідчать перевищення рівнів ГДК для деяких забруднювачів.

2.2.4. Біологічне очищення стічних вод на авіапідприємствах

Біологічний метод є найпоширенішим способом очищення авіаційних стічних вод. Він заснований на здатності мікроорганізмів використовувати різні органічні речовини, що містяться в стічних водах, як джерело живлення в процесі своєї життєдіяльності. Завданням біологічного очищення є перетворення органічних забруднюючих речовин у нешкідливі продукти окислення – H_2O , CO_2 , NO_3 , SO_4 тощо [38].

У біологічному очищення СВ беруть участь дві групи бактерій, серед яких гетеротрофи і автотрофи. Ці групи бактерій особливі тим, що вони використовують вуглецеві джерела харчування. Гетеротрофні групи організмів використовують вуглець із легкодоступної органічної речовини, яку вони переробляють для отримання енергії, необхідної для клітинного біосинтезу. Автотрофи використовують неорганічний вуглець для клітинного синтезу та накопичують енергію шляхом фотосинтезу або хемосинтезу. Під дією мікроорганізмів можуть відбуватися окисні (аеробні) або відновні (анаеробні) процеси [22].

До очисних споруд, які використовуються в Україні та за кордоном авіапідприємствами, що у своєму технологічному процесі застосовують біологічні методи очищення можна віднести такі як поля зрошення, поля фільтрації та інколи біологічні ставки..

Поле фільтрації або аерації (рис. 2.2) – ділянка землі, на поверхні якої розподіляють каналізаційні та інші стічні води з метою їх очищення; різновид водоочисної споруди [23].



Рис. 2.2. Поля фільтрації для забруднених стічних вод

Поле фільтрації використовує природний метод очищення. Проміжок часу, між поливами використовують для того, щоб пори ґрунту встигали вивільнитись від вод і наповнювалися атмосферним повітрям (для створення аеробних умов у ґрунті). Завислі та колоїдні речовини, що містяться у стічних водах, залишаються в ґрунті та перетворюються на мінеральні сполуки за допомогою кисню та ґрунтових мікроорганізмів [32].

Через велику кількість води виключається можливість вирощування сільськогосподарських культур. Поля влаштовують у супіщаних, піщаних та суглинних ґрунтах з хорошими фільтруючими властивостями. Вони складаються з майже горизонтальних ділянок розміром 0,5-2 га, огорожених стінами заввишки 0,8-1 м [31].

Поля зрошення (рис. 2.3) – це ділянки ґрунту, які під час очищення стічних вод, використовуються як джерело вологи та утворення органічних добрив для росту рослин [39]. Під час зрошення стічними водами навколо їх частинок утворюються біоплівки, а органічні забруднювачі мінералізуються на їх поверхні. Належний водно-повітряний стан ґрунтового шару, а також кількість і якість

стічних вод, що відповідають здатності ґрунту до самоочищення, мають важливе значення для успішного процесу очищення. Ці умови регламентуються навантаженням стічних вод на одиницю площі [38].



Рис. 2.3. Поля зрошення для очистки стічних вод

Існує різниця між громадськими комунальними полями зрошення та сільськогосподарськими. Комунальні зрошувані поля не використовуються широко, а сільськогосподарські – розглядаються як природні біологічні очисні споруди для зволоження ґрунту та удобрення. Навантаження очисних споруд має становити від 5 до 25 м³/га на добу. Підвищене навантаження ускладнює процес перебігу очистки СВ [41].

Біологічна водойма (рис. 2.4) — природна або штучно створена водойма, яка використовується для біологічного очищення та доочищення стічних вод. Принцип дії заснований на процесі самоочищення водойм. Біологічні водойми відрізняються від природних тим, що всіма процесами може керувати людина. Глибина води в біологічні водоймі становить 0,5-3 метри, а площа одного ставка може досягати від

0,01 га до 50 га. Наявність значної поверхні розділу вода-повітря забезпечує нагрівання всієї товщі води та її перемішування. Це створює дуже сприятливі умови для розвитку водних організмів, які можуть поглинати біологічні елементи та збагачувати водойми киснем, необхідним для окиснення органічних речовин [38].



Рис. 2.4. Біологічні ставки для очистки стічних вод

Найбільша ефективність окиснення СВ в біологічних ставках спостерігається в теплу пору року. При температурі води нижче 6°C інтенсивність очищення буде знижена. Вона може повністю зникнути при подальшому зниженні температури. Тому взимку, коли кисень не може проникнути у воду через кору льоду, стічні води у водосховищі замерзають. Водночас у проточній неаерованій біологічній водоймі з високою водною рослинністю різні забруднювачі стічних вод, особливо нафтопродукти, можуть очищатися протягом року. Порівняно зі штучними біологічними очисними спорудами, в біологічних ставках, крім видалення зважених часток і мінеральних речовин, відбувається також бактеріальне самоочищення [34].

2.3. Проблеми очистки стічних вод на авіапідприємствах

Загалом, існуючі сучасні методи очищення стічних вод, які застосовуються не лише в Україні, а й за кордоном, не завжди дають бажані результати. Деякі з них застаріли, а деякі недостатньо ефективні. Деякі методи, дають змогу досягти бажаного ступеня очищення СВ від забруднюючих хімічних речовин, але тільки за окремими показниками, при цьому, інші забруднювачі залишаються в недопустимих концентраціях. Для того, щоб ефективно очищати стічні води з авіапідприємств, необхідно розробити новий, сучасний метод, який дасть змогу задовольнити як підприємство, так і НПС, метод, який може очищати забруднюючі речовини, характерні для авіапідприємств, до прийнятних концентрацій.

У зв'язку з різним характером забруднення – поверхневі СВ води авіапідприємств, а також, промислі та побутові, потребують, використання різних технологій їх очистки, а також обробки і утилізації осадів. У цьому випадку їх необхідно розділяти окремо та очищати в окремому очисному закладі. Спільне видалення та очищення різних видів стічних вод може бути досягнуто лише за умови очищення та обробки утворених відкладень за однаковою технологією [42].

Традиційні технології можна використовувати для очищення господарських і побутових відходів, а також СВ подібного складу до складу стоків авіаційних підприємств[]. Наявність у поверхневому стоці та виробничих стічних водах речовин, про які говорили раніше, робить неможливим очищення багатьох з них на спільних очисних спорудах разом з господарсько-побутовими стічними водами.

Особливо кольорові метали, потрапляючи зі стічними водами в біологічний фільтр або аеротенки, будуть мати шкідливий вплив на мікроорганізми, які беруть участь в окисненні органічних забруднювачів стічних вод, роблячи їх повністю стерилізованими або значно знижуючи ефективність біологічного очищення.

Хром, нікель, свинець, мідь, цинк, срібло та ртуть, що містяться у складі СВ багатьох авіапідприємств, особливо згубно впливають на мікробну флору очисних споруд. Деякі метали, що містяться в промислових стічних водах авіакомпаній, потрапляючи на очисні споруди та потрапляючи в осад у метантенках, можуть

пригнічувати активність мікробних спільнот, залучених до анаеробного бродіння на цих спорудах. Тому вони значно сповільнюють процес. У метантенках це призводить до значного зниження виробництва біогазу.

2.4. Фотокаталіз як метод очистки забруднених стічних вод

Для експериментального вивчення можливості очистки стічних вод авіапідприємств, серед існуючих методів, ми обрали метод фотокаталізу, що являє собою процес пришвидшення або збудження перебігу хімічних реакцій під дією світла за допомогою каталізаторів. Фотокаталізатори можуть використовуватися для збереження енергії, дезодорації, стерилізації, самоочищення, очищення повітря, очищення стічних вод тощо. Таким чином, фотокаталіз може успішно застосовуватись у сфері захисту навколишнього середовища, очистки промислових скидів та викидів, дезінфекції приміщень та в промисловості [45].

Фотокаталітичне розкладання є методом, який може замінити звичайні методи та вирішити їх обмеження. Його великою перевагою є можливість розкладання забруднюючих речовин до нешкідливих продуктів за один технологічний етап в умовах навколишнього середовища. Метод фотокаталізу запобігає утворенню додаткових відходів, а забруднююча речовина, під час реакції розщеплюється на воду та вуглекислий газ. Вода є абсолютно безпечною речовиною, а кількість вуглекислого газу, що виділяється, не є критичною для атмосферного повітря та не спричиняє сильного забруднення. Таким чином, небезпека від токсичного органічного забруднення водних об'єктів є більшою, а використання інших способів очистки води мало ефективне проти органічного забруднення [46].

Оскільки в промислових стічних водах авіапідприємств, присутня значна кількість саме органічних забруднюючих речовин, то для нашого дослідження процесу їх розкладання, було обрано такий оксигеновмісний органічний забруднювач, як метанол. Проаналізовано, що метанол (CH_3OH) належить до найпростіших одноатомних спиртів. Він являє собою рідину, що не має кольору, легкозаймисту і летку речовину зі слабким запахом етилового спирту. Метанол

змішується з багатьма органічними розчинниками, необмежено змішується з водою, використовується в багатьох галузях промислового виробництва та має здатність накопичуватись в організмі при постійному надходженні.

2.4.1. Загальна характеристика фотокаталізу та галузі його застосування

Фотокаталіз являє собою процес пришвидшення або збудження перебігу хімічних реакцій під дією світла за допомогою каталізаторів, речовин, які полинають кванти світла та беруть участь у хімічних перетвореннях учасників реакції, багаторазово вступаючи з ними у проміжні взаємодії та регенеруючи свій хімічний склад після кожного циклу таких взаємодій [45].

Термін фотокаталізатор є комбінацією двох слів: фото, пов'язане з фотоном, і каталізатор, який є речовиною, що змінює швидкість реакції у своїй присутності. Фотокаталіз включає реакції, які відбуваються за допомогою світла та напівпровідника. Субстрат, який поглинає світло і діє як каталізатор хімічних реакцій, відомий як фотокаталізатор. Всі фотокаталізатори в основному є напівпровідниками. Фотокаталіз – це явище, при якому під час впливу світла на напівпровідниковий матеріал утворюється пара електрон-дірка.

Фотокаталітичне розщеплення води, відкрите Фуджісімою та Хондою, у 1972 році привернуло увагу дослідників до напівпровідникового фотокаталізу, який виявився дуже ефективним у деградації навіть тих забруднювачів, які дуже важко видалити іншими засобами. У порівнянні з традиційним процесом окиснення, фотокаталіз має значні переваги, наприклад, його можна використовувати для розкладання та мінералізації барвників і хімічних речовин повністю до CO_2 і H_2O . Також даний метод, корисний для розкладання дуже стабільних сполук, які не можуть бути легко розкладені іншими методами, він може ефективно працювати при нормальній температурі та тиску навколишнього середовища, та для цього не потрібен особливий запас кисню. Іншою перевагою фотокаталізу є те, що це дешевий процес у порівнянні з іншими методами очистки стічних вод, який не має проблем із видаленням відходів.

Фотокаталітичні реакції можна розділити на два типи за зовнішнім виглядом фізичного стану реагентів. Різниця між двома типами фотокаталізу представлена в таблиці 2.1 [47]:

Таблиця 2.1

Типи фотокаталізу

Гомогенний фотокаталіз	Гетерогенний фотокаталіз
Напівпровідник і реагент знаходяться в одній фазі, тобто в газі, твердій речовині або рідині.	Напівпровідник, і реагент знаходяться в різних фазах. Тобто один може бути в газі, а інший в рідині або твердій речовині.

Різниця енергій між валентною зоною (HOMO) і зоною провідності (LUMO) відома як заборонена зона (E_g). На основі забороненої зони матеріали класифікуються на три основні категорії: ізолятори, напівпровідники та провідники (метали) (рис. 2.5) [45].

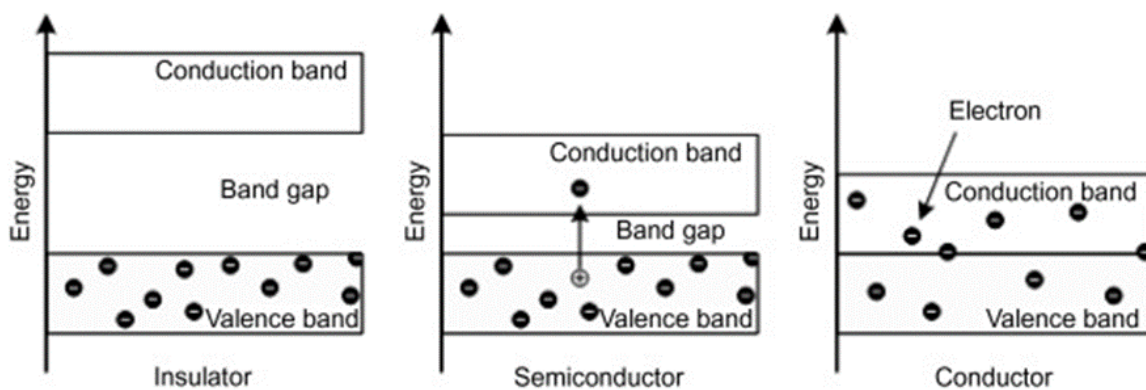


Рис. 2.5. Три типи матеріалів

Напівпровідники здатні проводити електрику навіть при кімнатній температурі в присутності світла і, отже, працюють як фотокаталізатори.

Існує чотири способи взаємодії напівпровідника та підкладки один з одним залежно від взаємного розташування валентної зони та зони провідності та окислювально-відновних рівнів [45]:

1. Відновлення підкладки відбувається, коли окислювально-відновний рівень підкладки нижчий за зону провідності напівпровідника.

2. Окислення підкладки відбувається, коли окислювально-відновний рівень вищий за валентну зону напівпровідника.

3. Ні окислення, ні відновлення неможливі, коли окислювально-відновний рівень підкладки вищий за зону провідності і нижчий за валентну зону напівпровідника.

4. Як відновлення, так і окислення підкладки мають місце, коли окислювально-відновний рівень підкладки нижчий за зону провідності і вищий за валентну зону.

Завдяки своїй електронній структурі напівпровідники діють як сенсibilізатори фото-окисно-відновних процесів. Деякі напівпровідники здатні фотокаталізувати повну мінералізацію багатьох органічних забруднювачів, таких як ароматичні речовини, галогенні вуглеводні, інсектициди, пестициди, барвники та поверхнево-активні речовини.

Оксиди металів мають широкий спектр застосування для вирішення екологічних проблем та в електроніці завдяки їх здатності утворювати носії заряду під впливом світла. Оксиди металів мають такі властивості: необхідна електронна структура, світлопоглинаючі властивості, характеристики транспортування заряду.

До цього часу було досліджено велику кількість напівпровідникових фотокаталізаторів для розкладання різних забруднювачів. Загалом, ідеальний фотокаталізатор повинен мати деякі основні властивості, наприклад, вони повинні бути активними під впливом ультрафіолету, видимого або сонячного світла, вони повинні мати властивість хімічної та біологічної стійкості, а також вони повинні бути стійкими до фотокорозії. Іншою найважливішою характеристикою, яку вони повинні мати, є те, що вони повинні бути нетоксичними, мати низьку вартість і легку доступність. Все це є ключовими факторами для хорошого фотокаталізатора [51].

Діоксид титану (TiO_2), який нами було обрано для проведення експериментів, є найбільш поширеним каталізатором, що використовується в області фотокаталізу.

З давніх часів TiO_2 використовувався як білий пігмент, він механічно, термічно та хімічно дуже стабільний. Діоксид титану має дуже високу температуру плавлення 1855°C і нерозчинний у воді. Він вважається чудовим фотокаталізатором завдяки своїм величезним властивостям, таким як висока активність, низька вартість, фотостабільність, нетоксичність тощо. При фотокаталізі часто використовуються також його похідні: Cu/TiO_2 , $\text{Cu-In}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$, Pt/TiO_2 , Ag/TiO_2 , $\text{Bi}_2\text{S}_3/\text{TiO}_2$, LaOF Au/TiO_2 та інші [48-50].

Фотокаталізатори можуть використовуватися для запобігання обростанню, збереження енергії, дезодорації, стерилізації, самоочищення, очищення повітря, очищення стічних вод тощо. Тому, фотокаталіз може успішно застосовуватись у сфері захисту навколишнього середовища, очистки промислових скидів та викидів, дезінфекції приміщень та в промисловості.

Отже, фотокаталіз має такі переваги перед будь-якими існуючими технологіями очищення повітря/води:

1. Реальне знищення забруднюючої речовини, а не просте перенесення на підкладку;
2. Деградація забруднюючої речовини при температурі та тиску навколишнього середовища;
3. Реалізується з легкодоступних матеріалів і за допомогою добре відомих технологій;
4. Економічний, дешевий і з низьким енергоспоживанням;
5. Пристосований до широкого спектру забруднюючих речовин.

2.4.2. Механізм фотокаталізу

У напівпровідниках хімічна реакція зазвичай відбувається через перенесення електронів із валентної зони в зону провідності. Як кількість орбіталей (N) у НОМО (найвища зайнята молекулярна орбіталь (валентна зона)) і LUMO (найнижча незайнята молекулярна орбіталь (зона провідності)) збільшується, енергія зсуву електронів із валентної зони в зону провідності зменшиться [46].

При опроміненні світла з енергією, що дорівнює або перевищує ширину забороненої зони напівпровідникового фотокаталізатора, електрони збуджуються з валентної зони каталізатора в зону провідності, залишаючи за собою дірки в валентній зоні [52].

Ці фотогенеровані електрони та дірки, можливо, можуть рекомбінувати, виділяючи тепло від 10 до 100 наносекунд, як згадували Хофманн та ін. шляхом вимірювання за допомогою фотолізу лазерного спалаху при кімнатній температурі. Ця рекомбінація електронів і дірок викликає низьку квантову ефективність фотокаталізатора.

Звіти про механізм фотокаталізу вказують на те, що рекомбінація фотогенерованих електронів і дірок в основному відбувається в масі зразків каталізатора. Цей процес рекомбінації електронів і дірок можна значно зменшити, якщо ці види носіїв заряду розділити шляхом додавання відповідного поглинача або включення деяких місць уловлювання на поверхні в результаті утворення дефектів, поверхневих адсорбентів або інших місць.

Якщо ми дамо діркам і електронам достатньо часу, перш ніж вони рекомбінують, то ці утворені носії заряду мігрують на поверхню каталізатора і можуть зазнати перенесення заряду, щоб ініціювати окислювально-відновні реакції з забруднювачами, адсорбованими на його поверхні. Дірка у валентній зоні, h^+ , містить сильну окислювальну здатність, маючи окислювально-відновний потенціал у діапазоні від +1,0 до +3,5 В (виміряний порівняно з нормальним водневим електродом (NHE) при кімнатній температурі), залежно від напівпровідника та рН. Таким чином, наявність отвору відіграє важливу роль у фотокаталітичній деградації забруднювача, присутнього на поверхні каталізатора. Окислення може відбуватися або через непряме окислення через реакцію з поверхнево-зв'язаним гідроксильним радикалом (OH) (тобто, захопленим поверхнею h^+), або безпосередньо через h^+ , прикріпленим до металевих поверхонь, перш ніж він потрапить усередину частинки або на її поверхні [47].

Ці утворені поверхневі гідроксильні радикали містять величезну здатність окислювати забруднювачі і, отже, повністю мінералізувати їх. З іншого боку,

електрони від фотозбудження також повинні реагувати, щоб уникнути накопичення надлишкових зарядів всередині частинок каталізатора. Таким чином, ефективне видалення електронів може посилити фотокаталітичне окислення забруднюючих речовин. Кисень зазвичай використовується як поглинач електронів, якщо загальною метою реакції є окислення барвників або органічних сполук, оскільки він дуже економічно ефективний і може розчинятися у водних та інших розчинах. Утворені гідроксильні радикали є основними окисними та реакційно здатними речовинами з дуже коротким часом життя і мають потенціал окислення 2,8 В. Отже, ці утворені гідроксильні радикали дуже швидко реагують з органічними сполуками субстрату та молекулами барвника, щоб повністю мінералізувати їх у дуже неселективному режимі [47].

2.4.3. Фотокаталітичне розкладання органічних забруднювачів

Леткі органічні сполуки виділяються в навколишнє середовище як токсичні забруднюючі речовини в процесі промислового виробництва. На даний момент, доступні та використовувані методи очищення для знезараження повітря необхідно вибирати відповідно до процесу, наприклад, рівня забруднення. Крім того, вони мають обмежену ефективність, можуть утворювати вторинні відходи або можуть мати інші обмеження, наприклад, виробництво вторинних відходів у вигляді продуктів згоряння, відпрацьованого вуглецю, стічної води або конденсату, які необхідно обробляти згодом.

Фотокаталітичне розкладання забруднюючих речовин є методом, який може замінити звичайні методи та вирішити їх обмеження. Його великою перевагою є можливість їх речовин до нешкідливих продуктів за один технологічний етап в умовах навколишнього середовища. Ця здатність була відома з 1964 року, коли досліджували деградацію етилену та пропілену. Інтерес до фотокаталітичних технологій почав зростати в 1990-х роках. Більшість наукових робіт на цю тему розглядають фотокаталіз у водному розчині, але зареєстровані патенти стосуються скоріше фотокаталізу в газоподібному середовищі, наприклад, очищення повітря.

Реактори безперервної дії (проточні) або періодичні реактори використовуються для перевірки фотокаталітичних матеріалів або поведінки різних забруднюючих речовин під час деградації. У разі потенційного промислового застосування реактори безперервної дії скоріше використовуються через відносно високу швидкість повітряного потоку, який необхідно обробляти [49;52].

Найчастіше, фотокаталіз застосовується для таких речовин як гексан, бутилацетат або толуол, також ацетон і метанол, що часто використовуються як органічні розчинники в галузі фармацевтики.

Метанол є досить поширеним відходом багатьох галузей виробництва. У стічних водах метанол є основним забруднювачем, за ним йдуть мідь та її сполуки. В процесі фотокаталітичного розкладання органічних речовин, в тому числі і метанолу, утворюються речовини: вода(H_2O) та вуглекислий газ (CO_2).

Тому, в роботі було експериментально досліджено ефективність та швидкість реакції фотокаталітичного розкладання метанолу в водному розчині за допомогою газового хроматографа.

2.4.4. Принципи газової хроматографії

Газова хроматографія являє собою аналітичну методику, яка використовується для розділення хімічних складових суміші зразків, а потім їх виявлення для визначення їх наявності чи відсутності та/або їх кількості. Ці хімічні компоненти зазвичай є органічними молекулами або газами. Щоб процес ГХ був успішним, ці компоненти повинні бути леткими, зазвичай з молекулярною масою нижче 1250 Да, і термічно стабільними, щоб вони не розклалися в системі ГХ. Цей метод є широко використовуваною технікою в більшості галузей промисловості [54]:

- 1) для контролю якості у виробництві багатьох продуктів від автомобілів до хімічних і фармацевтичних препаратів;
- 2) для досліджень від метеоритного аналізу до природних продуктів;
- 3) а також для екологічної безпеки в харчових продуктах і криміналістиці.

Як зрозуміло з назви, ГХ використовує газ-носій для поділу, який відіграє роль

рухомої фази. Газ-носії транспортує молекули зразка через систему ГХ, в ідеалі не вступаючи в реакцію із зразком і не пошкоджуючи компоненти приладу. Зразок спочатку вводять у газовий хроматограф або за допомогою шприца, або переносять з автосамплера, який також може витягувати хімічні компоненти з твердих або рідких матриць зразків. Зразок вводять у вхідний отвір ГХ через перегородку, яка дозволяє вводити суміш зразків без втрати рухомої фази. До входу підключена аналітична колона, довга (10-150 м), вузька (0,1-0,53 мм) трубка з плавленого кремнезему або металу, яка містить нерухому фазу, нанесену на внутрішні стінки. Аналітичну колонку тримають в колонній печі, яку нагрівають під час аналізу для елюювання менш летких компонентів. Вихідний отвір колонки вставляється в детектор, який реагує на хімічні компоненти, що елюювали з колонки, щоб створити сигнал. Сигнал записується програмним забезпеченням збору даних на комп'ютері для отримання хроматограми (рис. 2.6) [54].

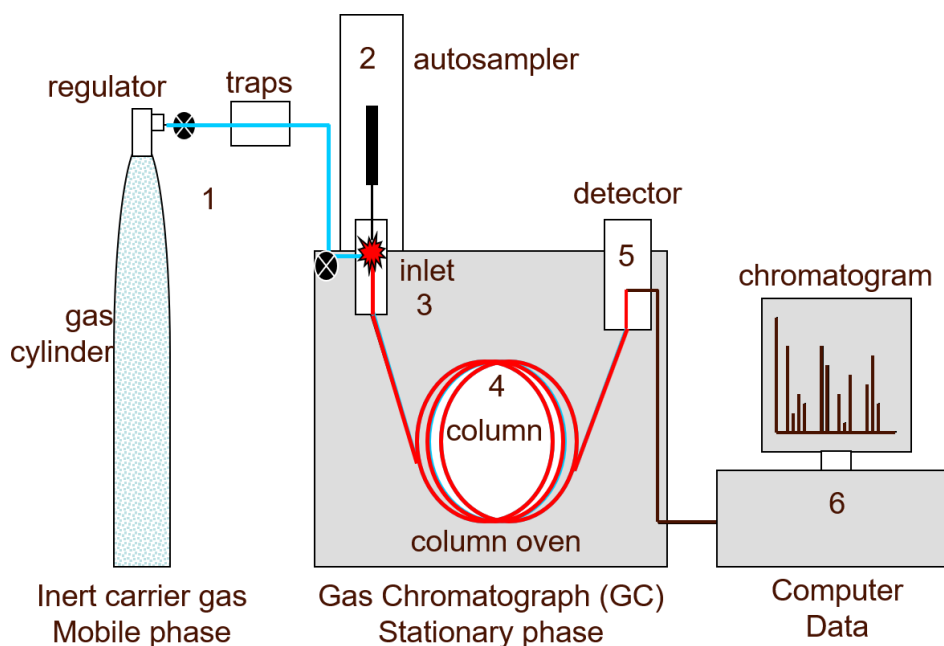


Рис. 2.6. Спрощена схема газового хроматографа, що показує: 1 – газ-носії, 2 – автопробовідбірник, 3 – вхід, 4 – аналітичну колонку, 5 – детектор і 6 – комп'ютер

Після введення у вхідний отвір ГХ хімічні компоненти суміші зразків спочатку випаровуються, якщо вони ще не перебувають у газовій фазі. Для зразків низької

концентрації вся хмара пари переноситься в аналітичну колонку газом-носієм у так званому режимі без розщеплення . Для зразків високої концентрації лише частина проби передається в аналітичну колонку в режимі розділення, а решта вимивається з системи через лінію розділення, щоб запобігти перевантаженню аналітичної колонки [55].

Потрапляючи в аналітичну колонку, компоненти зразка розділяються різними взаємодіями з нерухомою фазою. Тому при виборі типу колонки для використання слід враховувати летючість та функціональні групи аналітів, щоб узгодити їх зі стаціонарною фазою. Рідкі стаціонарні фази в основному поділяються на два типи: на основі поліетиленгліколю або полідиметилсилоксану, останні з різним відсотком диметилвих, дифенільних або середньополярних функціональних груп, наприклад ціанопропілфенілу. Подібне відокремлює подібне, тому неполярні колонки з диметилом або низьким відсотком дифенілу хороші для розділення неполярних аналітів. Молекули, здатні до π - π взаємодій, можна розділити на нерухомі фази, що містять фенільні групи. Ті, які здатні утворювати водневі зв'язки, наприклад кислоти та спирти,

Останнім етапом є виявлення молекул аналіту, коли вони елюються з колонки. Існує багато типів детекторів ГХ, наприклад [56]:

- 1) ті, які реагують на зв'язки, як-от полум'яно-іонізаційний детектор (FID);
- 2) ті, які реагують на певні елементи, наприклад, сірку, азот або фосфор;
- 3) ті, які реагують на специфічні властивості молекули, як-от здатність захоплювати електрон, як це використовується з детектором захоплення електронів (ECD).

2.5. Висновки до розділу

Отже, в розділі проведено аналіз існуючих методів очистки промислових стічних вод та методів, які використовують для видалення забруднюючих речовин зі стічних вод аеропортів. Проаналізовано їх основні недоліки, до яких належить застарілість обладнання, дороговартісність, слабка ефективність деяких,

прив'язаність до погодних умов та надмірне утворення відходів.

Розглянуто можливість застосування методу фотокаталітичного розкладання хімічних речовин для очистки промислових стічних вод. Наведено загальну характеристику фотокаталізу, сфер його застосування та основні принципи газової хроматографії, що використовувалась для проведення досліджень. Було визначено, що, на сьогодні, фотокаталіз є досить перспективною галуззю науки, яка активно розвивається. Це пояснюється наявністю проблеми боротьби з постійним збільшенням забруднення органічними хімічними речовинами навколишнього середовища, оскільки, особливо актуальним є питання розробки ефективних та безпечних методів знешкодження наявних забруднень.

Визначено, що метод очистки води за допомогою фотокаталізу дає можливість запобігати утворенню додаткових відходів, а в процесі реакції речовини розкладаються на воду та вуглекислий газ.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИСТКИ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД ХІМІЧНИХ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН МЕТОДОМ ФОТОКАТАЛІЗУ

3.1. Методика проведення досліджень

3.1.1. Матеріали та обладнання для проведення експерименту

Оскільки в промислових стічних водах авіапідприємств, присутня значна кількість саме органічних забруднюючих речовин, то для нашого дослідження процесу їх розкладання, було обрано такий оксигеновмісний органічний забруднювач, як метанол. Проаналізовано, що метанол (CH_3OH) належить до найпростіших одноатомних спиртів, характеристика якого наведена в таблиці 3.1. Він являє собою рідину, що не має кольору, легкозаймисту і летку речовину зі слабким запахом етилового спирту. Метанол змішується з багатьма органічними розчинниками, необмежено змішується з водою, використовується в багатьох галузях промислового виробництва та має здатність накопичуватись в організмі при постійному надходженні. Також виявляє досить сильний токсичний вплив переважно на нервову та судинну систему.

Таблиця 3.1

Загальна характеристика метанолу

Систематична назва	Метанол
Зовнішній вигляд	Безбарвна рідина
Формула	CH_3OH
Молярна маса	32,04 г/моль
Щільність	0,7918 г/см ³
Температура плавлення	-97,6 ° C
Температура кипіння	64,7 ° C
Розчинність у воді	Змішується

Всі дослідження водних розчинів проводились за допомогою газового онлайн хроматографа (рис. 3.1).

Для виконання дослідницької роботи було використано різне обладнання, а саме: ультрафіолетова лампа з водним фільтром, лампа видимого світла, саморобний реактор для розчинів, метанол, різні види каталізаторів, магнітні мішалки, шприц на 5 мікролітрів для ін'єкцій в хроматограф, міліграмові ваги, мікролітрові піпетки, скляні колби та деіонізована вода (рис. 3.2).



Рис. 3.1. Газовий хроматограф та комп'ютер для аналізу результатів експерименту

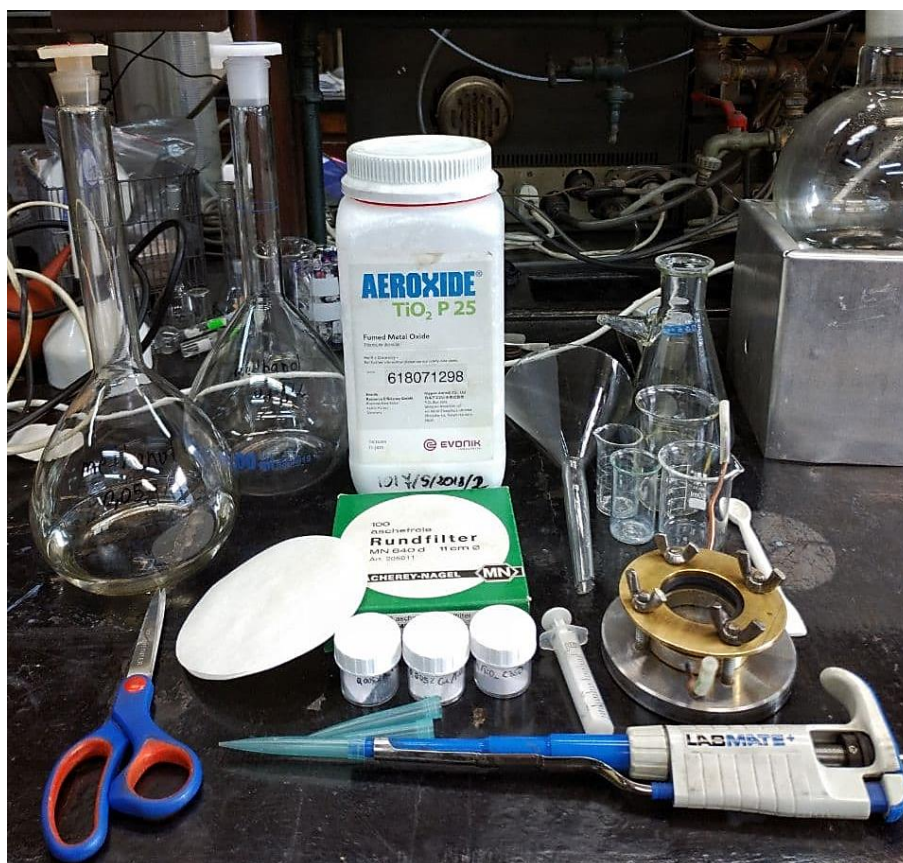


Рис. 3.2. Обладнання для проведення досліджень

3.1.2. Методика проведення експерименту очистки водного розчину від метанолу

У реактор додавали водний розчин використаної речовини, а також каталізатор. Реактор поміщали на магнітну мішалку під лампу на певний час. Після реакції, для фільтрації водних розчинів від дрібних частинок використовували фільтри. І далі, перед ін'єкцією до хроматографу, для кінцевого осадження дрібних домішок, поміщали зразки водного розчину до центрифуги. Концентрація метанолу у воді дорівнювала спочатку 0,1 мг/л, а потім було зменшено до 0,05 мг/л. Кількість каталізатора варіювалась від 25 до 50 мг для кожного досліджу.

Для дослідження процесу фотокаталітичного розкладання водного розчину метанолу, до нього додавали різні види каталізаторів, в кількості від 25 до 50 мг. Серед каталізаторів використовувалися: TiO_2 (анатаз), TiO_2 (рутил), TiO_2+Au , TiO_2+Cu та $\text{TiO}_2+\text{Cu}+\text{Au}$. Також, в декількох експериментах, до розчину з

каталізатором додавали 1 мл пероксиду водню (H_2O_2) для спостереження за динамікою зміни перебігу реакції.

Для проведення експерименту з фотокаталітичним розкладанням водного розчину метанолу використовували саморобний реактор (рис.3.3). До реактора поміщали 16 мл водного розчину та необхідну кількість каталізатора, залежно від експерименту. Потім отриману суміш в реакторі залишали під ультрафіолетовою лампою або лампою видимого світла на 5, 15, 30, 60 та 120 хвилин (рис. 3.4-3.5). Після реакції, розчин пропускали через фільтрувальний папір та відправляли на центрифугування протягом 10 хвилин. Для дослідження, за допомогою шприца, декілька разів вводили 5 мікролітрів готового розчину до газового хроматографу. Отримані піки метанолу, до та після реакцій, досліджували за допомогою програмного забезпечення на комп'ютері CHR-MOD та CHROMAX. Основними досліджуваними характеристиками піку є його висота і площа. Саме серед них знаходили середнє значення для кожного досліду.



Рис. 3.3. Саморобний реактор з досліджуваним розчином

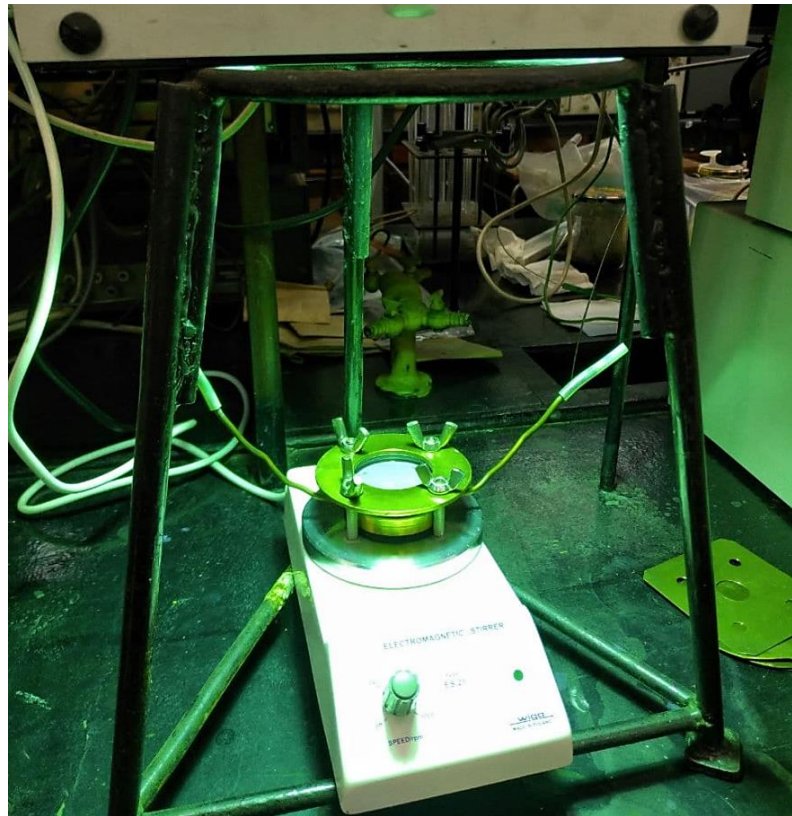


Рис. 3.4. Процес проведення експерименту фотокаталітичного очищення водного розчину метанолу під УФ лампою

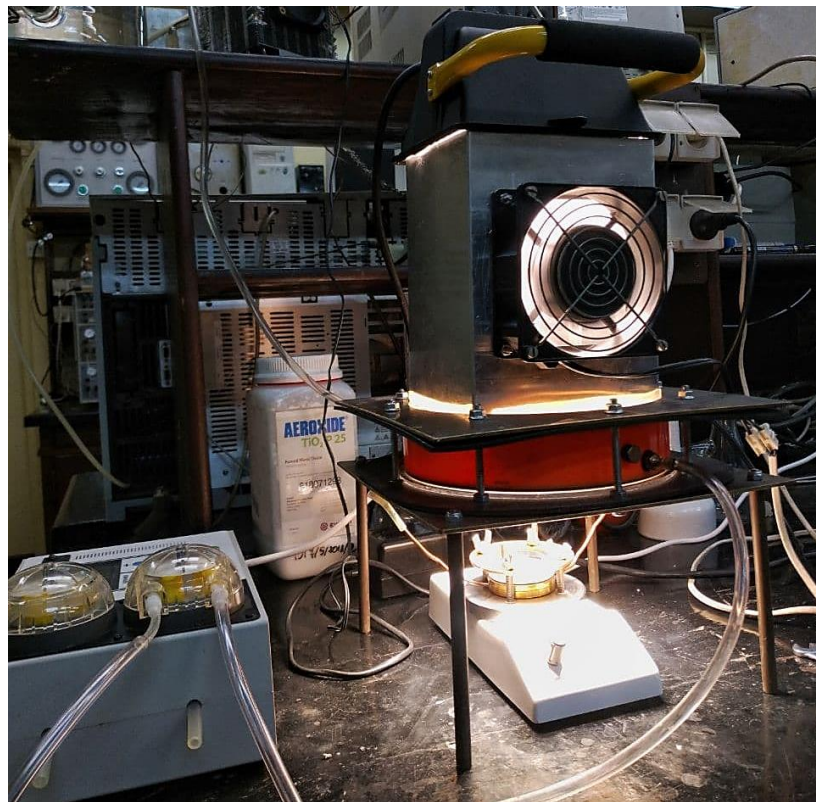


Рис. 3.5. Процес проведення експерименту з фотокаталітичного очищення водного розчину метанолу під лампою видимого світла

Аналіз змін концентрації метанолу в розчині до фотокаталітичної реакції та після, робили шляхом співвідношення площі піку після реакції (C_n) до площі піку початкового розчину (C_0): C_n/C_0 .

Інструментальна та суб'єктивна похибка вимірювання за допомогою газового хроматографа становить $\pm 10-20\%$.

3.2. Аналіз результатів фотокаталітичного розкладання метанолу

3.2.1. Аналіз результатів експерименту з УФ лампою

Проведення перших дослідів з водним розчином метанолу розпочали з концентрації речовини 0,1 мг/л та 50 мг каталізатора TiO_2 з структурою анатаз. Зразки опромінювались ультрафіолетовим світлом протягом 15, 30, 60 та 120 хвилин. Результати експерименту показали слабе протікання процесу, тому концентрацію метанолу було зменшено вдвічі.

Наступні експерименти проводились з концентрацією метанолу 0,05 мг/л. В якості каталізаторів використовували TiO_2 (анатаз), TiO_2+Au , TiO_2+Cu та $TiO_2+Cu+Au$. Зразки діоксиду титану покриті металами, були відпалені у печі при температурі $350^\circ C$. Потім отриманий порошок висушували на повітрі. Кількість кожного каталізатора – 25 мг. Реактор поміщували під УФ лампу на 5, 15, 30 та 60 хвилин.

За допомогою програм CHR-MOD та CHROMAX ми проаналізували отримані хроматограми кількості метанолу, який зазнав фотокаталізу (рис. 3.6-3.10).

Для кожного експерименту, з хроматограм, було розраховано відношення площі піку метанолу після фотокаталізу до початкового значення. Таким чином, проводили аналіз змін вмісту метанолу в розчині до та після реакції, і, чим менше значення показника, тим більше речовини розклалось в процесі фотокаталізу.

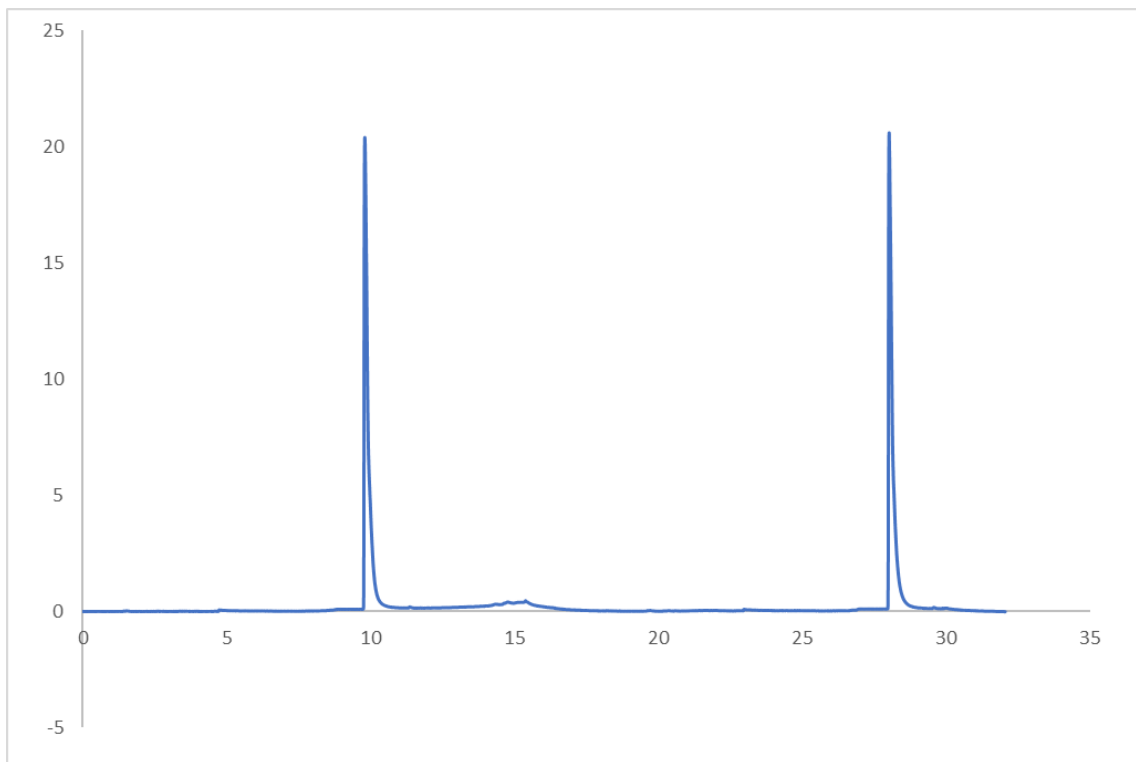


Рис. 3.6. Хроматограма дослідження розчину метанолу до проведення реакції

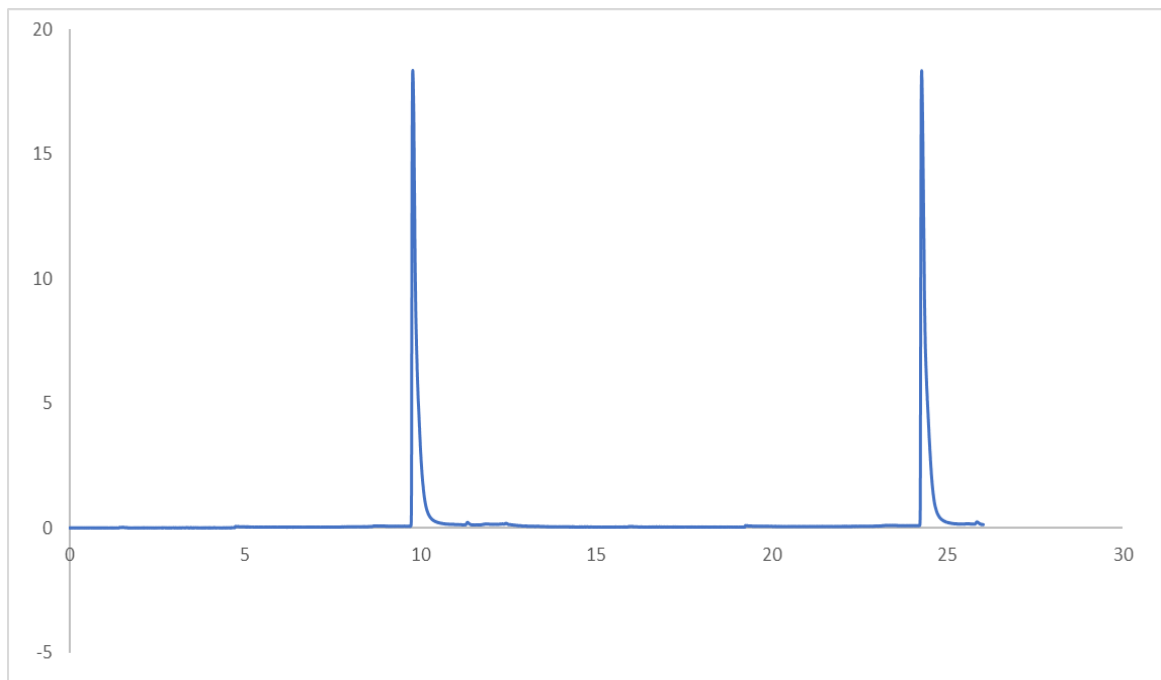


Рис. 3.7. Хроматограма дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з TiO_2 (анатаз) протягом 5 хвилин

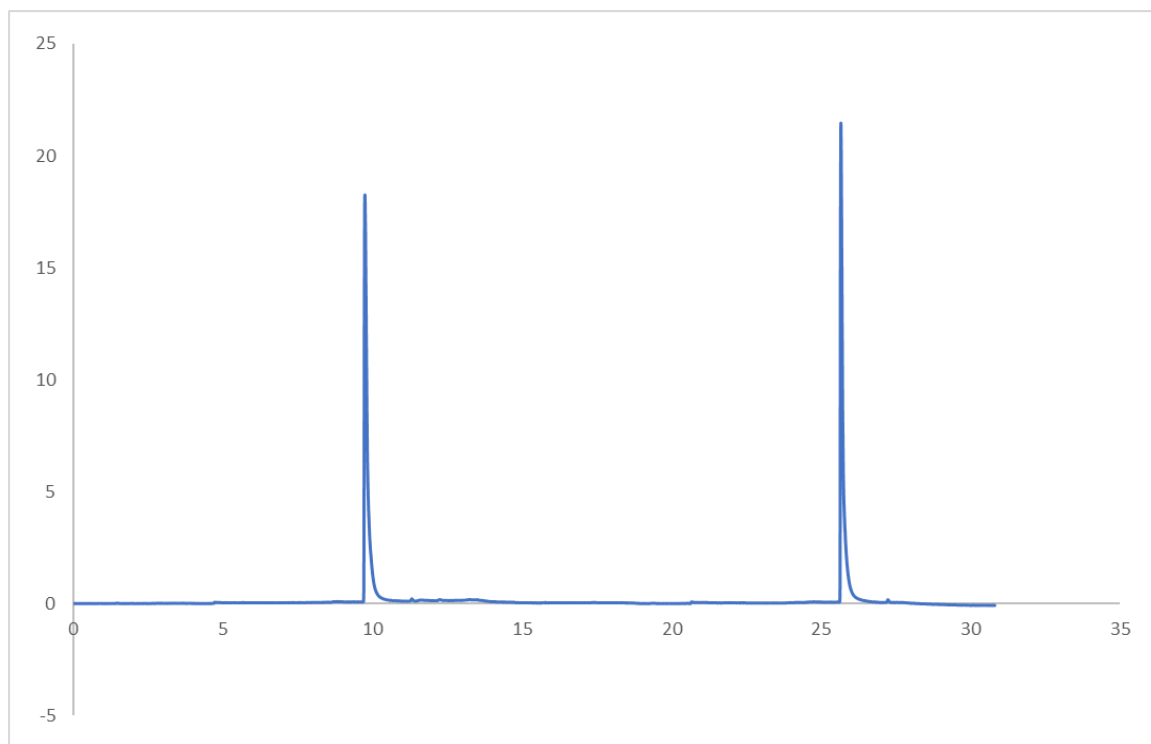


Рис. 3.8. Хроматограма дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з TiO_2 (анатаз) протягом 15 хвилин

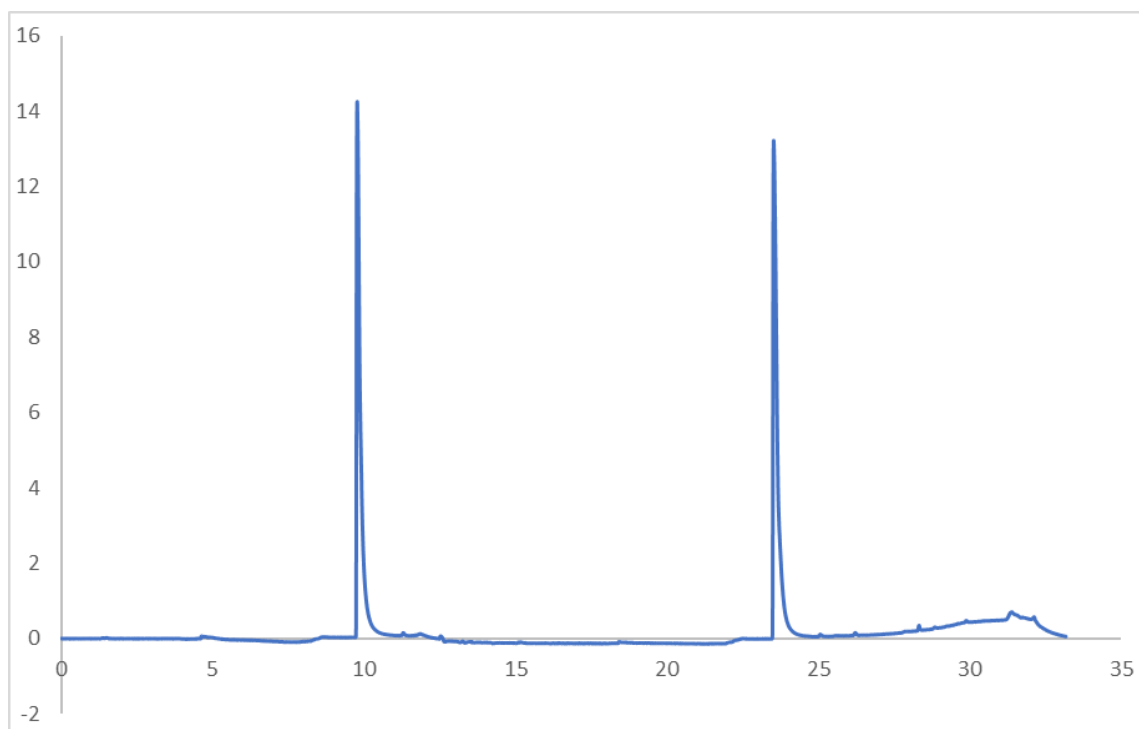


Рис. 3.9. Хроматограма дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з TiO_2 (анатаз) протягом 30 хвилин

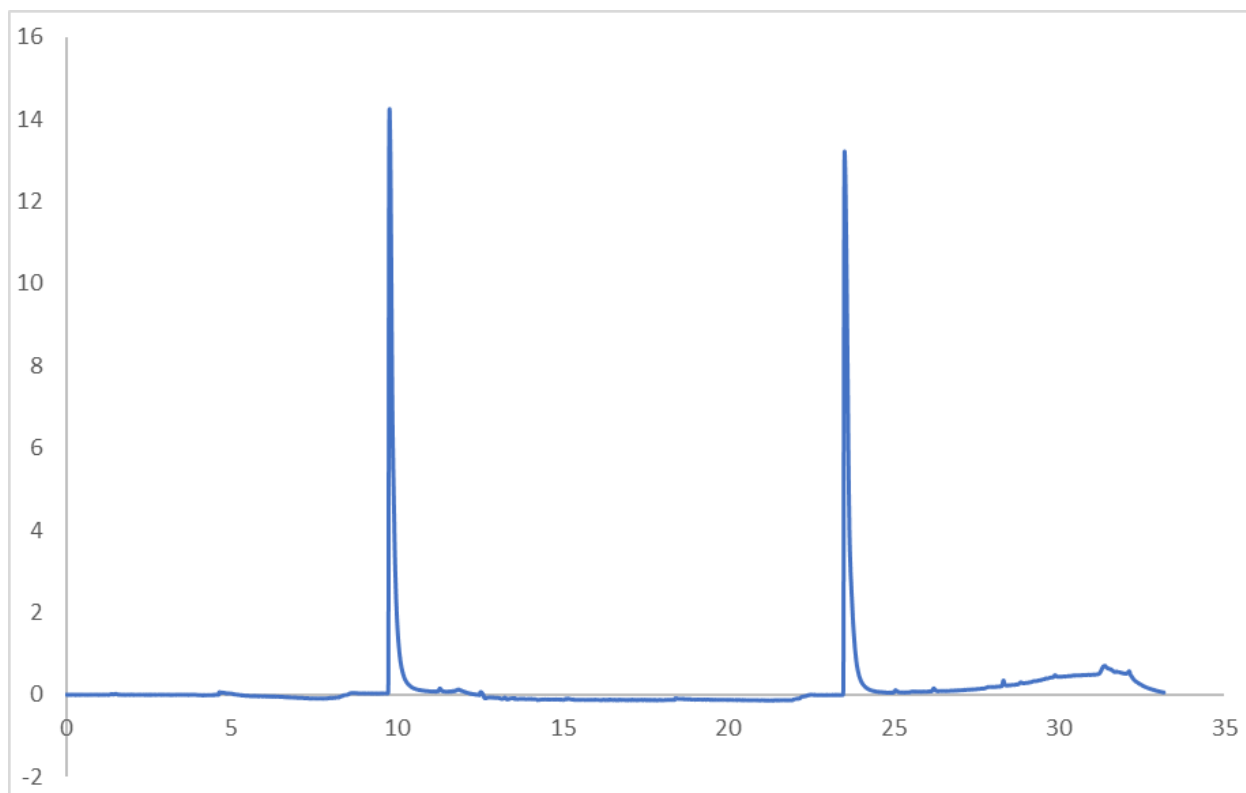


Рис. 3.10. Хроматограма дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з TiO_2 (анатаз) протягом 60 хвилин

З дослідження отриманих хроматограм, встановлено, що для каталізатора TiO_2 з структурою анатазу, отримали такі результати співвідношення площі піку після реакції (C_n) до площі піку початкового розчину (C_0): при 5 хвилинах дорівнює 0,87, при 15 хв – 0,67, при 30 хв – 0,62 та при 60 хв – 0,60.

Для TiO_2 з покриттям золота отримали такі результати: при 5 хвилинах фотокаталізу – 0,92, при 15 хв – 0,76, при 30 хв – 0,75 та при 60 хв – 0,69.

Для наступного каталізатора TiO_2 , покритого міддю, співвідношення отриманих даних таке: при 5 хвилинах фотокаталізу – 0,84, при 15 хв – 0,72, при 30 хв – 0,66 та при 60 хв – 0,65.

Для TiO_2 з покриттям міді та золота, співвідношення отриманих даних при ультрафіолетовому світлі таке: при 5 хвилинах фотокаталізу – 0,84, при 15 хв – 0,76, при 30 хв – 0,70 та при 60 хв – 0,69 (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Значення співвідношення площі піку після реакції (C_n) до площі піку початкового розчину (C_0) для різних каталізаторів

Час реакції, хв	TiO ₂ (анатаз)	TiO ₂ (рутил)	TiO ₂ +Cu	TiO ₂ +(Cu+Au)	TiO ₂ +Au
5	0,87	0,80	0,84	0,84	0,84
15	0,67	0,71	0,72	0,76	0,76
30	0,62	0,68	0,66	0,70	0,70
60	0,60	0,67	0,65	0,69	0,69

Аналіз результатів показав, що серед усіх каталізаторів, найбільшу активність при розкладанні метанолу в ультрафіолетовому спектрі світла, показав TiO₂ з структурою анатазу, за 60 хвилин фотокаталізу з цим каталізатором – вміст метанолу у водному розчині зменшився на 40%.

В таблиці 3.3 представлена ефективність очистки водного розчину від метанолу за допомогою фотокаталізу під УФ лампою у відсотках:

Таблиця 3.3

Ефективність розкладання метанолу різними каталізаторами у %

Час реакції, хв	TiO ₂ (анатаз)	TiO ₂ (рутил)	TiO ₂ +Cu	TiO ₂ +(Cu+Au)	TiO ₂ +Au
5	12,94	20,00	16,08	15,60	15,60
15	33,40	29,00	27,71	24,39	24,39
30	37,79	32,00	33,79	30,19	30,19
60	40,05	33,00	34,75	31,32	31,32

3.2.2. Аналіз результатів експерименту з лампою видимого світла

Наступні досліді проводились, також, з розчином метанолу 0,05 мг/л та каталізаторами TiO_2 (анатаз), TiO_2 (рутил), TiO_2+Au , TiO_2+Cu та $\text{TiO}_2+\text{Cu}+\text{Au}$. Кількість кожного каталізатора – 25 мг.

Для фотокаталізу використовували лампу видимого світла з водним фільтром. Реактор залишали під нею на 5, 15, 30 та 60 хвилини, після чого відправляли отримані розчини, на аналіз, до газового хроматографу. Результати отриманих хроматограм аналізували за допомогою програм CHR-MOD та CHROMAX для газового хроматографу (рис. 3.11-3.15).

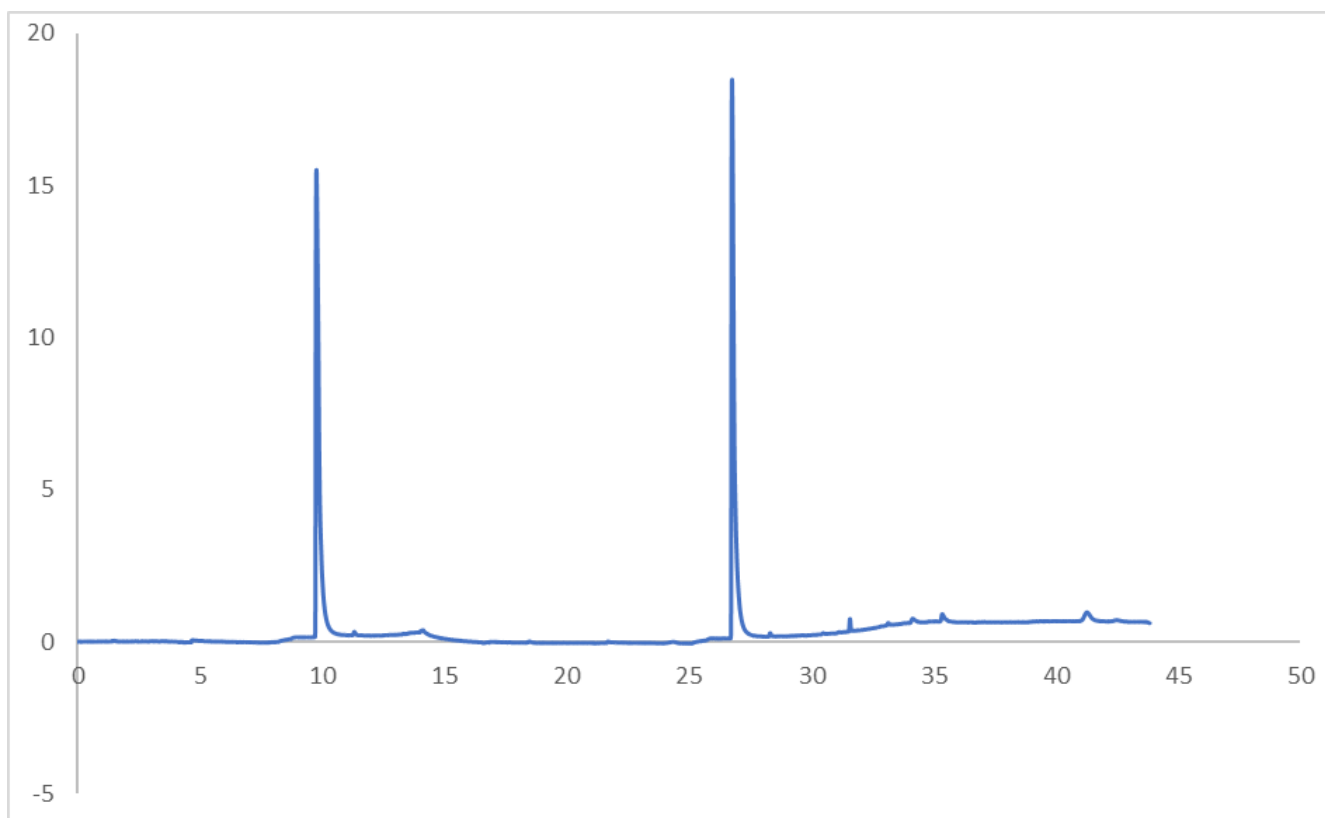


Рис. 3.11. Хроматограма дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з TiO_2 (анатаз) протягом 60 хвилин

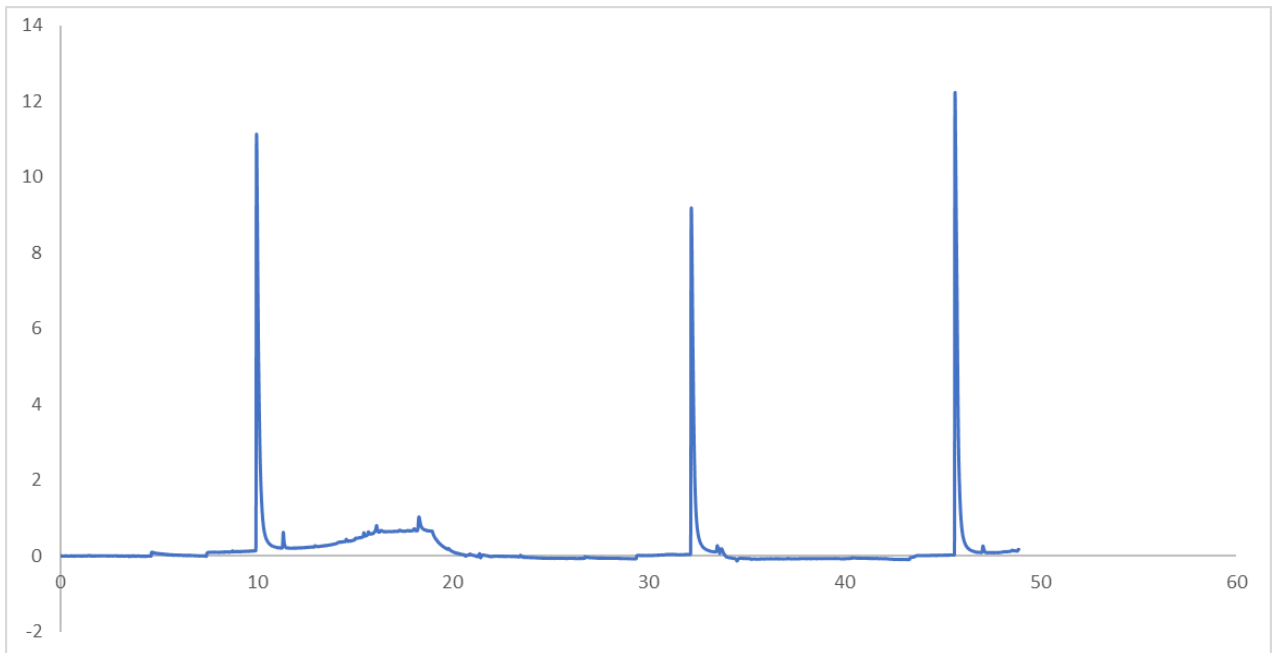


Рис. 3.12. Дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з TiO_2 (рутил) протягом 60 хвилин

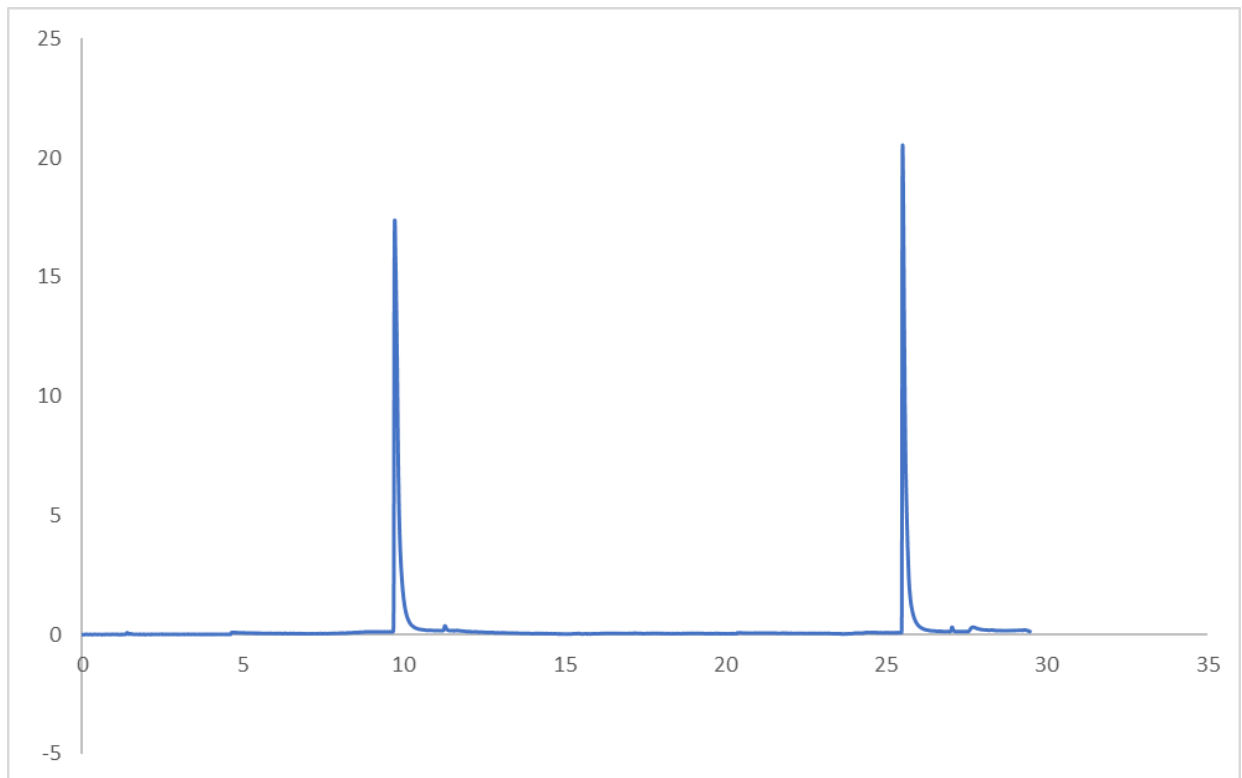


Рис. 3.13. Дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з TiO_2+Au протягом 60 хвилин

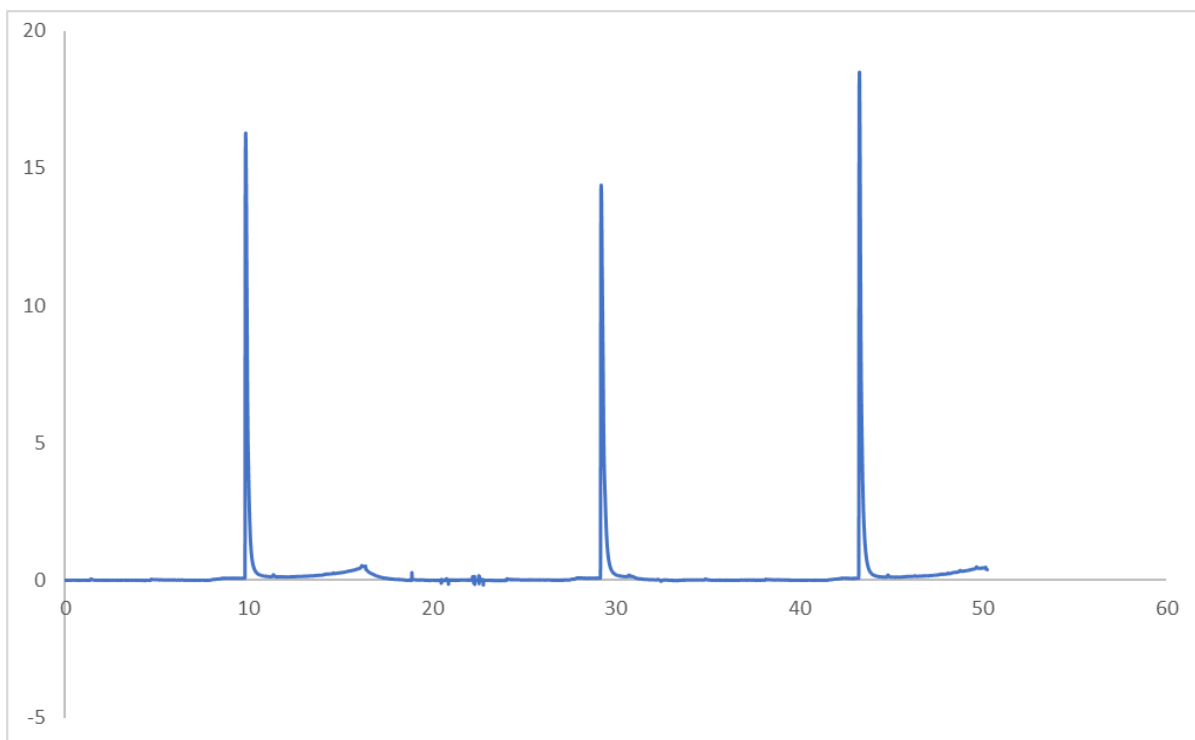


Рис. 3.14. Дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з TiO_2+Cu протягом 60 хвилин

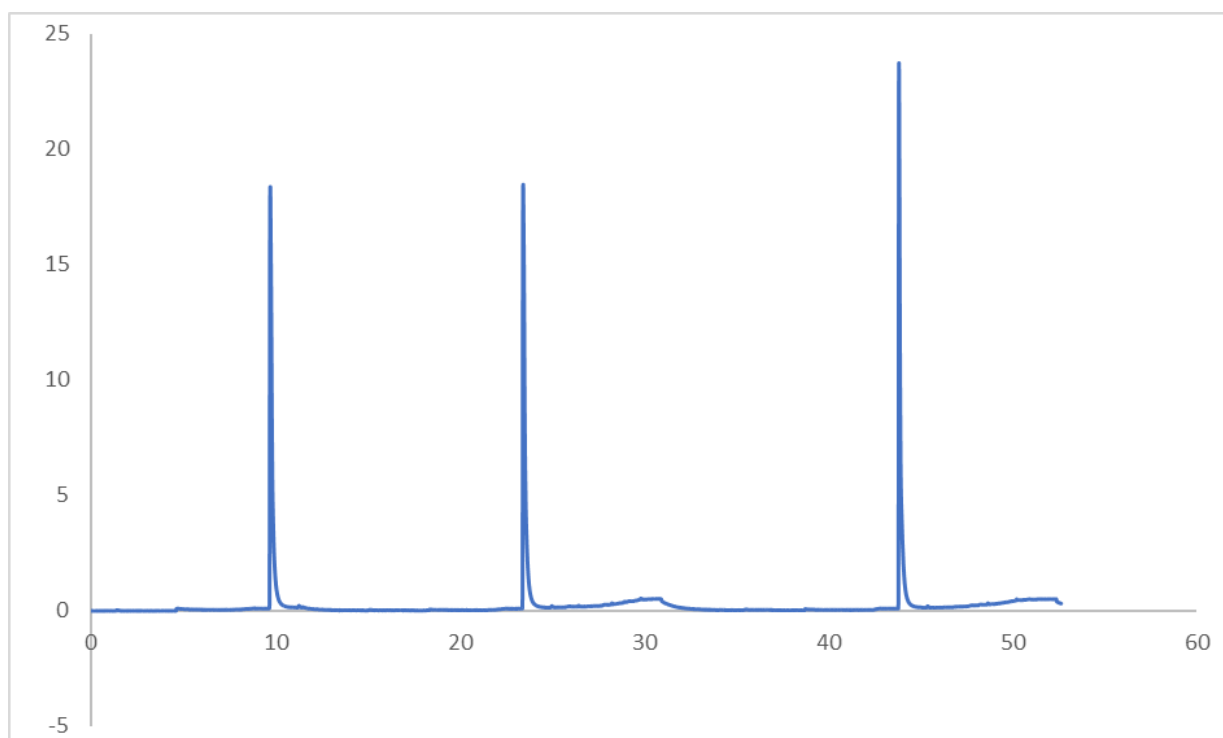


Рис. 3.15. Дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з $\text{TiO}_2+\text{Cu}+\text{Au}$ протягом 60 хвилин

Результати експерименту з видимим світлом для TiO_2 зі структурою анатазу: при 5 хвилинах відношення C_n/C_0 дорівнює 0,91, при 15 хв – 0,83, при 30 хв – 0,81 та при 60 хв – 0,78. Для TiO_2 з структурою рутилу отримали такі значення: при 5 хв – 0,88, 15 хв – 0,86, 30 хв – 0,84, 60 хв – 0,58.

Каталізатор TiO_2 з покриттям золота в видимому світлі показав такі результати співвідношення вмісту метанолу до та після реакції: при 5 хвилинах фотокаталізу – 0,99, при 15 хв – 0,97, при 30 хв – 0,94 та при 60 хв – 0,85.

Для наступного каталізатора TiO_2 , покритого міддю, співвідношення отриманих результатів: при 5 хвилинах фотокаталізу – 0,95, при 15 хв – 0,94 при 30 хв – 0,91 та при 60 хв – 0,86.

Для TiO_2 з покриттям міді та золота, співвідношення отриманих даних при видимому світлі таке: при 5 хвилинах – 0,97, при 15 хв – 0,96, при 30 хв – 0,93 та при 60 хв – 0,87 (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Отримані значення C_i/C_0 для різних каталізаторів

Час реакції, хв	TiO_2 (анатаз)	TiO_2 (рутил)	TiO_2+Cu	$\text{TiO}_2+(\text{Cu}+\text{Au})$	TiO_2+Au
5	0,91	0,88	0,95	0,97	0,99
15	0,83	0,86	0,94	0,96	0,97
30	0,81	0,84	0,91	0,94	0,94
60	0,78	0,57	0,86	0,87	0,85

Також було проведено дослід з двома каталізаторами TiO_2 (анатаз) та TiO_2+Cu , з додаванням до суміші 1 мл пероксиду водню, для спостереження за зміною швидкості протікання реакції розкладання метанолу. Досліди проводили під лампою видимого світла протягом 30 хвилин. Отримані результати свідчать про незначну зміну концентрації метанолу після реакції з H_2O_2 , в порівнянні з реакціями без цієї

речовини. Співвідношення вмісту метанолу в розчині до та після для TiO_2 (анатаз) – 0,75, а для TiO_2+Cu – 0,75. Таким чином, можемо зробити висновок про незначну ефективність пероксиду водню, як речовини для прискорення фотокаталітичного розкладання органічних речовин.

Результати фотокаталізу в видимому спектрі світла показали, що найбільшу ефективність реакції розкладання метанолу у % виявляє каталізатор TiO_2 зі структурою рутилу, зменшивши вміст метанолу до 43% за 60 хв фотокаталітичної реакції (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Ефективність реакції розкладання метанолу у %

Час реакції, хв	TiO_2 (анатаз)	TiO_2 (рутил)	TiO_2+Cu	$\text{TiO}_2+(\text{Cu}+\text{Au})$	TiO_2+Au
5	0,91	0,88	0,95	0,97	0,99
15	0,83	0,86	0,94	0,96	0,97
30	0,81	0,84	0,91	0,94	0,94
60	0,78	0,57	0,86	0,87	0,85

3.2.3. Порівняння отриманих результатів експериментів

Проаналізувавши та порівнявши результати ефективності фотокаталітичного розкладання метанолу в видимому та ультрафіолетову світлі (табл. 3.6), можемо зробити висновок про більшу ефективність саме УФ лампи, як джерела світла при фотокаталізі. Результати, отримані від лампи видимого світла виявили меншу ефективність протікання реакції.

Також отримані дані дослідів при різному світлі та каталізаторах, бачимо, що найкращу роль каталізатора відіграє TiO_2 зі структурою анатазу та TiO_2 зі

структурою рутила. Визначено, що процес фотокаталітичного розкладання успішніше проходить при ультрафіолетовому світлі.

Таблиця 3.6

Порівняння ефективності фотокаталітичного розкладання метанолу в видимому та ультрафіолетову світлі

Час реакції, хв	TiO ₂ (анатаз)		TiO ₂ (рутил)		TiO ₂ +Cu		TiO ₂ +(Cu+Au)		TiO ₂ +Au	
	УФ світло	Видиме світло	УФ світло	Видиме світло	УФ світло	Видиме світло	УФ світло	Видиме світло	УФ світло	Видиме світло
5	12,94	8,51	20,00	11,70	16,08	4,99	15,60	2,51	8,76	1,07
15	33,40	17,11	29,00	14,00	27,71	6,06	24,39	3,70	23,53	3,20
30	37,79	18,51	32,00	16,00	33,79	8,51	30,19	6,49	25,21	6,43
60	40,05	21,62	33,00	43,00	34,75	14,31	31,32	12,95	31,33	14,54

3.3. Висновки до розділу

Отже, дослідження ефективності очистки води методом фотокаталізу проводилось в лабораторних умовах, на прикладі водного розчину забрудненого метанолом. Описано методику проведення досліджень, обладнання, прилади, реактиви та каталізатори, що використовувались для організації експериментів та аналізу отриманих результатів.

Представлено результати експериментального дослідження розкладання водного розчину метанолу. Їх аналіз показав, ефективність фотокаталізу, як методу очищення води. Було визначено, що найкращу роль каталізатора реакцій відіграє TiO₂ зі структурою анатазу та TiO₂ зі структурою рутилу.

Також визначено, що процес фотокаталітичного розщеплення водного розчину метанолу, ефективніше проходить при ультрафіолетовому світлі лампи, в порівнянні з лампою видимого світла. Наші дані, отримані в лабораторних експериментах, можуть бути використані для подальших досліджень процесу розкладання метанолу

за допомогою фотокаталізу та визначення найбільш ефективних фотокаталізаторів цього процесу. Також, в перспективі, можуть бути використані для розробки методу очистки стічних вод від органічних речовин та вирішення екологічних проблем, пов'язаних з хімічним забрудненням поверхневих та ґрунтових вод, поблизу аеропортів та авіаремонтних заводів.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Належний рівень безпеки і нешкідливості праці для людини в промисловій галузі, покликана забезпечити система охорони праці. Небезпечні виробничі умови являють собою умови праці, вплив яких на працівника в певних умовах призводить до травм, опіків або іншого раптового різкого погіршення здоров'я. Шкідливі виробничі фактори – виробничі фактори, вплив яких на працівника в певних умовах призводить до захворювання або зниження працездатності. Відповідно до ДСанПіН «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» шкідливі виробничі фактори поділяються на такі групи [57]:

1) Фізичні (мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); барометричний тиск; неіонізуючі електромагнітні поля та випромінювання; іонізуючі випромінювання; виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (відсутність або недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо));

2) Хімічні (речовини хімічного походження, деякі речовини біологічної природи, які отримані хімічним синтезом та/або для контролю яких використовуються методи хімічного аналізу, аерозолі фіброгенної дії (пил));

3) Біологічні (мікроорганізми - продуценти, живі клітини та спори мікроорганізмів, що містяться в бактеріальних препаратах, патогенні мікроорганізми);

4) Фактори трудового процесу (важкість та напруженість праці).

Проводячи аналіз стічних вод у лабораторії важливо не тільки знати вимоги з техніки безпеки, але й розуміти їх суть, вміти застосовувати їх в різних стандартних та нестандартних умовах. Правила охорони праці під час роботи в хімічних

лабораторіях затверджені наказом Міністерством надзвичайних ситуацій України № 1192 від 11 вересня 2012 року [58].

4.1. Аналіз шкідливих та небезпечних чинників працівника під час роботи у хімічній лабораторії

Під час роботи, працівники хімічних лабораторій піддаються фізичним і хімічним небезпекам. До фізичних факторів відносять підвищення температури повітря в робочих приміщеннях, підвищений рівень шуму на робочому місці, недостатнє освітлення робочих місць. До хімічно небезпечних – відносяться хімічні речовини, що використовуються працівниками відповідно до покладених на них завдань.

Поширеною проблемою є підвищення температури повітря в робочій зоні. Джерелами цього фактору є термостати, автоклави, печі, дистилятори, електроплити. У теплу пору року робота цих апаратів призводить до підвищення температури повітря до 34-38°C і відносної вологості 40-60%, що негативно позначається на здоров'ї працівників [57].

Крім того, рівень шуму на робочому місці часто підвищений і становить небезпеку для працівника. Основними джерелами шуму в лабораторіях є: електричні термостати сухого повітря, електричні сушильні шафа, побутові холодильники, персональні комп'ютери та хімічні установки. Нормативний рівень звуку згідно з ДСН 3.3.6.037-99 для приміщень, де виконуються висококваліфіковані роботи, вимірювальні та аналітичні роботи, становить 50 дБА [59].

У хімічних лабораторіях, недостатнє освітлення робочої зони, часто, становить небезпеку. Це може бути пов'язано з відсутністю або недостатністю природного освітлення, неправильним розміщенням світильників і ламп штучного освітлення тощо. Нормативні значення та відповідні їм зорові навантаження для освітленості робочих місць для різних видів робіт визначені ДБН В.2.5-28:2018 «Природне та штучне освітлення» [60].

Найбільш поширеними є проблеми впливу токсичних хімічних факторів та шкідливих виробничих факторів. Тому, що лаборанти щодня стикаються з різними хімічними речовинами. Під час виконання експериментальної частини дипломної роботи, найчастіше, лаборант знаходився в контакті з поширеним небезпечним органічним забруднювачем стічних вод – метанолом. Метиловий спирт належить до 3-го класу небезпеки, а його ГДК у повітрі робочої зони становить 5 мг/м^3 [61].

В організм людини шкідливі речовини можуть потрапляти через органи дихання, травлення, шкіру та слизові оболонки. Основний шлях потрапляння промислових шкідливих речовин в організм людини – через дихальні шляхи. Потім хімічні речовини всмоктуються з легень у кров, що призводить до різного ступеня інтоксикації [61]. Ступінь інтоксикації організму може бути гостра і хронічна - залежить від токсичності речовини, її кількості, тривалості дії, шляхів проникнення, умов дозування, індивідуальних особливостей організму.

Гостре отруєння – це отруєння, яке виникає внаслідок одноразового впливу великої дози шкідливої речовини. Хронічне отруєння зумовлене тривалою дією на людину низьких концентрацій шкідливих речовин. При хронічному отруєнні шкідливі речовини не тільки накопичуються в організмі - це матеріальна кумуляція, але й викликають "накопичення" функціональних ефектів – функціональну кумуляцію. Ступінь шкідливого впливу шкідливих речовин, що знаходяться в повітрі робочої зони, залежить також від підвищення температури і вологості, ступеня напруги м'язів. У більшості випадків вони лише посилюють дію шкідливих речовин [62]

4.2. Розробка заходів з охорони праці

Нормалізація несприятливих мікрокліматичних умов в лабораторії здійснюється за допомогою комплексу заходів і методів, що включають: будівельно-планувальні, організаційно-технологічні, гігієнічно-технологічні та інші заходи колективного захисту. Для захисту працівників від перегріву та переохолодження застосовують засоби індивідуального захисту медико-біологічні та ін. Оптимальна

температура, значення якої відповідає вимогам ДСН 3.3.6.042-99 на робочих місцях, досягається завдяки раціональному плануванню приміщень та оптимальному розміщенню тепло-, холодо- і вологоустаткування. Забезпечити максимальну механізацію, автоматизацію та дистанційне керування технічними процесами та обладнанням для зниження теплового навантаження на працівників [67].

Для зменшення впливу високих температур в кімнатах, де є великі скляні поверхні передбачено захист від перегріву під прямими сонячними променями в теплу пору року. У невеликих приміщеннях для індивідуального регулювання температури і подачі повітря під час роботи використовують системи кондиціонування [60]. Для підтримки комфортних умов праці в теплу пору року, також, є система кондиціонування. Усі зазначені системи вентиляції дозволяють підтримувати температуру та вологість повітря відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 [67]. Контроль параметрів мікроклімату здійснюється за допомогою різноманітних вимірювальних приладів:

- 1) температури повітря – термометра;
- 2) відносна вологість – психрометр;
- 3) швидкість руху повітря – анемометри;
- 4) інтенсивність теплового випромінювання – актинометр або через температуру поверхні обладнання, виміряну дистанційно;
- 5) барометричний тиск – барометр [64].

Відповідно до ДСТУ 8828:2019 для запобігання сильним шумам у лабораторії можна застосовувати колективні та індивідуальні заходи та засоби захисту [63]. Мета засобів індивідуального шумозахисту – перекрити проникнення звуку в найбільш чутливий канал організму, а саме вухо. Такі засоби дозволяють одночасно запобігти розладу всієї нервової системи від дії інтенсивного подразника, яким є шум. До засобів захисту від шуму належать: навушники, протишумові вставки, шумопоглинаючі шоломи, які має вдягати працівник лабораторії.

Для створення сприятливих умов для зорової роботи освітленість робочого місця повинна відповідати таким умовам:

Рівень освітлення робочої поверхні повинен відповідати гігієнічним нормам для даного виду робіт, а саме:

1. Має бути забезпечена рівномірність і часова стабільність рівня внутрішнього освітлення, відсутність явного контрасту між освітленням робочої поверхні та навколишнього простору, а також відсутня явна тінь на робочій поверхні;

2. Предмети не повинні створювати сліпучих відблисків у полі зору;

3. Спектральний склад штучного освітлення, що використовується підприємствами, повинен бути близьким до природного;

4. Відсутність небезпечних і шкідливих факторів (шум, теплове випромінювання, ураження електричним струмом, пожежо- та вибухонебезпека);

5. Надійна продуктивність, зручна робота та економія.

ДБН В.2.5-28:2018 встановлює нормативні значення для природного, штучного та комбінованого освітлення для приміщення, в тому числі лабораторії [61].

4.3. Правила безпеки праці еколога в лабораторії під час проведення дослідження ефективності очищення промислових стічних вод за допомогою фотокаталізу

Щоб уникнути нещасних випадків, отруень, травм, опіків або потрапляння хімічних речовин в організм лаборанта, під час проведення експерименту в хімічній лабораторії, необхідно, в першу чергу, дотримуватися правил безпеки в хімічних лабораторіях з урахуванням вимог НПАОП 73.1-1.11-12. «Правила охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях» [58]. При роботі з розчинами хімічних сполук, як додатковий запобіжний захід застосовуються засоби індивідуального захисту. Щоб уникнути або зменшити шкідливий вплив хімічних речовин на організм лаборанта, який проводить досліди, слід суворо дотримуватися таких заходів безпеки праці:

1) перед початком робіт провести інструктаж безпеки;

- 2) спостерігати за повною герметичністю систем;
- 3) здійснювати систематичний нагляд за роботою вентиляційних систем;
- 4) роботи слід проводити лише у спеціальному одязі та спеціальному взутті з обов'язковим використанням засобів індивідуального захисту (спецодяг з кислотостійких тканин, бавовни, льняної тканини та гумових рукавичок, а для захисту очей – спеціальні окуляри тощо);
- 5) обережно поводитись зі скляними колбами, посудом та хімічними речовинами;
- б) забезпечити всі робочі місця необхідною кількістю води та нейтралізуючих речовин.

Усі роботи, пов'язані з виділенням небезпечних парів або газів, необхідно виконувати у витяжній шафі. Забороняється виконувати таку будь-яку діяльність при поганій або закритій вентиляції. Категорично забороняється зберігати реактиви без етикеток із назвою речовини. Безлад у лабораторних коридорах і проходах, а також у протипожежному інвентарі неприпустимий. Забороняється зберігати та переносити продукти харчування в хімічній лабораторії. При роботі у вечірній і нічний час в лабораторії повинно бути не менше двох осіб, одна з яких повинна бути призначена головною.

Працівники лабораторії, які працюють на нових видах легкозаймистих і вибухонебезпечних робіт, повинні пройти первинний інструктаж з техніки безпеки (ТБ), охорони праці (СУП), пожежної безпеки (ПБ) у своїх керівників. До зберігання хімічних речовин пред'являються особливі вимоги. Загальна кількість легкозаймистих рідин, що одночасно зберігаються в кожному приміщенні, не повинна перевищувати добової потреби. Основні запаси цих речовин повинні зберігатися на спеціально відведених складах. Неприпустимо зберігати легкозаймисті рідини в поліетиленових ємностях.

4.4. Пожежна безпека

Причини пожеж та загорянь у хімічній лабораторії можуть бути наступними [58]:

- 1) несправний пристрій або порушення режиму роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування;
- 2) несправний пристрій або перевантаження електроустановок та мереж; samozapalovannya ta samozaymannya речовин та матеріалів при неправильному зберіганні чи використанні;
- 3) необережне поводження з вогнем (куріння у невстановлених місцях, необережне ведення вогневих робіт, залишення без нагляду електронагрівачів тощо).

Загальні вимоги до систем протипожежної охорони регулюються ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення» [62].

Для запобігання пожежі необхідно:

- 1) використовувати електричні споживачі, шнури живлення яких мають триполюсну вилку з запобіжним з'єднанням заземлювального проводу;
- 2) не підключати до електромереж споживачів, шнури живлення яких мають пошкоджену ізоляцію;
- 3) не підключати до електричних споживачів, які пошкоджені або небезпечно підключені до шнура живлення, вилок, розеток та подовжувачів;
- 4) не використовувати для опалення приміщень нестандартне (саморобне) електронагрівальне обладнання або лампи розжарювання;
- 5) при використанні споживачами, які мають окремий незалежний провід заземлення, перед підключенням до електромережі для перевірки наявності та надійності підключеного проводу до відповідних клем;
- 6) не замінювати пошкоджені електричні запобіжники, електричні лампи, не ремонтувати електричні споживачі та електромережу;
- 7) наприкінці робочого дня вимкніть вимикач на споживачі та від'єднайте шнур живлення від мережі.

Для забезпечення пожежо- та вибухобезпеки важливо підтримувати необхідні теплові умови обладнання за допомогою природної або механічної вентиляції та спеціальних радіаторів. Для забезпечення пожежогасіння необхідно взяти ряд заходів [63-65].

Для роботи з кислотами, лугами та іншими хімічно активними речовинами шафи і столи повинні бути виготовлені з матеріалів, стійких до їх дії, а бічні кріплення – з негорючих матеріалів. Приміщення лабораторії повинні бути обладнані загальною вентиляцією та місцевою витяжкою з витяжних шаф.

Всі роботи в лабораторії, пов'язані з можливістю виділення отруйних або пожежонебезпечних парів і газів, повинні проводитися тільки у витяжній шафі, яка повинна підтримуватися в справному стані. Зберігання легкозаймистих і горючих рідин повинно здійснюватися в спеціальних негорючих шафах з маркуванням «горючі», а на тару і колби повинні бути наклеєні ярлики з назвами речовин, що містяться. На робочих місцях допускається використання лише необхідних кількостей легкозаймистих рідин. Скляний посуд, що містить легкозаймісті рідини, кислоти, луги та інші агресивні речовини, можна перевозити тільки в спеціальних металевих або дерев'яних ящиках, покритих азбестом [63].

Категорично забороняється нагрівати на відкритому вогні та електронагрівальних приладах ємності, що містять легкозаймісті рідини. Нагрівання легкозаймистих речовин (ацетон, бензол, ефіри, спирти та ін.) слід проводити тільки в круглодонних колбах з тугоплавкого скла, у ванні з відповідним теплоносієм. Після закінчення роботи в лабораторії особа, відповідальна за протипожежний стан приміщень, зобов'язана перевірити:

- 1) чи справні пальники та інші пожежні прилади погашені та чи вимкнені електронагрівальні прилади;
- 2) чи закрито пробками, пляшки та банки з реактивами та іншими рідинами;
- 3) чи вимкнено освітлення та вентиляцію;
- 4) чи зупинена робота всіх приладів і апаратів;
- 5) чи вилучено залишки легкозаймистих рідин[65].

4.5. Висновки до розділу

Отже, проаналізовано основні шкідливі та небезпечні чинники під час роботи в лабораторії та їх вплив на працівника хімічної лабораторії. Визначено, що при виконанні експериментальної частини дипломної роботи у лабораторії можна виділити ряд шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які впливають на здоров'я і працездатність людини, серед яких підвищений рівень шуму в лабораторії, підвищена температура, вплив токсичних хімічних сполук, тощо.

В розділі наведено основні заходи пожежної безпеки та заходи по зменшенню негативного впливу шкідливих чинників під час праці лаборанта. Також, визначено правила безпеки праці еколога в лабораторії під час проведення дослідження ефективності очищення промислових стічних вод за допомогою фотокаталізу.

ВИСНОВКИ

1. Було розглянуто вплив авіаційної галузі на складові навколишнього середовища, такі як: гідросфера, атмосфера та ґрунти. Встановлено, що в процесі переміщення літаків з одного аеропорту в інший, а також при їх наземному обслуговуванні спеціальною технікою, для заправки, ремонту, миття, захисної обробки тощо, ці компоненти навколишнього середовища забруднюються в значному масштабі, а особливо страждають території аеропортів, та наближені до них зони. Аналіз літературних джерел показав, що діяльність авіаційних підприємств спричиняє хімічне, акустичне, електромагнітне та теплове забруднення НПС. Загалом, джерелами забруднення навколишнього середовища як самі літаки, так і діяльність всього комплексу підприємства з їх експлуатації, а саме: склади паливно-мастильних матеріалів, цехів бортхарчування, вантажного комплексу, експлуатаційних та ремонтних баз, також наземних обслуговуючих машин тощо. Встановлено, що особливого негативного впливу від діяльності авіапідприємств, зазнають поверхневі, ґрунтові та підземні води в зоні їх постійного впливу. В свою чергу це веде за собою забруднення наближених водних об'єктів хімічними речовинами, яке спричиняє зміну гідрогеологічного, гідрохімічного та гідробіологічного режимів водойм.

2. Проаналізовано, що джерелом забруднення водних об'єктів авіапідприємствами є господарсько-побутові та виробничі стічні води, а також поверхневий стік, що складається з дощових і талих снігових вод. Це спричинено як роботою самих літаків, так і їх наземним обслуговуванням, ремонтом, миттям та виконанням інших технологічних операцій із забезпечення авіатранспортних процесів. З літературних джерел, встановлено, що ці хімічні речовини призводять до забруднення джерел водопостачання для населення, знижують якість води на прилеглих територіях та чинять токсичний вплив на мешканців водойм.

3. Встановлено, що до складу стічних вод із території аеропорту можуть входити: важкі метали; нафтопродукти; феноли; розчинені органічні сполуки;

суміші для миття літаків та обробки проти зледеніння; залишки мінеральних мастил, кислоти й луки що надходять до них як внаслідок роботи самих літаків, так і їх наземного обслуговуванням. Проаналізовано, що основними джерелами забрудненого поверхневого стоку є: території авіаційно-технічних баз; місця для проведення доводочних робіт, мийки та антиобліднювальної обробки літаків; перон і привокзальна площу; приміщення служб паливно-мастильних матеріалів. До джерел надходження господарсько-побутових СВ належать будівлі, що обслуговують пасажирів, під час перевезення, а до джерел виробничих стічних вод – підсобні приміщення, комплекс будівель та споруд для забезпечення технічного обслуговування повітряних суден.

4. Було проаналізовано сучасні методи очистки промислових стічних вод авіапідприємств, серед яких механічні, хімічні, фізичні, фізико-хімічні та розглянуто можливість застосування фотокаталізу в процесі очистки забруднених стоків. Методи очистки стічних вод авіапідприємств підбирають відповідно до певних параметрів, серед яких, в першу чергу, рівень забруднення та тип забруднюючих речовин. Встановлено, що багато з існуючих методів очищення стічних вод, на сьогодні, не завжди виправдовують очікувані сподівання, тому що, деякі з них застаріли, а деякі недостатньо ефективні, деякі досягають необхідного ступеня очищення, але тільки за деякими показниками, коли інші забруднюючі речовини все ще знаходяться в неприпустимих концентраціях. Тому, для ефективного очищення стічних вод авіапідприємств необхідно розробити новий, сучасний метод, який може задовольнити як підприємства, так і вплив на довкілля.

5. Отже, для експериментального дослідження можливості очищення стічних вод авіаційних підприємств, серед існуючих методів ми обрали метод фотокаталізу, що є ефективним методом очищення органічно забрудненої води, який може замінити традиційні методи та усунути їх обмеження. Дослідження ефективності очистки води методом фотокаталізу проводилось в лабораторних умовах, на прикладі водного розчину забрудненого метанолом. В роботі описано методіку проведення досліджень, необхідне обладнання, прилади, реактиви та каталізатори, що використовувались для організації експериментів та аналізу

отриманих результатів. Представлено результати експериментального дослідження розкладання водного розчину метанолу. Було визначено, що найкращу роль каталізатора реакцій відіграє TiO_2 зі структурою анатазу та TiO_2 зі структурою рутилу. Також визначено, що процес фотокаталітичного розщеплення водного розчину метанолу, ефективніше проходить при ультрафіолетовому світлі лампи, в порівнянні з лампою видимого світла. У результаті проведених експериментальних досліджень очистки води від органічних забруднювачів, на прикладі метанолу, з використанням методу фотокаталізу, було отримано результати, що свідчать про ефективність даного методу при розкладанні хімічних органічних забрудників та, в перспективі, можливість використання даного методу для очищення промислових стічних вод.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ

ДЖЕРЕЛ

1. Захист навколишнього середовища в авіатранспортних процесах : підручник / В. М. Ісаєнко, С. В. Бойченко, К. О. Бабікова, О. О. Вовк. Київ: НАУ, 2020. 320 с.
2. Франчук Г.М. Екологічні проблеми довкілля : навч. посіб. / Г.М. Франчук, Л.П. Малахов, Р.М. Півторак. Київ : КМУЦА. 2010. – 180 с.
3. Франчук Г. М., Кіпніс Л. С., Маджд С.М. Загоруй Я. В. Екологічна оцінка стану довкілля в зоні аеропорту методами біотестування. Вісн. НАУ. 2006. № 2. С. 114–117.
4. Франчук Г. М., Антонов А. М., Маджд С. М., Рахімбердіна Н. В. Моніторинг стану атмосферного повітря зони аеропорту на підставі результатів досліджень атмосферних опадів. Вісник НАУ. 2005. № 3. С. 164–167.
5. Бойченко С.В., Радомська М. М., Черняк Л.М., Рябчевський О.В., Павлюк Л.І. Авіаційна екологія. Навчальний посібник. Київ, 2014. 152 с.
6. Апостолюк С. О., Джигирей В. С. Промислова екологія: навч. посіб. / ред. С. О. Апостолюк// 2-ге вид., випр, і допов. К.: Знання, 2012. 430 с.
7. Петрук В. Г., Северин Л. І., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч. 2: Методи очищення стічних вод. Вінниця: ВНТУ, 2014. 254 с
8. Ісаєнко В.М., Маджд С.М., Процак Ю.О. Застосування методу ліхеноіндикації для дослідження стану атмосферного повітря на територіях прилеглих до аеропорту. Вісник Кременчуцького національного університету. 2020. №2 (121). С. 66–72.
9. Франчук Г.М., Дехтяренко О.М., Костюк Я.В. Оцінка екологічного стану атмосферного повітря в зоні аеропорту. Наукоємні технології. 2013. № 1. С. 111-114.
10. Захист навколишнього середовища в авіатранспортних процесах : підручник / В. М. Ісаєнко та ін. Київ : НАУ, 2020. 320 с.

11. Маджд С. М., Франчук Г.М. Акумуляція важких металів у рослинних асоціаціях на територіях, прилеглих до авіаремонтних та експлуатаційних підприємств. Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архітектури. Київ, 2009. Вип. 3. С. 76–82.
12. Франчук Г. М., Маджд С.М. Оцінка забруднення атмосферного повітря важкими металами в зоні діяльності авіапідприємств. Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України : зб. наук. праць III Всеукр. наук.-практ. конф. Запоріжжя. ТОВ “Фінвей”. 2007. С. 14–17.
13. Бондар О.І., Машков О.А., Міхеєв В.С. Системний підхід щодо оцінювання екологічного впливу авіаційної техніки на стан довкілля. Екологічні науки: науково-практичний журнал. К.: ДЕА, 2020. № 1(28), 2020, с. 191–200.
14. Франчук Г. М., Антонов А. М., Маджд С. М., Загоруй Я. В. Екологічна оцінка впливу авіаційних транспортних процесів на якість компонентів довкілля. Вісник НАУ. 2006. №1. С. 184-190.
15. Транспортна екологія: навчальний посібник / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвєєва та ін. Київ: «Центр учбової літератури», 2017. 508 с.
16. Запорожець, О., Загурська, Л., Синило, К. Оцінювання забруднення атмосферного повітря на території та за межами аеропорту. Вісник Національного Авіаційного Університету. 2008. № 36(3), С. 121–125.
17. Проблеми забруднення атмосферного повітря при експлуатації аеропортів цивільної авіації: брошура / О. Запорожець та ін. / за ред. К. Синило, НЕЦУ. Київ, 2018. 20 с.
18. Cherniak L. The usage of plant test systems for the determination of phytotoxicity of contaminated with petroleum products soil / L. Cherniak, O. Mikhyeyev, S. Madzhd, O. Lapan, T. Dmytrukha, I. Korniienko // Journal of Ecological Engineering. – 2021. – Volume 22 (6). – P. 66–71.
19. Маджд С. М. Франчук Г.М., Михарєвська Т.В. Аналіз ґрунтів в зоні аеропорту Київ. Вісн. НАУ. 2007. № 3–4. С. 133–137.

20. Черняк Л.М. Використання рослинних тест-систем для визначення токсичності ґрунту на території аеропорту / Л.М. Черняк, С.М. Маджд, О.М. Міхеєв // Вісник Кременчуцького національного університету. – 2020. – №4 (123). – С. 50–55.
21. Маджд С. М. Характеристика забруднення ґрунтових вод поблизу авіапідприємств за основними гідрохімічними показниками / С. М. Маджд, Г. М. Франчук, В. А. Прядко // Матеріали IV Всеукр. наук. Телієвських читань “Захист довкілля від антропогенного навантаження”. – Харків : ХНУ, 2008. – Вип. 2 (18). – С. 58–63.
22. Маджд С.М. Підвищення рівня екологічної безпеки поверхневих і ґрунтових вод в районі аеропорту. Вісн. НАУ. 2016. № 3. С. 69–73.
23. Маджд С. М. Оцінка техногенного впливу авіапідприємств на стан водойм / С. М. Маджд // Екологічна безпека та природокористування. - 2014. - Вип. 14. - С. 101-106.
24. Удод В.М., Маджд С.М, Кулинич Я.І. Регіональні особливості структурно-функціональної організації розвитку техногенно змінених водних екосистем. Вісник Кременчуцького національного університету. 2017. №3 (104). С. 93–99.
25. Шаманський С.Й., Бойченко С.В. Інноваційні екологічно безпечні технології у водовідведенні: монографія. Київ: «Центра учбової літератури», 2018. 320 с.
26. Копілевич В. А., Галімова В. М., Лаврик Р. В. Спецпрактикум. Стічні води, очищення та утилізація і знешкодження осадів. Київ, 2015. 136 с.
27. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с.
28. Айрапетян Т. С. Очистка побутових стічних вод: конспект лекцій. Харк. нац. ун–т міськ. госп–ва ім. О. М. Бекетова. Харків.: ХНУМГ. 2014. 121 с
29. ICAO. Water Management at Airports. URL: <https://www.icao.int/environmental->

protection/Documents/Water%20management%20at%20airports.pdf (дата звернення: 14.10.2015).

30. WHAT ARE AN AIRPORT'S IMPACTS. Aviation Environment Federation. URL: <https://www.aef.org.uk/uploads/PlanningGuide2.pdf> (дата звернення: 15.10.2022).

31. Халанчук Л. В., Коротун А. О. Оптимальний вибір методів очищення стічних та поверхневих вод: Збірник наукових праць за матеріалами Дистанційної всеукр. наук. Конференції «Математика у технічному університеті ХХІ сторіччя». 2017. С.15-16.

32. Паспорт стану споруд по очистці та обеззараженню стічних вод на підприємствах та інших об'єктах. – К.: Вища шк., 2002. – 20 с.

33. Мягченко О.П. Основи екології: підручник. Київ: «Центр учбової літератури». 2010. 312 с.

34. Удосконалення технології очищення стічних вод підприємств авіаційної галузі від нафтопродуктів / Г. М. Франчук, С. В. Бойченко, С. М. Маджд та ін. Наукоємні технології. 2013. № 4. С. 349–354.

35. Апостолюк С.О., Джигирей В.С. Промислова екологія: Навч. посіб. 2-ге вид., випр, і допов. Київ. 2012. 430 с.

36. Мальований М. С. Очищення стічних вод природними дисперсними сорбентами : [монографія] / М. С. Мальований, І. М. Петрушка ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Л.: Вид-во Львів. політехніки, 2012. – 180 с.

37. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. Київ: Вища школа. 2005. 671 с.

38. Природні і штучні біоплато. Фундаментальні та практичні аспекти / В. Д. Романенко, Ю. Г. Крот, Т. Я. Киризовий та ін. Наук. думка. 2012. №2. С. 110–114.

39. Адаптація гідрофітної системи для очистки стічних вод підприємств цивільної авіації /О. М. Міхеєв, С. М. Маджд, О. І. Семенова, Т. І. Дмитруха. Наукоємні технології. Київ. 2015. №3. С. 74–81.

40. Зацеркляний М.М. Столевич Т.Б., Зацеркляний О.М. Процеси захисту навколишнього середовища: підручник. Одеса. Фенікс. 2017. 453 с

41. Белянська О.Р. Технології очистки та утилізації промислових стоків та викидів: конспект лекцій. Кам'янське: ДДТУ. 2022. 82 с.
42. Шаманський С. Й., Бойченко С.В. Енергоєфективна та екологічно безпечна технологія стабілізації осадів стічних вод авіапідприємств. Восточно-європейський журнал передових технологій. Харків. 2015. № 5/8 (77). С. 39–45.
43. Копилевич А. В., Галімова В. М., Лаврик Р. В. Спецпрактикум. Стічні води, очищення та утилізація і знешкодження осадів. Київ: НУБПК, 2015. С.136.
44. Фізико-хімічні основи процесів очищення води: підручник / М.Д. Гомеля, Т.О. Шаблій, Я.В. Радовенчик. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2019. 256 с.
45. Xiaogang Yang, Dunwei Wang. Photocatalysis: Fundamental Principles, Materials and Applications. ACS Appl. Energy Mater. 2018. 442-245 P.
46. Suresh C. Ameta. Photocatalysis / Rakshit Ameta, Suresh Ameta // Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatments. Emerging Green Chemical Technology. – 2018. – P.135-175.
47. Photocatalysis Fundamentals, Materials and Applications / Jinlong Zhang, Baozhu Tia, Lingzhi Wang, Mingyang Xing, Juying Lei // Springer. – 2018. – 421 p. – P. 1-11.
48. Nakataab K. TiO₂ photocatalysis: Design and applications / Kazuya Nakataab, Akira Fujishimaab // Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. – V. 3, Iss.3. – 2012. – P. 169-189.
49. Dubnova L. Photocatalytic decomposition of methanol-water solution over N-La/TiO₂ photocatalysts / Lada Dubnova, Magdalena Zvolska, Miroslava Edelmannovab, Lenka Matějováb, Martin Relib, Helena Drobnáa, Piotr Kuśtrowskic, Kamila Kočíb, Libor Čapeka // Applied Surface Science. – 2019. – P. 879-886
50. Linsebigler Amy L. Photocatalysis on TiO₂ Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results / Amy L. Linsebigler, Lu Guangquan, John T. Yates // Chemical Reviews. – 1995. – V.95, № 3. – P.735–758.
51. Zhu S., Wang D. Photocatalysis: Basic Principles, Diverse Forms of Implementations and Emerging Scientific Opportunities. URL:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/aenm.201700841> (дата звернення: 05.10.2022).

52. Patsoura A. Photocatalytic degradation of organic pollutants with simultaneous production of hydrogen / Alexia Patsoura, Dimitris I.Kondarides, Xenophon E.Verykios // *Catalysis Today*. – V. 124, Iss. 3–4. – 2007. – P. 94-102.

53. Moulis F. Photocatalytic degradation of acetone and methanol in a flow-through photoreactor with immobilized TiO₂ / František Moulis, Josef Krýsa // *Springer*. – 2015. – P. 9233–9243.

54. Andreas Jess and Peter Wasserscheid: *Chemical Technology: From Principles to Products* 2nd Edn. *Chromatographia* 83, 1437 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10337-020-03964-2>

55. Moeder M. *Gas chromatography-mass spectrometry. Practical Gas Chromatography* / M. Moeder // *Springer, Berlin, Heidelberg*. – 2014. – P. 303–350.

56. Лисенко О.М., Ковальчук Т.В., Зайцев В.М. *Основи газової хроматографії. Навчальний посібник*. Київ. 2013.164 с.

57. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08.04.2014 № 248.

58. Про затвердження Правил охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях: Наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України від 11.09.2012 № 1192.

59. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99: Постанова Міністерства охорони здоров'я України від 01.12.1999 №37.

60. Природне і штучне освітлення ДБН В.2.5-28-2018: Наказ від 03.10.2018 № 264.

61. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони: Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 14.07.2020 № 1596.

62. Іщейкіна Ю . Основи безпеки життєдіяльності людини: Навчальний посіб. Полтава: ПО «ШвидкоДрук», 2013.113 с
63. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. Чинний від 2020-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 84 с.
64. Запорожець О.І., Протоєрейський О.С., Франчук Г.М., Боровик І.М. Основи охорони праці: Підручник. Київ: «Центр учбової літератури», 2009. 264 с.
65. Fire safety in the laboratory. URL: <https://safety.ep.wisc.edu/hazards/laboratory-fire-safety> (дата звернення: 27.10.2022).
66. Захист від шуму та вібрації ДБН В.1.2-10:2021: наказ Міністерства розвитку громад та територій України від 30.12.2021 № 366.
67. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99: Постанова Міністерства охорони здоров'я України від 01.12.1999 №42.