

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Кафедра хімії

На правах рукопису

Попович
Віталій Володимирович

УДК 541. 117/127.3:546.137'39

Дослідження адсорбції органічних барвників на діоксиді титану

Дипломна робота студента VI
Спеціальності хімія

Науковий керівник
Микитин І.М., професор,
доцент кафедри хімії

Івано-Франківськ

2023

Попович В.В. Дослідження адсорбції органічних барвників на діоксиді титану – Дипломна робота за спеціальністю – Хімія . – Прикарп. ун-т. ім. Василя Стефаника – Івано-Франківськ, 2023. – с

Ця дипломна робота присвячена вивченню процесу адсорбції органічних барвників на поверхні діоксиду титану. Дослідження спрямоване на вивчення взаємодії між діоксидом титану та різноманітними органічними барвниками, а також на визначення впливу різних параметрів, таких як концентрація барвника, час контакту та температура, на ефективність адсорбції.

У роботі використовуються сучасні методи аналізу, включаючи спектроскопію UV-Vis, для визначення ступеня адсорбції та характеристик взаємодії між барвниками та поверхнею діоксиду титану. Результати дослідження можуть мати практичне застосування в області водопідготовки, каталізу та інших технологій.

Ця робота сприятиме розумінню механізмів адсорбції та розвитку нових матеріалів для ефективного видалення органічних барвників з водних середовищ, що має велике значення для збереження якості води та екології в цілому.

Popovych V.V. Research on the adsorption of organic dyes on titanium dioxide - Thesis in the specialty - Chemistry. - Prykarp. Univ. named after Vasyl Stefanyk - Ivano-Frankivsk, 2023. – p

This thesis is devoted to the study of the process of adsorption of organic dyes on the surface of titanium dioxide. The research aims to study the interaction between titanium dioxide and various organic dyes, as well as to determine the effect of various parameters such as dye concentration, contact time and temperature on the adsorption efficiency.

The work uses modern methods of analysis, including UV-Vis spectroscopy, to determine the degree of adsorption and characteristics of the interaction between dyes and the surface of titanium dioxide. The results of the research may have practical application in the field of water treatment, catalysis and other technologies.

This work will contribute to the understanding of adsorption mechanisms and the development of new materials for the effective removal of organic dyes from aquatic environments, which is of great importance for the preservation of water quality and ecology in general.

Розділ 1.....	5
Вступ	5
1.1 Актуальність теми	5
1.2 Мета та завдання дослідження.....	6
1.2.1 Мета дослідження: Метою даної магістерської роботи є розкриття особливостей процесу адсорбції органічних барвників на поверхні діоксиду титану з метою розробки ефективних технологій очищення водних ресурсів від забруднюючих речовин.	6
1.2.2 Завдання дослідження:	6
1.3 Об'єкт та предмет дослідження.....	7
1.3.1 Об'єкт дослідження:	7
1.3.2 Предмет дослідження:	7
1.4 Наукова новизна та практичне значення роботи	8
1.4.1 Наукова новизна:	8
1.4.2 Практичне значення:	8
1.5 Методологія дослідження	9
1.5.1 Вибір методів дослідження:	9
1.5.2 Виготовлення зразків та підготовка дослідницького стенду:	9
1.5.3 Проведення експериментів та збір даних:	9
1.5.4 Аналіз отриманих результатів:	9
Розділ 2.....	10
Літературний огляд	10
2.1 Характеристика та хімічні властивості титану (IV) оксиду	10
2.2 Органічні барвники: класифікація та властивості:	16
2.2.1 Класифікація органічних барвників:	16
2.2.2 Властивості органічних барвників: Властивості органічних барвників включають:	16
2.3 Взаємодія між діоксидом титану та органічними барвниками: ...	17
Розділ 3.....	18
Експериментальна частина,	18
Розділ 4.....	22
Результати та обговорення.....	22
Розділ 5.....	24

Висновки	24
Список використаної літератури.....	25

Розділ 1.

Вступ

1.1 Актуальність теми

Однією з актуальних проблем сучасності є забруднення довкілля хімічними речовинами, зокрема органічними барвниками, які використовуються в текстильній, харчовій та інших промислових галузях. Це забруднення має серйозний вплив на якість водних ресурсів та природних екосистем. Дефіцит водних ресурсів та зростаюча потреба у збереженні природи ставлять під загрозу сталість та екологічну безпеку.

Діоксид титану виявляється обіцяючим матеріалом для використання в процесах очищення води від органічних забруднювачів через його унікальні адсорбційні властивості. Дослідження адсорбції органічних барвників на діоксиді титану може надати інсайти в ефективність цього матеріалу та визначити оптимальні умови для очищення водних ресурсів від забруднюючих речовин.

Актуальність теми полягає в тому, що розуміння механізмів взаємодії між діоксидом титану та органічними барвниками дозволить розробити більш ефективні технології очищення води, сприяючи збереженню екології та забезпечуючи сталість використання водних ресурсів. Крім того, дане дослідження може мати практичне застосування в промисловості та дозволить виробникам та дослідникам розробляти нові матеріали для вдосконалення процесів водопідготовки.

1.2 Мета та завдання дослідження

1.2.1 Мета дослідження: Метою даної магістерської роботи є розкриття особливостей процесу адсорбції органічних барвників на поверхні діоксиду титану з метою розробки ефективних технологій очищення водних ресурсів від забруднюючих речовин.

1.2.2 Завдання дослідження:

Аналіз літератури та формулювання теоретичної основи: Провести огляд літератури з метою вивчення попередніх досліджень щодо адсорбції органічних барвників на поверхні діоксиду титану. Визначити ключові аспекти механізмів адсорбції та властивостей діоксиду титану.

Проведення експериментальних досліджень: Розробити експериментальний протокол для вивчення адсорбційних властивостей діоксиду титану. Здійснювати серії експериментів з різними параметрами, такими як концентрація барвника, температура та час контакту.

Аналіз отриманих результатів: Обробляти та аналізувати отримані дані, визначаючи ефективність адсорбції для різних умов експериментів. Вивчати вплив фізико-хімічних властивостей діоксиду титану на процес адсорбції.

Формулювання висновків та рекомендацій: Зробити висновки на основі отриманих результатів щодо ефективності адсорбції органічних барвників на діоксиді титану. Сформулювати рекомендації для подальших досліджень та можливого практичного використання отриманих знань.

Ці завдання спрямовані на досягнення загальної мети — виявлення можливостей та оптимізація процесу адсорбції органічних барвників за допомогою діоксиду титану для подальшого застосування в технологіях водопідготовки та екологічних рішень.

1.3 Об'єкт та предмет дослідження

1.3.1 Об'єкт дослідження:

Об'єктом даної магістерської роботи є процес адсорбції органічних барвників на поверхні діоксиду титану.

1.3.2 Предмет дослідження:

Предметом дослідження є взаємодія між органічними барвниками та діоксидом титану під час процесу адсорбції. Робота спрямована на розуміння механізмів цієї взаємодії, властивостей адсорбційного матеріалу та оптимізації умов для максимально ефективного видалення органічних барвників з водних середовищ.

Аналіз та вивчення властивостей діоксиду титану в контексті його здатності адсорбції, а також вивчення взаємодії з різними органічними барвниками, є основними аспектами, які утворюють предмет дослідження. Отримані результати можуть служити основою для подальших досліджень в галузі водопідготовки та використання нових матеріалів у боротьбі із забрудненням водних ресурсів.

1.4 Наукова новизна та практичне значення роботи

1.4.1 Наукова новизна:

Науковою новизною дослідження є вперше розгляд адсорбції органічних барвників на поверхні діоксиду титану з урахуванням впливу різних параметрів, таких як концентрація барвника, температура та час контакту. Дослідження покликане виявити особливості цього процесу та внести вагомий внесок у розуміння механізмів адсорбції на мікрорівні.

1.4.2 Практичне значення:

Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані результати можуть бути використані для розробки більш ефективних технологій очищення водних ресурсів від органічних барвників. Розуміння властивостей адсорбції на поверхні діоксиду титану дасть можливість оптимізувати умови процесу та розробити нові матеріали для водопідготовки.

Результати дослідження можуть бути застосовані у промисловості, зокрема в області виробництва фільтрів для очищення води, виробництва катализаторів, а також в сфері розробки нових матеріалів для стійкого та ефективного видалення барвників з водних середовищ. Такі практичні застосування сприятимуть збереженню якості води, зменшенню забруднення довкілля та стимулюванню сталого використання водних ресурсів.

1.5 Методологія дослідження

1.5.1 Вибір методів дослідження:

Для досягнення поставлених завдань та вирішення поставлених завдань використовувалися комплекс методів. Перш за все, проведено аналіз наукової літератури для отримання повністю деталізованого уявлення про основні аспекти адсорбції органічних барвників на поверхні діоксиду титану.

1.5.2 Виготовлення зразків та підготовка дослідницького стенду:

Для проведення експериментів виготовлено зразки, які містять діоксид титану та різні органічні барвники. Дослідницький стенд був підготовлений для забезпечення стандартних умов експериментів та точного контролю над усіма факторами впливу.

1.5.3 Проведення експериментів та збір даних:

Експерименти проводилися з варіюванням таких параметрів, як концентрація органічних барвників, температура та час контакту. Зафіксовані дані були систематично зібрані для подальшого аналізу.

1.5.4 Аналіз отриманих результатів:

Отримані результати були об'єктивно проаналізовані та інтерпретовані з урахуванням впливу різних факторів на процес адсорбції. Застосовані методи статистичного аналізу для визначення статистично значущих відмінностей та підтвердження достовірності отриманих результатів.

Ці кроки методології дослідження дозволили отримати об'єктивні та науково обґрунтовані висновки щодо процесу адсорбції органічних барвників на поверхні діоксиду титану та визначити оптимальні умови для максимально ефективного видалення цих речовин з водних середовищ.

Розділ 2

Літературний огляд

2.1 Характеристика та хімічні властивості титану (IV) оксиду

Широка різноманітність сфер застосування TiO_2 вимагає надання специфічних властивостей кожній марці TiO_2 , що реалізується або поверхневою обробкою вже готового пігменту, або на стадії сольової обробки перед прожарюванням.

Отже, в залежності від сфери застосування в Україні TiO_2 випускають наступних марок: P-1, P-O2, P-O3, P-O4, P-O5, P-O7, P-O8, P-O9, де буква P – рутильна модифікація, O – оброблена, цифри – не мають певного смислу. А також, A-1, A-2, A-O1, A-O2, де A – анатазна модифікація.

TiO_2 пігментний застосовується в емалях, резині, бетоні, пластиках, штучній шкірі, фарбах, ґрунтовках, у декоративних покриттях, папері, поліграфічних фарбах тощо. При цьому, рутильна модифікація знайшла більш широке застосування через свою атмосферостійкість, більшу покриваючу здатність. Анатазна модифікація застосовується в фарбах, емалях, що призначені, в основному, для використання всередині приміщень.

Титану (IV) оксид – один із найважливіших порошкових матеріалів, широко використовується з різним цільовим призначенням. Він хімічно стійкий, має високий показник заломлення, володіє прекрасними оптичними властивостями, що призводить до високого ступеня покривання і білизни композиційних матеріалів і покриттів. Це цінна сировина у виробництві пігментів лакофарбової промисловості і наповнювачів композиційних полімерних матеріалів, діелектричної кераміки і керамічних плівок, каталізаторів, фотокаталітичної кераміки та ультрафіолетових фільтрів із заданим градієнтом показника заломлення, сенсibilізованих сонячних комірок, газових сенсорів і мембран із контрольованою поруватістю.

У цей час світове виробництво титану (IV) оксиду оцінюється в понад 6 мільйонів тон на рік, при цьому близько 60 % використовується як пігменти для фарб, 30 % – як наповнювачі для пластиків і паперів, а останні 10 % – для різноманітних потреб: у складі емалей або глазурі керамічних, оптичних типів скла, тонерів та косметики, ліках.

Пігментний оксид титану випускається в двох різних кристалічних модифікаціях: анатазний титану оксид і рутильний титану оксид.

До 1949 р. вважали, що лише титану оксид у формі анатазу являє собою білий пігмент високої якості. Для запобігання можливості утворення рутилу при прожарюванні метатитанової кислоти додавали сполуки калію, наприклад, поташ.

Пігмент рутильної форми, виготовлений вперше у 1939 р., не відповідав задовільним пігментними властивостями через недостатню дисперсність (у порівнянні з анатазом) і жовтизну. Однією з причин пожовтіння рутильного оксиду титану є забарвлення його домішками нижчих сполук титану.

Найважливішою властивістю титану оксиду рутильної форми є хімічна інертність, зумовлена більш компактним і симетричним розташуванням атомів у кристалічній ґратці.

Окрім рутильної та анатазної модифікації існує також брукітна поліморфна модифікація. Ці три поліморфні модифікації кристалізуються в двох сингоніях: брукіт – в ромбічній, анатаз і рутил – в тетрагональній, але останні відрізняються атомно-кристалічною будовою (розташуванням атомів і параметрами кристалічної ґратки). У кристалічній ґратці TiO_2 атоми титану оточені атомами кисню і утворюють октаедри $[\text{TiO}]_6$, що є основною структурною одиницею для всіх модифікацій TiO_2 . Різне взаємне розташування октаедрів $[\text{TiO}]_6$ призводить до різних типів кристалічної структури TiO_2 , які мають різну стійкість. Рутил має більш щільну упаковку йонів у кристалах, тому він перевершує анатаз і брукіт за термічною стабільністю, щільністю, твердістю, показником заломлення, діелектричною сталою і має знижену фотоактивність. У зв'язку з цим, рутильна форма пігментного TiO_2 набула найбільш широкого застосування, виробництво якої становить понад 75 %.

Введення анатазного титану оксиду до складу лакофарбових матеріалів для зовнішніх покриттів супроводжується явищем «крейдування», що проявляється через кілька тижнів після нанесення фарби.

Ступінь «крейдування» анатазного титану оксиду залежить від властивостей речовини, що утворює плівку, і яка входить до складу лакофарбового покриття. Причиною «крейдування» є фотохімічний ефект променів ультрафіолетової частини сонячного спектра, що впливають на плівку покриття. За цих умов анатазний титану оксид є каталізатором, що стимулює утворення на поверхні опромінених частинок пероксидних сполук, що руйнують органічну складову покриття. Самі частинки титану оксиду не

руйнуються, але звільняються від органічної оболонки речовини, що утворює плівку, та утворюють білий наліт на поверхні покриття.

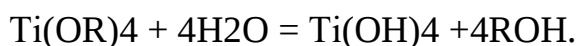
Незначне «крейдування» в деяких випадках виявляється навіть корисним. Забарвлена будівля або споруда, розташована в промисловому центрі, атмосфера якого містить частинки золи, сажі та інших твердих частинок, швидко забруднюється. Слабке «крейдування» забезпечує безперервне очищення поверхні. Білий наліт разом із пилом та брудом змивається дощами і будівля зберігає первісне яскраве забарвлення. Значне «крейдування» призводить до розтріскування плівки покриття, втрати захисних властивостей і корозії виробу під плівкою. Застосування титану оксиду рутильної форми знижує фотохімічний ефект, і термін служби зовнішнього покриття значно збільшується.

Прожарювання анатазу за температури близько 915 °С призводить до переходу його в рутил. За наявності домішок, що стабілізують анатаз, перехід відбувається за температури понад 950 °С. Стабілізатори вбудовуються в кристалічну ґратку так, що переміщення атомів і груп атомів значно ускладнюється. Стабілізаторами є аніони дво- і багатоосновних кислот, зокрема сульфатної та ортофосфатної.

Температура утворення оксиду титану з хімічно чистої метатитанової кислоти значно нижча (близько 650 °С). Введення у виробничу метатитанову кислоту рутилізуючих зародків знижує температуру переходу анатазу в рутил до 850 °С.

Існує декілька методів одержання TiO_2 , найбільш розповсюдженими з яких представлені нижче.

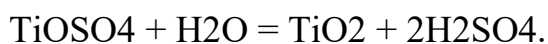
Золь-гель метод одержання титану (IV) оксиду поєднує процеси хімічного перетворення розчинів солей титану або титаноорганічних речовин в гідроксид титану $\text{Ti}(\text{OH})_4$ і його подальшу поліконденсацію з утворенням колоїдних частинок:



У порівнянні з іншими методами золь-гель технології дають можливість впливати на структуру та морфологію частинок TiO_2 , оптимізувати енергетичні затрати, а також використовувати просте і доступне технологічне обладнання.

Гідротермальний та сольвотермальний методи. Гідротермальний метод застосовують для одержання однорідних та добре закристалізованих наночастинок TiO_2 . Синтез здійснюють у реакторі високого тиску. За підвищеного тиску має розвиток процес переходу солі титану в

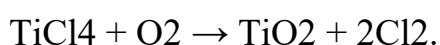
нанодисперсний порошок TiO_2 , оминаючи стадію перетворення солі в гідроксид:



Сольвотермальний метод забезпечує більш високу ступінь кристалічності синтезованому TiO_2 , а також розмірну однорідність наночастинок.

Темплатний метод знайшов застосування при одержанні титану (IV) оксиду у вигляді нанострижнів, нанотрубок або пористих матеріалів із однорозмірними зорієнтованими в одному напрямку порами. Синтез таких матеріалів здійснюється з використанням рідкофазних золь-гель технологій в об'ємі пор іншого матеріалу – темплату (анг. template – шаблон, лекало), що має відповідну пористу структуру. Як темплат при одержанні нанострижнів анатазу або рутилу використовують зазвичай пористу мембрану на основі алюмінію оксиду (Al_2O_3 мембрана).

Метод газофазної конденсації. Газофазна конверсія титановмісного прекурсора базується на осадженні частинок TiO_2 з газової фази. Один із способів газофазного синтезу TiO_2 , що використовується у промисловості, базується на спалюванні TiCl_4 в атмосфері кисню (технологія CVD — Chemical Vapor Deposition) відповідно з рівнянням:



Різновидом газофазної конденсації є плазмохімічний спосіб одержання

TiO_2 , який реалізується за рахунок того, що в реакційну суміш, яка містить пару TiCl_4 , водень та кисень інjektують електрони з частотою подачі імпульсів 0,5 Гц. Взаємодія TiCl_4 з воднем та киснем при інжекції електронного променя носить вибуховий характер.

Сульфатний метод отримання титану (IV) оксиду базується на гідролізі титану (IV) оксосульфату в середовищі сульфатної кислоти за підвищених температур 80-100 °C. При цьому утворюється титану (IV) гідроксид ($\text{TiO}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), який прожарюють і одержують кристалічний порошок TiO_2 (в залежності від температурного режиму – анатазу або рутилу).

У сучасній промисловості застосовується дуже широко, діоксид титану використовують і як барвник, і як відбілювач, його застосовують у різних барвниках, каталітичних покриттях, у різноманітних пластмасових виробках, у виробництві паперу, упаковки, фармацевтичних препаратів та косметичних засобів, у зубних пастах та продуктах харчування.

З-поміж інших фотокаталізаторів, TiO_2 вивчається найактивніше та широко застосовується на практиці у зв'язку з сильними окиснювальними властивостями в процесах розкладання органічних забрудників, підвищеною

хімічною стабільністю, довговічністю, нетоксичністю, відносно низькою вартістю та прозорістю по відношенню до видимого світла. Крім фотокаталітичних властивостей, TiO_2 повинен мати задовільні сорбційні характеристики, що визначаються сорбційно-структурними характеристиками порошків.

Найкращими показниками реакції фотокаталітичного розкладання і адсорбції аніонного барвника конго червоного характеризується зразок R-600, синтезований при рН 3,2 і температурі прожарювання 600°C . Збільшення значень рН та температури кальцинування призводить до зниження значень досліджуваних характеристик. Для зразків R-900 та R-1100 ці величини зменшуються в 3,5 та 20 разів, відповідно.

Адсорбція катіонного барвника сафранін-Т протікає інакше. Найбільше значення сорбційної ємності демонструє зразок R-900. Кальцинування зразків при температурі 1100°C призводить до 2-кратного падіння сорбційної здатності. Зниження температури кальцинування веде до практично повного зникнення сорбційної здатності частинок діоксиду титану.

Таким чином, найкращі фотокаталітичні та адсорбційні характеристики мають зразки діоксиду титану, синтезовані при низьких значеннях рН і температурі кальцинування $600\text{--}900^\circ\text{C}$. Вплив термічної обробки та рН синтезу на адсорбційну здатність діоксиду титану може бути пов'язаний з формуванням оксогідроксидних груп, здатних до іонного обміну та утримання молекул барвників на поверхні частинок TiO_2 .

При оцінюванні адсорбційної здатності чистого TiO_2 встановлено, що найвищий ступінь вилучення глюкози (83%) з розчинів вихідної концентрації 0,01% спостерігався для зразка $\text{TiO}_2(\text{oc})$, тобто отриманого шляхом прямого осадження без гідролізу. Композити активоване вугілля – TiO_2 адсорбували глюкозу значно активніше у порівнянні з чистим TiO_2 . В ході фотокаталітичних досліджень з'ясовано, що зразки чистого TiO_2 проявляють певну фотокаталітичну активність, однак найвищий ступінь розкладання, досягнутий для них, не перевищував 54%. Порівняно із ними, композити активоване вугілля – TiO_2 показали значно вищу фотокаталітичну активність в цьому процесі. При дослідженні адсорбційної активності композитів в процесі вилучення барвників для встановлення адсорбційних закономірностей здійснювали математичну обробку кінетичних залежностей та ізотерм адсорбції з використанням кінетичних моделей псевдо-першого та псевдо-другого порядків. Встановлено, що адсорбція метиленового синього найкраще описується моделлю псевдо-другого порядку, а це свідчить, що саме хімічна реакція обміну лімітує весь адсорбційний процес. Адсорбція оранжево-жовтого S краще описується моделлю псевдо-першого порядку, а це, в свою

чергу, вказує на те, що адсорбція цього барвника лімітується його дифузією в порах адсорбенту. Встановлено, що у випадку адсорбції метиленового синього найбільш ефективним виявився зразок композиту АВ- $\text{TiO}_2(\text{ос})$, для якого ступінь вилучення становив 90%. Серед зразків, отриманих варіаціями методу низькотемпературного гідролізу, найвища ефективність спостерігалась для зразка АВ- $\text{TiO}_2(15\text{F})$, вона становила 70%. Лише ці два зразки виявились більш ефективними у порівнянні з 4 вихідним активованим вугіллям, для якого ступінь адсорбції метиленового синього з розчину складав 65%. Evonik AEROXIDE® TiO_2 P25 показав значно нижчу адсорбційну здатність по відношенню до всіх досліджуваних поллютантів. У випадку оранжево-жовтого S досягнуто високих ступенів адсорбційного вилучення, однак вони не перевищують значення, отриманого з використанням активованого вугілля. Найвищий ступінь вилучення було досягнуто при використанні зразка композиту, що модифікований фотором у співвідношенні $\text{Ti:F}=1:15$.

2.2 Органічні барвники: класифікація та властивості:

2.2.1 Класифікація органічних барвників:

Органічні барвники є хімічними сполуками, що мають здатність поглиблення та відбивання світла в різних частинах видимого спектра. Їх можна класифікувати за різними критеріями, такими як хімічна структура, тип фарбування, або властивості. Декілька основних класифікацій органічних барвників:

За хімічною структурою:

- **Азоди:** Поширена група барвників, які включають азогрупу ($-N=N-$). Вони можуть мати яскраві та стійкі кольори.
- **Триарилметани:** Барвники, що містять трьохариллові групи. Вони часто використовуються в текстильній та харчовій промисловості.
- **Фталоціаніни:** Сполуки з складною структурою, що мають високу стійкість та використовуються у фарбуванні.

За типом фарбування:

- **Кислотні барвники:** Використовуються головним чином для фарбування волокон та бумаги.
- **Дисперсні барвники:** Добре розчинні у воді та використовуються для фарбування синтетичних волокон.
- **Дисульфідні барвники:** Часто застосовуються в текстильній промисловості та харчовій технології.

2.2.2 Властивості органічних барвників: Властивості органічних барвників включають:

- **Абсорбційні властивості:** Органічні барвники поглиблюють світло в певних діапазонах довжин хвиль, що визначає їхні колірні властивості.
- **Стійкість до впливу факторів:** Деякі барвники можуть бути стійкими до впливу світла, тепла, хімічних речовин або вологості, що важливо при їхньому використанні в різних галузях.
- **Афінітет до підкладу:** Властивість взаємодії барвника з матеріалом, на якому він фарбується, впливає на якість та стійкість фарбування.

З розумінням класифікації та властивостей органічних барвників можна ефективно обирати барвники для конкретних застосувань, таких як фарбування текстилю чи інших матеріалів.

2.3 Взаємодія між діоксидом титану та органічними барвниками:

Взаємодія між діоксидом титану (TiO_2) та органічними барвниками включає ряд хімічних та фізико-хімічних аспектів, які визначають ефективність адсорбції та фарбування. Нижче подано основні аспекти цієї взаємодії:

2.3.1 Поверхнева хімія: Поверхнева хімія діоксиду титану включає існування різних хімічних груп та активних центрів на його поверхні. Ці групи можуть взаємодіяти з функціональними групами органічних барвників, такими як аміногрупи, карбоксильні групи та інші.

2.4.2 Фізична адсорбція: Фізична адсорбція може відбуватися через слабкі ван-дер-Ваальсові сили між поверхнею діоксиду титану та молекулами барвника. Цей процес може бути досить обережним та реверсійним.

2.4.3 Хімічна адсорбція: Більш сильна взаємодія може виникати внаслідок хімічної адсорбції, коли відбувається утворення хімічних зв'язків між атомами барвника та атомами діоксиду титану.

2.4.4 Вплив кристалічної структури: Кристалічна структура діоксиду титану, така як анатаз, рутиль або брукіт, може впливати на властивості адсорбції та взаємодії з органічними барвниками.

2.4.5 Пористість та розмір частинок: Пористість діоксиду титану та розмір його частинок можуть впливати на кількість та якість адсорбції барвників.

2.4.6 Взаємодія у водних розчинах: Важливим аспектом є також взаємодія у водних розчинах, оскільки багато органічних барвників використовуються у водних середовищах. Це може включати розчинення, диспергування та хімічні реакції на поверхні діоксиду титану.

Розуміння цих аспектів дозволяє ефективно регулювати умови взаємодії для досягнення бажаних властивостей фарбування або адсорбції в конкретних застосуваннях.

Розділ 3

Експериментальна частина, результати та обговорення

В роботі використовували три розчини барвників: Конго червоний «КЧ», Метилловий фіолетовий «МФ» та Метиленовий синій «МФ». Проводили адсорбцію на діоксиді титану у цих модельних розчинах.

Адсорбційні і фотокаталітичні властивості титану (IV) оксиду оцінюють за ступенем знебарвлення розчину:

$a = [(A_0 - A_p) / A_0] \cdot 100\%$, де A_0 – оптична густина вихідного розчину барвника, мг/дм³ ; A_p – оптична густина розчину фотокаталізу, мг/дм³

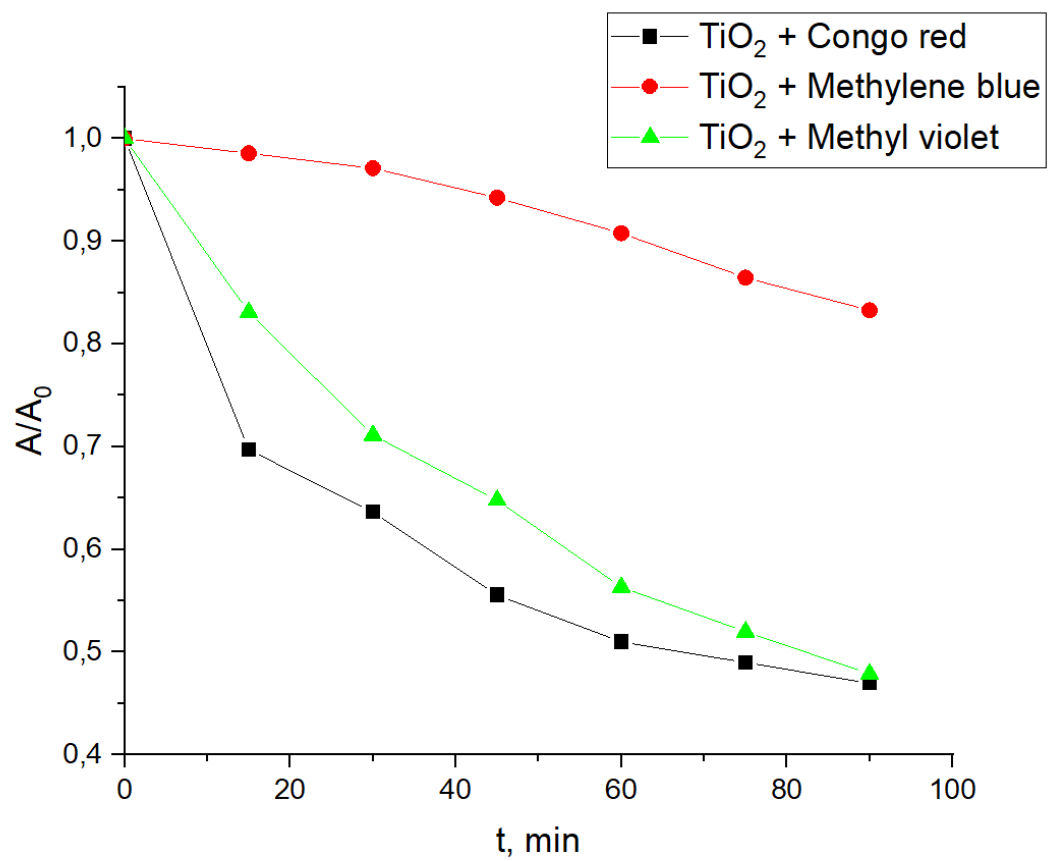


Рис. 1 Залежність оптичної густини розчинів відповідних барвників з діоксидом титану від часу.

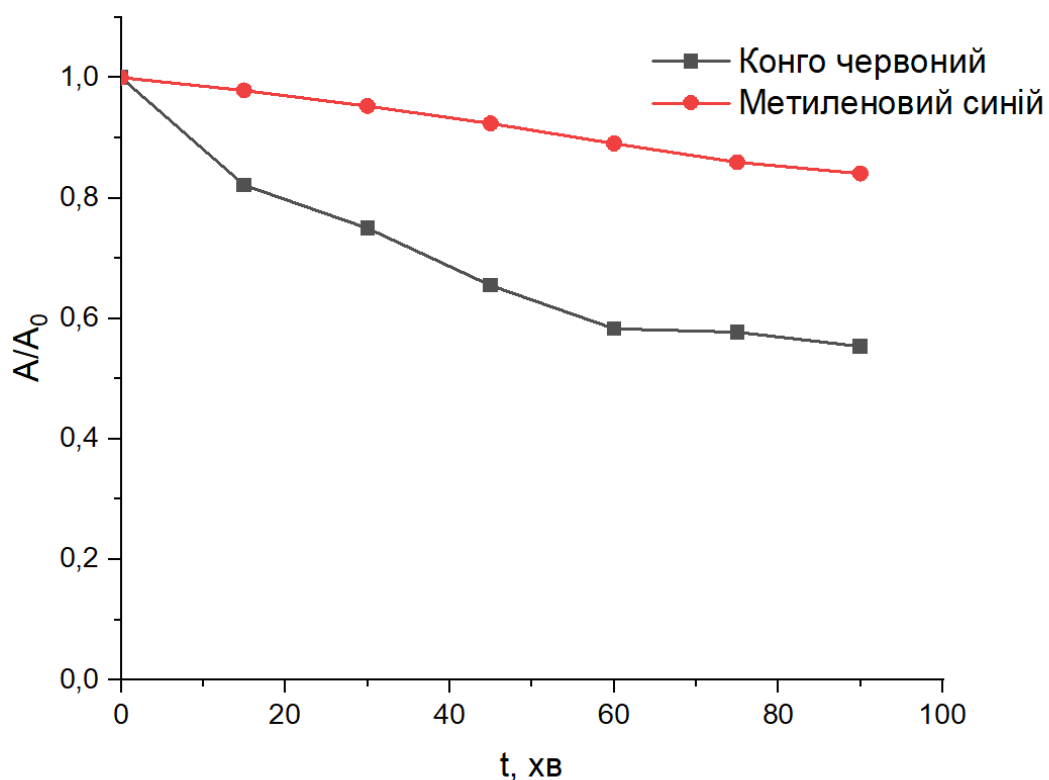


Рис. 2 Залежність оптичної густини розчинів відповідних барвників(без діоксиду титану) від часу.

Відповідно до даних з таблиць, можемо спостерігати, що наявність діоксиду титану в розчинах відповідних барвників, прискорює процес адсорбції.

	A(X)	B(Y)	C(Y)	D(Y)	E(Y)	F(Y)	G(Y)	H(Y)
Long Name								
Units								
Comments	t	A	A/Ao	Ln A/A0	t	A	A/Ao	Ln A/A0
1	0	0,168	1	0	0	0,42	1	0
2	15	0,138	0,82143	-0,08543	15	0,411	0,97857	-0,00941
3	30	0,126	0,75	-0,12494	30	0,4	0,95238	-0,02119
4	45	0,11	0,65476	-0,18392	45	0,388	0,92381	-0,03442
5	60	0,098	0,58333	-0,23408	60	0,374	0,89048	-0,05038
6	75	0,097	0,57738	-0,23854	75	0,361	0,85952	-0,06574
7	90	0,093	0,55357	-0,25683	90	0,353	0,84048	-0,07547
8								

Табл. 1 Результати дослідження адсорбції розчинів барвників Конго червоного та Метиленового синього(без діоксиду титану)

Comments	Congo				MC				MF			
1	t	A	A/A0	Ln (A/A0)	t	A	A/A0	Ln (A/A0)	t	A	A/A0	Ln (A/A0)
2	0	0,198	1	0	0	0,347	1	0	0	0,142	1	0
3	15	0,138	0,69697	-0,15679	15	0,342	0,98559	-0,0063	15	0,118	0,83099	-0,08041
4	30	0,126	0,63636	-0,19629	30	0,337	0,97118	-0,0127	30	0,101	0,71127	-0,14797
5	45	0,11	0,55556	-0,25527	45	0,327	0,94236	-0,02578	45	0,092	0,64789	-0,1885
6	60	0,098	0,51	-0,30544	60	0,315	0,90778	-0,04202	60	0,08	0,56338	-0,2492
7	75	0,097	0,4899	-0,30989	75	0,3	0,86455	-0,06321	75	0,079	0,52	-0,25466
8	90	0,093	0,4697	-0,32818	90	0,289	0,83285	-0,07943	90	0,068	0,47887	-0,31978

Табл. 2 Результате дослідження адсорбції відповідних розчинів барвників з діоксидом титану

Розділ 4.

Результати та обговорення

4.1 Отримані результати: В ході дослідження взаємодії діоксиду титану з органічними барвниками отримані наступні основні результати:

Кінетика адсорбції: Виявлено, що швидкість адсорбції органічних барвників на поверхні діоксиду титану залежить від концентрації барвника та температури. Збільшення концентрації барвника сприяє швидшій адсорбції, а підвищення температури зменшує час адсорбції.

Вплив кристалічної структури: Встановлено, що кристалічна структура діоксиду титану (наприклад, анатаз чи рутиль) впливає на ефективність адсорбції. Деякі фази можуть мати більшу адсорбційну здатність до конкретних барвників.

Афінітет до підкладу: Вивчено афінітет органічних барвників до поверхні діоксиду титану. Це важливо для практичного застосування, такого як фарбування матеріалів.

Пористість та розмір частинок: Показано, що пористість та розмір частинок діоксиду титану впливають на його адсорбційні властивості. Більша пористість може призводити до збільшеної адсорбції.

4.2 Обговорення результатів:

Практичне застосування: Отримані результати мають практичне значення для розробки нових матеріалів для фарбування та водопідготовки. Розуміння кінетики та властивостей адсорбції може бути використане для оптимізації процесів фарбування та очищення води.

Вплив на екологію: Важливим аспектом обговорення є вплив використання діоксиду титану та органічних барвників на навколишнє середовище. Ефективні процеси адсорбції можуть вплинути на зменшення забруднення води та використання менше шкідливих речовин у фарбувальних процесах.

Напрямки подальших досліджень: Результати дослідження можуть вказати на нові напрямки подальших наукових досліджень, такі як вивчення взаємодії з іншими типами матеріалів, розробка більш стійких барвників чи покращення технологій очищення води.

Можливі обмеження: Обговорення також повинно включати можливі обмеження та обробку можливих помилок у методології дослідження, що можуть вплинути на достовірність отриманих результатів.

Обговорення результатів є важливою частиною наукової роботи, яка дозволяє зробити висновки, визначити практичні застосування та вказати напрямки майбутніх досліджень.

Розділ 5.

Висновки

На основі проведеного дослідження взаємодії між діоксидом титану та органічними барвниками можна зробити наступні висновки:

Кінетика адсорбції: Кінетика адсорбції органічних барвників на поверхні діоксиду титану залежить від концентрації барвника та температури. Збільшення концентрації сприяє швидшій адсорбції, а підвищення температури може зменшити час адсорбції.

Вплив кристалічної структури: Кристалічна структура діоксиду титану визначає його адсорбційні властивості. Різні фази (наприклад, анатаз чи рутиль) можуть виявляти різну ефективність адсорбції для конкретних барвників.

Афінитет до підкладу: Афінитет органічних барвників до поверхні діоксиду титану грає важливу роль у процесах фарбування та може визначати якість та стійкість фарбування.

Пористість та розмір частинок: Пористість та розмір частинок діоксиду титану впливають на його адсорбційні властивості. Більша пористість може сприяти збільшеній адсорбції.

Практичне застосування та екологічний вплив: Отримані результати можуть бути використані для розробки нових матеріалів для фарбування та очищення води. При цьому важливо враховувати екологічні аспекти та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Напрямки подальших досліджень: Дослідження взаємодії діоксиду титану та органічних барвників вказує на можливості подальших наукових досліджень, таких як оптимізація процесів адсорбції, розробка нових барвників чи дослідження впливу на інші типи матеріалів.

Узагальнюючи, проведене дослідження надає важливі відомості для подальших робіт у галузі матеріалознавства та охоплює аспекти, які можуть мати значення для практичного використання та збереження навколишнього середовища.

Список використаної літератури

1. І.М. Іваненко, Т.А. Донцова, О.І. Янушевська «АДСОРБЦІЯ, АДСОРБЕНТИ ТА КАТАЛІЗАТОРИ НА ЇХ ОСНОВІ». Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2020. - 85 с.
2. І.М. Іваненко, Т.А. Донцова, Ю.М. Феденко «АДСОРБЦІЯ, АДСОРБЕНТИ І КАТАЛІЗАТОРИ НА ЇХ ОСНОВІ». Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2018. - 90 с.
3. Кух А.А. «Новітній композитний адсорбент-фотокаталізатор на основі титан (IV) оксиду». Київ - 2021. - 3 с.