

УДК 656.71:504.43

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-7\(35\)-987-1000](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-7(35)-987-1000)

**Черняк Лариса Миколаївна** кандидат технічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, Київ, 03068, тел.: (044) 406-70-29, <https://orcid.org/0000-0003-4192-3955>

**Манецьки Томаш** доктор хімічних наук, професор, Лодзинський технічний університет, Інститут загальної та екологічної хімії, вул. Стефана Жеромського, 114, 90-543 Лодзь, Польща, тел. +48 42 631-31-24, <https://orcid.org/0000-0002-7687-7250>

**Штика Олександр Сергійович** кандидат хімічних наук, професор, Лодзинський технічний університет, Інститут загальної та екологічної хімії, вул. Стефана Жеромського, 114, 90-543 Лодзь, Польща, тел. +48 42 631-31-24, <https://orcid.org/0000-0001-9593-8971>

**Процак Юлія Олександрівна** магістр, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, Київ, 03068, тел.: (044) 406-70-29, <https://orcid.org/0009-0005-5465-5111>

**Петрусенко Валентина Павлівна** кандидат технічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, Київ, 03068, тел.: (044) 406-73-23, <https://orcid.org/0000-0003-3120-9379>

**Дмитруха Тетяна Іллівна** кандидат технічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, пр. Любомира Гузара, 1, Київ, 03068, тел.: (044) 406-70-29, <https://orcid.org/0000-0001-5195-9519>.

## **ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОКАТАЛІЗУ ПРИ ОЧИЩЕННІ СТІЧНИХ ВОД АВІАПІДПРИЄМСТВ**

**Анотація.** Сучасні методи очищення стічних вод, що застосовуються не лише в Україні, але й за кордоном, не завжди виправдовують очікувані сподівання. Деякі з них застарілі, деякі не є досить ефективними. Інші ж досягають потрібного ступеня очистки, але по окремим показникам, в той час як інші забруднювачі залишаються у недопустимих концентраціях. Для ефективної очистки стічних вод авіаційних підприємств необхідно розробити новий, сучасний метод, який би задовольняв як підприємство так і навколишнє

природне середовище, метод який зможе очищувати до допустимої концентрації характерні для авіаційних підприємств забруднювачі.

Через різний характер забруднень – поверхневі, виробничі та господарсько-побутові стічні води авіапідприємств потребують, як правило, застосування різних технологій очищення та обробки і утилізації осадів. За таких умов їх потрібно відводити окремо і очищувати на окремих очисних спорудах. Спільне відведення і очищення різних видів стічних вод можливе лише за умови застосування тих самих технологій очищення і обробки осадів, що при цьому утворюються.

Для очищення господарсько-побутових та близьких до них за складом стоків авіапідприємств можуть застосовуватися традиційні технології. Але наявність у поверхневому стоці та виробничих стічних водах небезпечних речовин унеможлиблює очищення багатьох з них на спільних очисних спорудах разом з господарсько-побутовими стічними водами.

Зокрема кольорові метали, потрапляючи зі стічною водою у біофільтри чи аеротенки, спричиняють шкідливий вплив на мікроорганізми, які приймають участь в окисненні органічних забруднень у стічних водах, і повністю стерилізують їх або суттєво знижують ефективність біологічного очищення.

Метод очистки стічних вод необхідно підбирати відповідно до певних параметрів, серед яких, в першу чергу, рівень забруднення та тип забруднюючих речовин. Багато методів мають обмежену ефективність, можуть утворювати вторинні відходи або можуть мати інші обмеження. Альтернативою може слугувати метод фотокаталізу.

**Ключові слова:** авіапідприємство, забруднення гідросфери, метанол, очистка стічних вод, стічні води, фотокаталіз, метод математичного планування

**Cherniak Larysa Mykolaiivna** candidate of technical sciences, associate professor, National Aviation University, Ave. Lubomyra Huzara, 1, Kyiv, 03680, tel.: (044) 406-70-29, <https://orcid.org/0000-0003-4192-3955>

**Maniecki Tomasz** doctor of chemical sciences, professor, Lodz Technical University, Institute of General and Ecological Chemistry, tel.: +48 42 631-31-24, <https://orcid.org/0000-0002-7687-7250>

**Shtyka Oleksandr** candidate of chemical sciences, professor, Lodz Technical University, Institute of General and Ecological Chemistry, tel.: +48 42 631-31-24, <https://orcid.org/0000-0001-9593-8971>

**Protsak Julia Oleksandrivna** master, National Aviation University, Ave. Lubomyra Huzara, 1, Kyiv, 03680, tel.: (044) 406-70-29, <https://orcid.org/0009-0005-5465-5111>

**Petrusenko Valentyna Pavlivna** candidate of technical sciences, associate professor, National Aviation University, Ave. Lubomyra Huzara, 1, Kyiv, 03680, tel.: (044) 406-70-29, <https://orcid.org/0000-0003-3120-9379>

**Dmytrukha Tetyana Illivna** candidate of technical sciences, associate professor, National Aviation University, Ave. Lubomyra Huzara, 1, Kyiv, 03680, tel.: (044) 406-70-29, <https://orcid.org/0000-0001-5195-9519>

## USING THE METHOD OF MATHEMATICAL PLANNING FOR DETERMINATION OF PHOTOCATALYSIS EFFICIENCY IN WASTEWATER TREATMENT OF AVIATION ENTERPRISES

**Abstract.** Modern methods of wastewater treatment, used not only in Ukraine, but also abroad, do not always live up to expectations. Some of them are outdated, some are not efficient enough. Others achieve the required degree of purification, but according to individual indicators, while other pollutants remain in unacceptable concentrations. For effective wastewater treatment of aviation enterprises, it is necessary to develop a new, modern method that would satisfy both the enterprise and the surrounding natural environment, a method that will be able to clean pollutants characteristic of aviation enterprises to an acceptable concentration.

Due to the different nature of pollution - surface, industrial and household wastewater of aviation enterprises, as a rule, the use of various technologies for cleaning and processing and utilization of sediments. Under such conditions, they must be removed separately and cleaned at separate treatment facilities. Joint discharge and treatment of various types of wastewater is possible only under the condition of using the same technologies for cleaning and treating the sediments that are formed.

Traditional technologies can be used to clean household and domestic wastes and those close to them in terms of the composition of the wastes of aviation enterprises. But the presence of dangerous substances in surface runoff and industrial wastewater makes it impossible to clean many of them at joint treatment facilities together with household wastewater.

In particular, non-ferrous metals, falling into biofilters or aeration tanks with wastewater, cause a harmful effect on microorganisms that participate in the oxidation of organic pollutants in wastewater, and completely sterilize them or significantly reduce the efficiency of biological treatment.

The method of wastewater treatment must be selected according to certain parameters, among which, first of all, the level of pollution and the type of pollutants. Many methods have limited efficiency, may generate secondary waste, or may have other limitations. An alternative can be the method of photocatalysis.

**Keywords:** aviation industry, pollution of the hydrosphere, methanol, wastewater treatment, wastewater, photocatalysis, method of mathematical planning

**Постановка проблеми.** 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 [1]. Проте, кожен із них має ряд недоліків, через які не завжди вдається досягти 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.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням питання впливу підприємств, що експлуатують авіаційну техніку на водні об'єкти та проблемами очистки стічних вод аеропортів займались в своїх роботах Бондар О.І., Машков О.А., Міхеєв В.С., Франчук Г.М. та інші [2], [3]. Однак важливо мати найбільш ефективний безпечний та економічно обґрунтований спосіб очищення стічних вод.

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

**Виклад основного матеріалу.** 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.

Фотокаталітичне розкладання є методом, який може замінити звичайні методи та вирішити їх обмеження [4]. 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 ефективно проти органічного забруднення.

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 ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) 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.

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.

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  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . 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 1.

Таблиця 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 (НОМО) і зоною провідності (LUMO) відома як заборонена зона (Eg). На основі забороненої зони матеріали класифікуються на три основні категорії: ізолятори, напівпровідники та провідники (метали).

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:

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 сенсори лізатори 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.

Діоксид титану ( $\text{TiO}_2$ ), який нами було обрано для проведення експериментів, є найбільш поширеним каталізатором, що використовується в області фотокаталізу. З давніх часів  $\text{TiO}_2$  використовувався як білий пігмент, він механічно, термічно та хімічно дуже стабільний. Діоксид титану має дуже високу температуру плавлення  $1855^\circ\text{C}$  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:  $\text{Cu/TiO}_2$ ,  $\text{Cu-In}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ ,  $\text{Pt/TiO}_2$ ,  $\text{Ag/TiO}_2$ ,  $\text{Bi}_2\text{S}_3/\text{TiO}_2$ ,  $\text{LaOF Au/TiO}_2$  та інші.

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

Отже, фотокаталізі 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.

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.

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

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 фотокатализатора.

Фотокаталітична 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.

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 ( $CO_2$ ).

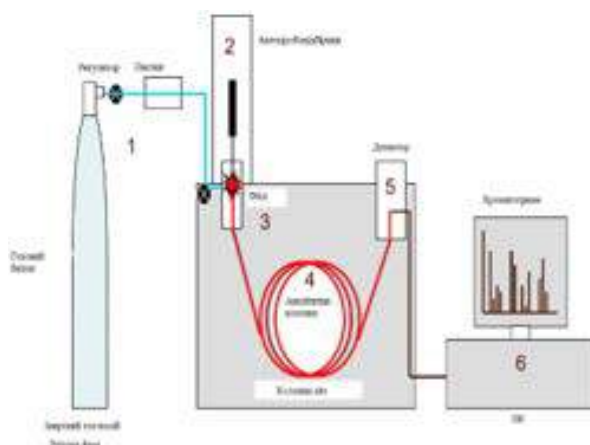
Тому, в роботі було експериментально досліджено ефективність та швидкість реакції фотокаталітичного розкладання метанолу в водному розчині за допомогою газового хроматографа.



Газова хроматографія (ГХ) 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 розкладалися в системі ГХ. Цей метод є широко використовуваною технікою в більшості галузей промисловості:

- 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-носіє для поділу, який відіграє роль рухомої фази (рис. 1 (1)). Газ-носіє 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 автопробовідбірника (рис.1 (2)), який також може витягувати хімічні компоненти з твердих або рідких матриць зразків. Зразок вводять у вхідний отвір ГХ (рис.1 (3)) через перегородку, яка дозволяє вводити суміш зразків без втрати рухомої фази. До входу підключена аналітична колона (рис. 1 (4)), довга (10-150 м), вузька (0,1-0,53 мм) трубка з плавненого 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 (рис.1 (5)), 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.1 (6)).



**Рис. 1** Спрощена схема газового хроматографа, що показує: (1) газ-носіє, (2) автопробовідбірник, (3) вхід, (4) аналітичну колонку, (5) детектор і (6) ПК.

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.

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 диметиллових, дифенільних або середньополярних функціональних груп, наприклад ціанопріпільфенілу. Подібне відокремлює подібне, тому неполярні колонки з диметилом або низьким відсотком дифенілу хороші для розділення неполярних аналітів. Молекули, здатні до  $\pi$ - $\pi$  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:

- 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).

Проведення перших дослідів з водним розчином метанолу розпочали з концентрації речовини 0,1 мг/л та 50 мг каталізатора  $\text{TiO}_2$  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  $\text{TiO}_2$  (анатаз),  $\text{TiO}_2+\text{Au}$ ,  $\text{TiO}_2+\text{Cu}$  та  $\text{TiO}_2+\text{Cu}+\text{Au}$ . Зразки діоксиду титану покриті металами, були відпалені у печі при температурі  $350^\circ\text{C}$ . Потім отриманий порошок висушували на повітрі. Кількість кожного каталізатора – 25 мг. Реактор поміщували під УВ лампу на 5, 15, 30 та 60 хвилин.

За допомогою програм CHR-MOD та CHROMAX ми проаналізували кількість метанолу, який зазнав фотокаталізу. Для кожного експерименту було розраховано відношення площі піку метанолу після фотокаталізу до початко-

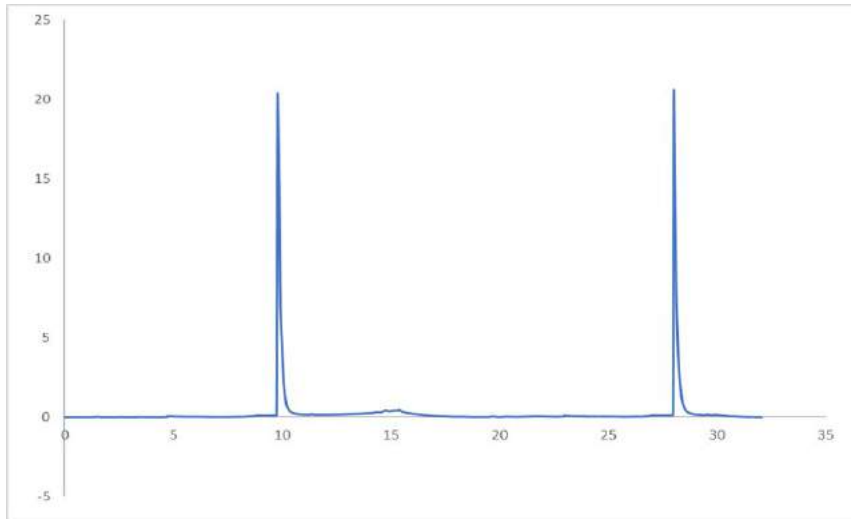
вого значення. Чим менше значення показника, тим більше речовини розкла-лось в процесі фотокаталізу.

Для  $\text{TiO}_2$  з структурою анатазу, отримали такі результати: при 5 хвилинах відношення  $\text{Sn}/\text{Co}$  дорівнює 0,8706, при 15 хв – 0,6659, при 30 хв – 0,6221 та при 60 хв – 0,5995 (рис. 3).

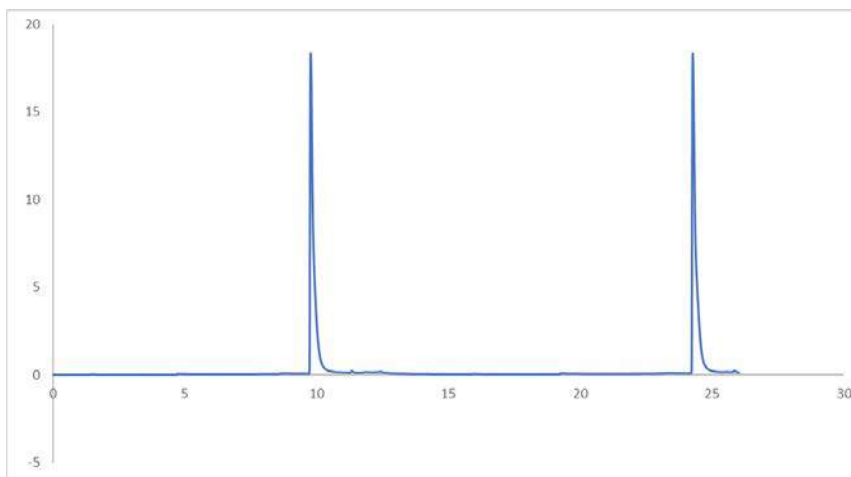
Для  $\text{TiO}_2$  з покриттям золота отримали такі результати: при 5 хвилинах фотокаталізу – 0,9124, при 15 хв – 0,7647, при 30 хв – 0,7479 та при 60 хв – 0,6867 (рис. 4).

Для наступного каталізатора  $\text{TiO}_2$ , покритого міддю, співвідношення отриманих даних таке: при 5 хвилинах фотокаталізу – 0,8392, при 15 хв – 0,7229, при 30 хв – 0,6621 та при 60 хв – 0,6525 (рис. 5).

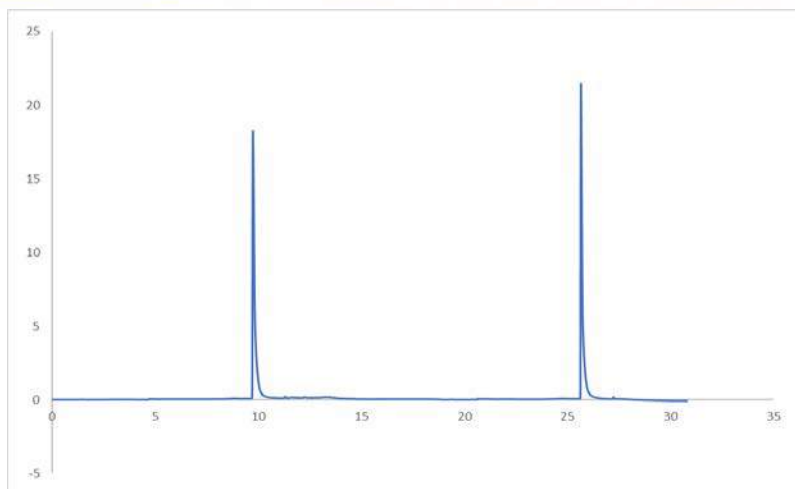
Для  $\text{TiO}_2$  з покриттям міді та золота, співвідношення отриманих даних при ультрафіолетовому світлі таке: при 5 хвилинах фотокаталізу – 0,8439, при 15 хв – 0,7561, при 30 хв – 0,6981 та при 60 хв – 0,6868 (рис. 6).



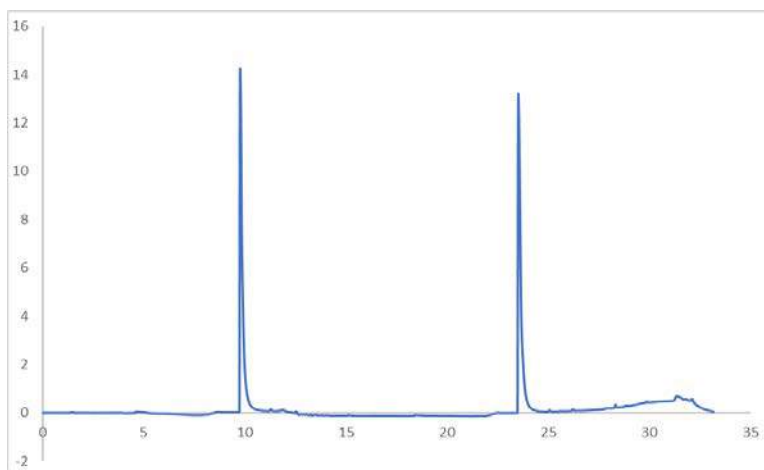
**Рис. 2** Дослідження розчину метанолу до проведення реакції



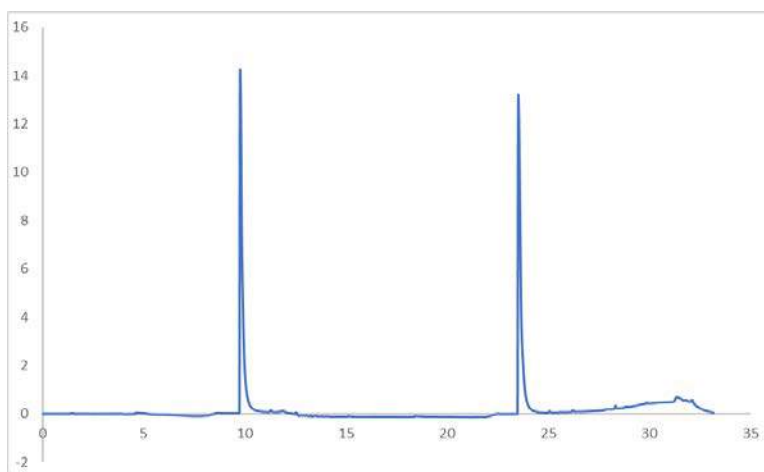
**Рис. 3** Дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з  $\text{TiO}_2$  (анатаз) протягом 5 хвилин



**Рис. 4** Дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з  $\text{TiO}_2$  (анатаз) протягом 15 хвилин



**Рис. 5** Дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з  $\text{TiO}_2$  (анатаз) протягом 30 хвилин



**Рис. 6** Дослідження розчину метанолу після реакції фотокаталізу з  $\text{TiO}_2$  (анатаз) протягом 60 хвилин

Аналіз результатів показав, що серед усіх каталізаторів, найбільшу активність при розкладанні метанолу в ультрафіолетовому спектрі світла, показав  $TiO_2$  з структурою анатазу.

**Висновки.** Отже, 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. Визначено, з використанням методу математичного планування (схеми повного факторного експерименту (ПФЄ)), ефективність 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 стічних вод авіапідприємства за допомогою фотокаталізу дає можливість запобігати утворенню додаткових відходів, а в процесі реакції речовини розкладаються на воду та вуглекислий газ.

#### *Література:*

1. 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.
2. 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.
3. Франчук Г.М., Дехтяренко О.М., Костюк Я.В. Оцінка екологічного стану атмосферного повітря в зоні аеропорту. Наукоємні технології. 2013. № 1. С. 111-114.
4. Процак Ю. Фотокаталітичне розкладання метанолу у видимому та ультрафіолетовому світлі // Політ. Сучасні проблеми науки : тези доповідей XXII Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. – Національний авіаційний університет. – Київ, 2022. - С. 133-134.

#### *References:*

1. Cherniak L.M., Madzhd S.M., Mikheiev O.M. (2020). Vykorystannia roslynnykh test-system dlia vyznachennia toksychnosti ґruntu na terytorii aeroportu [The use of plant test systems to determine the toxicity of soil on the territory of the airport]. Bulletin of the Kremenchug National University, 4 (123), 50-55 [in Ukrainian].
2. Bondar O.I., Mashkov O.A., Mikheiev V.S. (2020). Systemnyi pidkhid shchodo otsiniuvannia ekolohichnoho vplyvu aviatsiinoi tekhniki na stan dovkillia [A systematic approach to assessing the environmental impact of aviation equipment on the state of the environment]. Ekolohichni nauky: naukovo-praktychnyi zhurnal, 1(28), 191-200 [in Ukrainian].

3. Franchuk H.M., Dekhtiarenko O.M., Kostiuk Ya.V. (2013). Otsinka ekolohichnoho stanu atmosferneho povitria v zoni aeroportu [Assessment of the environmental condition of atmospheric air in the airport area]. *Naukoiemni tekhnologii, 1, 50-55* [in Ukrainian].

4. Protsak Y. (2022). Fotokatalitychne rozkladannia metanolu u vydymomu ta ultrafioletovom svitli [Photocatalytic decomposition of methanol in visible and ultraviolet light]. *Polit. Suchasni problemy nauky: tezy dopovidey XXII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii zdobuvachiv vyshchoi osvity i molodykh uchenykh. – Natsionalnyi aviatsiyni universytet, Kyiv, 133-134* [in Ukrainian].