

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет природоохоронний

Кафедра загальної та теоретичної фізики

Бакалаврська кваліфікаційна робота

на тему: Сучасні методи дезактивації екологічно забруднених матеріалів із використанням новітніх технологій: адсорбція на графені

Виконав студент 4 року навчання
групи ПЕ-44 (радіо)
Напрямок підготовки 6.040106
«Екологія, охорона навколишнього
середовища та збалансоване
природокористування»
Кібяков Вадим Ігорович

Керівник к.ф. – м.н., доцент
Андріанова Ірина Сергіївна

Рецензент доктор тех.наук проф.
Софронков Олександр Наумович

Одеса 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет природоохоронний
Кафедра загальної та теоретичної фізики
Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність ____ Напрямок підготовки 6.040106 «Екологія, охорона
навколишнього середовища та збалансоване природокористування» ____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач
кафедри загальної та
теоретичної фізики Герасимов О.І.

“18” квітня 2019 року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кібякову Вадиму Ігоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Сучасні методи дезактивації екологічно забруднених матеріалів із використанням новітніх технологій: адсорбція на графені

керівник роботи Андріанова Ірина Сергіївна к.ф. – м.н., доцент.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “_7_” грудня 2018 року
№_343 – «С»__

2. Строк подання студентом роботи 08.06.2019р.

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Існуючі способи дезактивації об'єктів, забруднених радіонуклідами. Сучасний стан. Недоліки і переваги різних методів дезактивації. 2. Допустимі рівні забруднення. 3. Графен і оксид графену, їх властивості та перспективи і технології використання для дезактивації забруднених радіонуклідами об'єктів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Рис.1.1. Класифікація методів дезактивації. Рис.1.2. Дезактивація зняттям забрудненого шару ґрунту. Рис.1.3. Дезактивація за допомогою струменя води. Рис.1.4 Дезактивації піною. Рис. 2.1 Графен, графіт, вуглецева нанотрубка, фулерен. Рис.2.2. Кристалічна структура графену. Рис.2.3 Структурна схема оксиду графену. Рис.2.4 Діаграма порівняльної сорбції іонів урану оксидом графену, бетоніту та активованого вугілля. Рис.2.5 Схема полімолекулярної адсорбції (за теорією БЕТ).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Немає		

7. Дата видачі завдання_18.04.2019 р. _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Огляд новітніх літературних джерел за темою дипломного проекту	18.04.19 –	75	4
		29.04.19		
2	Узагальнення основних теоретичних положень проекту	30.04.19 -	75	4
		12.05.19		
3	Рубіжна атестація	13.05.19-	75	4
		19.05.19		
4	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення електронної версії роботи. Перевірка на плагіат. Складання протоколу та авторського договору	27.05.19 -	75	4
		04.06.19		
5	Підготовка паперової версії і презентаційного матеріалу до процедури предзахисту. Внесення коректив. Рецензування роботи. Підготовка до публічного захисту.	05.06.19	75	4
		08.06.19		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		75,0	4

Студент _____ **Кібяков В. І.**

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ **Андріанова І.С.**

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кібяков В. І. «Сучасні методи дезактивації екологічно забруднених матеріалів із використанням новітніх технологій: адсорбція на графені»

Науковий керівник:

ОДЕКУ, к.ф. -м.н., доцент Андріанова І.С.

Актуальність теми. Розвиток атомної енергетики, поширення використання джерел іонізуючого випромінювання в енергетиці та різних галузях виробництва підвищує ризики збільшує потенційні ризики радіаційного забруднення навколишнього світу внаслідок радіаційних інцидентів та аварій. Ось чому актуальною стає задача удосконалення методів дезактивації об'єктів, забруднених радіонуклідами, пошуку новітніх технологій дезактивації.

Мета дослідження. Вивчення методів дезактивації, аналіз їх переваг та недоліків, виявлення найбільш перспективних з них.

Об'єкт дослідження. Новітні методи дезактивації

Предмет дослідження. Графен, дезактивація з використанням графену.

Задачі дослідження:

- розглянути існуючі методи дезактивації;
- проаналізувати переваги та недоліки існуючих методів дезактивації;
- розглянути властивості графену та його оксиду у сенсі можливості використання для дезактивації забруднених радіонуклідами об'єктів;

- розглянути (запропонувати) можливі технології використання оксиду графену при дезактивації.

Робота містить:

Сторінок – 41

Кількість формул –

Літературних посилань – 14

Ключові слова: дезактивація; методи дезактивації; графен; оксид графену

ЗМІСТ	Стор.
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ СПОСОБИ ДЕЗАКТИВАЦІЇ. СУЧАСНИЙ СТАН	9
1.1 Джерела радіоактивних забруднень	9
1.2 Деактивація. Класифікація методів деактивації	10
1.3 Метод деактивації за допомогою струменя газу та відсмоктування пилу	13
1.4 Деактивація зняттям забрудненого шару і ізоляцією забрудненої поверхні	14
1.5 Деактивація за допомогою струменя води і пари	15
1.6 Деактивація за допомогою дезактивуючих розчинів	16
1.7 Локалізація радіоактивних забруднень.....	21
1.8 Допустиме радіоактивне забруднення різних поверхонь	22
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЇ ДЕЗАКТИВАЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГРАФЕНУ ТА ОКСИДУ ГРАФЕНУ	24
2.1 Структура та властивості графену	24
2.2 Існуючі технології отримання графену.....	27
2.3 Оксид графену та його властивості.....	29
2.4 Метод деактивації за допомогою графену та оксиду графену...	32
ВИСНОВКИ	39
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	40

ВСТУП

Радіація відіграє величезну роль у розвитку цивілізації на даному історичному етапі. Завдяки явищу радіоактивності був зроблений істотний прорив в області медицини й у різних галузях промисловості, включаючи енергетику. Але одночасно з цим стали все більше виявлятися негативні сторони властивостей радіоактивних елементів: з'ясувалося, що вплив радіаційного випромінювання на організм може мати трагічні наслідки.

Подібний факт не міг пройти повз увагу громадськості. І чим більше ставало відомо про дію радіації на людський організм і навколишнє середовище, тим суперечливіше ставали думки про те, наскільки велику роль повинна грати радіація в різних сферах людської діяльності [1]. Радіоактивність варто розглядати як невід'ємну частину нашого життя, але без знання закономірностей процесів, пов'язаних з радіаційним випромінюванням, неможливо реально оцінити ситуацію.

Джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ) знайшли широке застосування в різних галузях промисловості, енергетиці, науці та медицині. За даними Державної санітарно-епідеміологічної служби в Україні налічується близько 10 тисяч підприємств, закладів та установ, де використовуються різноманітні джерела ІВ, у тому числі більше 30 тисяч радіонуклідних приладів. Робота з радіоактивними речовинами та джерелами іонізуючого випромінювання є потенційно небезпечною, тому що у випадку аварії вплив радіоактивних речовин та інших джерел іонізуючого випромінювання людина не може відчутти за допомогою своїх органів чуттів, а виявляє тільки за допомогою спеціальних приладів. Зріст використання джерел іонізуючого випромінювання призводить до зростання імовірності радіаційних аварій та інцидентів різного масштабу та типу і, як наслідок, забрудненню радіонуклідами навколишнього середовища. Отже, удосконалення та розробка методів дезактивації забруднених радіонуклідами об'єктів є актуальною задачею забезпечення довкілля.

1 ОСНОВНІ СПОСОБИ ДЕЗАКТИВАЦІЇ, СУЧАСНИЙ СТАН

1.1 Джерела радіоактивних забруднень

До основних джерел радіоактивних забруднень належать:

- ядерні вибухи;
- ядерні реактори різних типів;
- радіонукліди, використовувані на підприємствах;
- підприємства ядерно-паливного циклу;
- місця переробки і поховання радіоактивних відходів.

Найбільшою потенційною небезпекою для навколишнього середовища і загрозою існуванню людської цивілізації є ядерна зброя.

Другим за ступенем небезпеки джерелом радіоактивних забруднень є ядерні реактори. У результаті викиду за межі АЕС тільки 3,5% радіонуклідів із реактора РБМК-1000 четвертого енергоблоку Чорнобильської АЕС більше ніж 31 тис. км² території виявилися в зоні радіоактивного зараження з поверхневою активністю по цезію-137 понад 5 Кі/ км².

Радіонукліди, використовувані як закриті джерела у промисловості (наприклад, у дефектоскопії, при автоматизації виробничих процесів тощо), у медицині, сільському господарстві, здатні створювати небезпеку навколишньому середовищу в результаті їх халатного зберігання і накопичення, коли вони можуть з'явитися в зовнішньому середовищі. Найбільше забруднення навколишнього середовища створює мережа радіаційних лабораторій, де використовують радіонукліди.

При нормальній роботі АЕС та інших підприємств ядерного паливного циклу відбуваються невеликі, але регулярні газоаерозольні викиди радіаційних речовин в атмосферу і скидання рідких радіоактивних відходів [2].

1.2 Дезактивація. Класифікація методів дезактивації

Дезактивація – методи та засоби вилучення радіоактивних речовин з тіла людини або тварини, з одягу або домашніх речей, побутових приладів, обладнання, різних споруд або місцевості (землі, рослинності, води), молока або інших продуктів і сировини, транспортних засобів або пакувальної тари, які попадають на них внаслідок технологічних процесів, пов'язаних з отриманням та застосуванням природних та штучних радіоактивних речовин, внаслідок необережності, аварій або застосування ядерної зброї.

Ефективність дезактивації залежить від щільності забруднення об'єкту або його частини, характеру матеріалу (метал, деревина, скло, тканина і т. ін.), стану поверхні (гладка, шорстка, пориста, липка), розміру частинок радіоактивного пилу, розчинності радіонуклідів, часу, який пройшов від моменту забруднення, засобів дезактивації.

Ефективність дезактивації також залежить від часу її початку після виникнення забруднення, оскільки довга часова затримка радіоактивних забруднень на будь-якому об'єкті призводить до більшої їх фіксації і затрудняє очистку.

Сучасні методи дезактивації радіоактивного забруднення можна класифікувати за декількома ознаками. Вони з одного боку визначаються умовами проведення дезактивації а також за особливостями радіоактивного забруднення. Вибір того чи іншого способу визначається за конкретною специфікою радіоактивного забруднення того чи іншого об'єкту .

Радіоактивні речовини неможливо знищити, прискорити їх розпад або нейтралізувати деякою хімічною речовиною. Їх можна тільки вилучити, застосовуючи фізичні (механічні), хімічні або фізико-хімічні методи [3].

Фізичний метод полягає в механічному виділенні радіоактивного пилу щіткою, віником, за допомогою пилососу або витрушування і вибивання, обтиранням клоччям, дрантям, змиванням водою, зняттям та виділенням забрудненого поверхневого шару (грунту, зерна, сіна і т. ін.), фільтруванням.

При **хімічному методі** радіоактивні ізотопи або розчиняють, або з'єднують у комплексну сполуку, після чого виділяють. Для цього використовують різні розчинники (соляну або азотну кислоту, діхлоретан, бензин, керосин) або комплексоутворювачі (лимонна або жавелева кислоти, гексаметофосфат натрію та ін.).

Частіше застосовують **фізико-хімічний** метод дезактивації – змивання радіоактивних речовин дезактивуючими розчинами. При цьому застосовують розчинники, комплексоутворюючі та поверхнево-активні речовини.

В основу іншого способу класифікації усіх основних методів дезактивації покладено агрегатний стан дезактивуючої речовини і особливості проведення власне дезактивації. З тієї точки зору усі методи дезактивації можна розділити на сухі, рідинні та комбіновані. Такий спосіб класифікації методів дезактивації представлений на рис.1.1.

Згідно наведеної класифікації механічне виділення радіонуклідів з поверхні струменем повітря слід віднести до сухих методів, а дезактивацію напором води або дезактивацію за допомогою спеціальних розчинів – до рідинних.

Бажання підвищити рівень та ефективність дезактивації привело до комбінованих методів дезактивації, тобто поєднанню різних методів між собою. Цей спосіб розуміє обробку тих саме об'єктів кількома способами, наприклад, як це робили у Чорнобилі.

У Чорнобилі спочатку проводилася дезактивація об'єктів і приміщень за допомогою пилососів, а потім вже іншими методами дезактивації. Така сама послідовність була використана під час дезактивації полімерних підлог різних приміщень при локальному радіоактивному забрудненні, дезактивація котрого була проведена за допомогою порошкоподібного препарату.

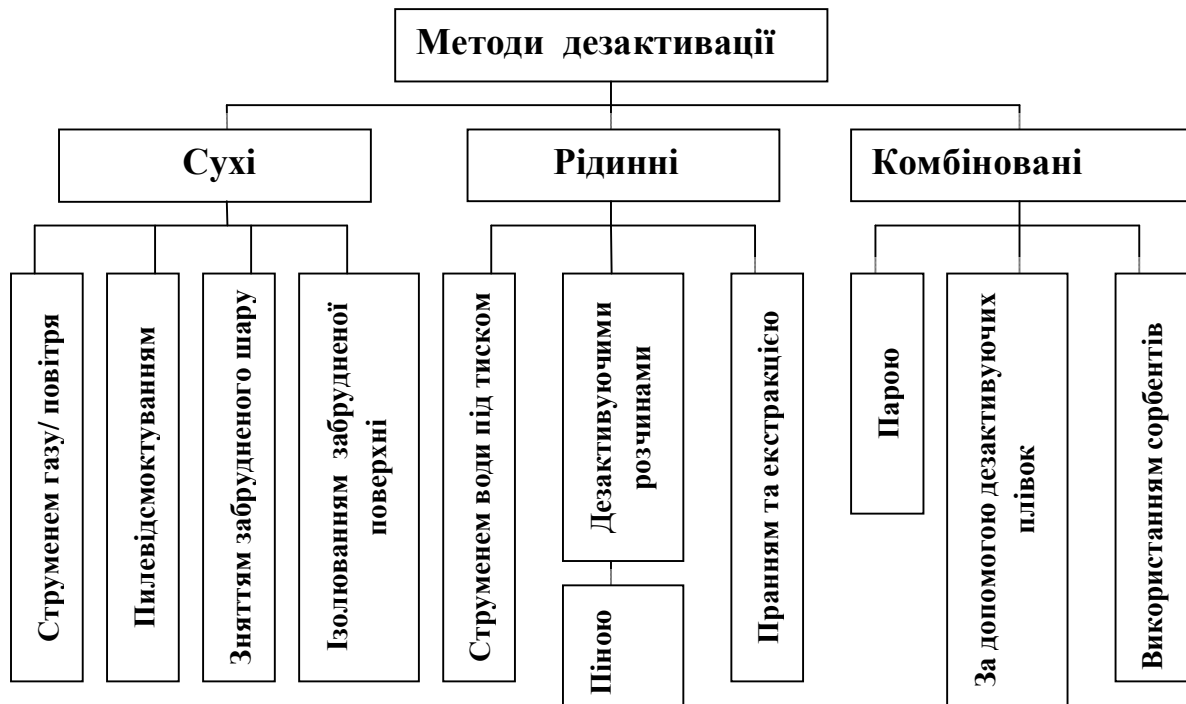


Рис. 1.1 Класифікація методів дезактивації

Також може виникнути необхідність багаторазової дезактивації під час масового радіоактивного забруднення. Наприклад, так було і у Чорнобилі, коли були вимушені проводити багаторазову дезактивацію через велике вторинне забруднення всіх об'єктів та через малу ефективність проведення одноразової дезактивації.

Однак не всі способи мають однакову популярність та ефективність, через це способи дезактивації можна поділити на дві групи – основні та допоміжні. На схемі рис.1.1 представлені основні методи дезактивації, які далі будуть розглянуті більш детально [4].

Існують і інші методи дезактивації: при дезактивації поверхонь може бути використана електрохімічна дезактивація (забруднену радіонуклідами деталь поміщується в розчин електроліту, на оброблювану поверхню подається негативний або позитивний потенціал), лазерна дезактивація [5] (за механізмом схожа з методами лазерного очищення поверхонь від фарби, іржі та т. п., використовуваними, наприклад, у реставрації металевих виробів), дезактивація з використанням ультразвуку.

Методи, які не використовують технічні засоби можна віднести до допоміжних.

1.3 Метод дезактивації за допомогою струменя газу та відсмоктування пилу

У першій стадії процесу дезактивації струменем газу (повітря) з поверхні видалається радіоактивне забруднення у вигляді рідини, дрібних частинок і структурованих мас; радіоактивне забруднення переводиться у зважений або аерозольний стан. Для підвищення ефективності використовується повітряний струмінь із введеним в нього порошку, що має абразивну дію і здатного зняти верхній шар, забруднення якого викликане проникнення радіоактивних речовин вглиб матеріалу. Дуже добру якість дезактивації визначає те, що коефіцієнт збільшується і може досягти помітку в 200.

Друга стадія розуміє під собою видалення радіоактивного забруднення з об'єкта, який оброблюється, та коли ці забруднення у підвішеному стані набувають можливість рухатися з інерцією.

Цей метод слід використовувати при дезактивації забарвлених металевих виробів та пористих матеріалів, таких як бетон та цегла, якщо забруднення глибинне. Недоліками цього методу є витрата абразивного порошку, виникнення суміші радіоактивних забруднень з відпрацьованим абразивним порошком, механічне пошкодження оброблюваних поверхонь та вплив на людину аерозолів. Із цими умовами більш розумно віддати перевагу таким пристроям, які працюють в режимі замкнутого циклу.

При дезактивації методом відсмоктування фільтрація забрудненого потоку уловлює віддалені частинки і здійснює очистку на основі замкнутого циклу, в цьому перевага способу відсмоктування від дезактивації за допомогою струменя газу або повітря. Звісно, при роботі пилососів

забруднюються їх фільтри та поверхні повітряного тракту, що може бути небезпечним для людини. Також цей метод є дуже трудомістким та вимагає від персоналу строго дотримуватися усіх правил безпеки.

1.4 Дезактивація зняттям забрудненого шару і ізоляцією забрудненої поверхні.

На територіях, де тверде покриття відсутнє, дезактивація може проводитися шляхом зрізання та вивезення верхнього шару ґрунту або снігу, засипки чистим ґрунтом, засіву рослинами, які акумулюють радіонукліди, настиланням поверхні і т. ін.

При знятті забрудненого шару поєднуються дві стадії процесу дезактивації: зняття забрудненого радіонуклідами шару ґрунту (рис.1.2) з подальшою його ізоляцією (захороненням)



Рис.1.2 Дезактивація зняттям забрудненого шару ґрунту

Щоб дезактивація була ефективною, слід верхній забруднений шар знімати у два рази глибше, ніж глибина проникнення радіоактивного випромінювання.

У цього методу також є свої недоліки, такі як необхідність транспортування та поховання, що робить великі ризики вторинного радіоактивного забруднення та вимагає проведення дезактиваційних робіт. Також цей процес є досить трудомістким. Ізоляція забрудненої поверхні спрямована, головним чином, на захист від гамма-випромінювання.

1.5 Дезактивація за допомогою струменя води і пари

Метод дезактивації за допомогою струменя води і пари є досить доступним та широко застосованим. Цей метод використовується при дезактивації обладнання, ділянок місцевості з твердим покриттям, транспорту і т. ін. (рис.1.3).



Рис.1.3 Дезактивація за допомогою струменя води

Ефективність цього методу головним чином залежить від напору струменя води та того, які використовуються насадки. Введення у струмінь низько - або середнього натиску абразивних препаратів, використання імпульсного режиму обробки дозволяє домогтися порівняно високої ефективності.

Обробку транспорту, обладнання, апаратури, будівель і споруд можна здійснювати струменем пара, де він використовується як робоче тіло для безпосередньої обробки забрудненої поверхні.

Потре досить непогану ефективність та відносну доступність, цей спосіб має цілий перелік недоліків:

- для генерації пара потрібні спеціальні установки з відносно великою продуктивністю;
- застосування та експлуатація котлів вимагає значних матеріальних витрат і витрат енергетичних ресурсів. Крім того, при роботі з котлами, як з апаратами під тиском, потрібно суворе дотримання багатьох правил техніки безпеки.

Зниження витрати пари при достатній ефективності дезактивації досягається застосуванням паро-емульсійного способу. Він передбачає використання дезактивууючих розчинів, які стійкі до дії пара і не втрачають дезактивууючої здатності.

1.6 Дезактивація за допомогою дезактивууючих розчинів

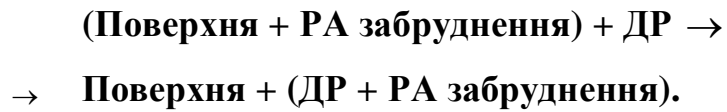
Дезактивація за допомогою дезактивууючих розчинів проводиться при дезактивації значної кількості об'єктів, таких як транспорту, одягу, обладнання, будівель, приміщень, доріг з твердим покриттям. Цей метод використовується із використанням дезактивууючих розчинів різного складу та призначення. Залежно від складу розчини можна розділити на три основні групи: дезактивууючий розчин (ДР) на основі поверхнево-активних

речовин (ПАР), окислювачів і сорбентів. Більш детальний перелік розчинів для дезактивації та засоби їх використання наведені в таблиці 1.1 [4] .

Таблиця 1.1. Розчини для дезактивації поверхонь

Речовина	Засіб використання
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	
Жирове мило (60%), пральні порошки	Використовують 0,3–1%-ні розчини. Можна використовувати разом з комплексоутворювачами, кислотами та іншими речовинами
Комплексоутворюючі речовини	
гексаметафосфат натрію, лимонна, винна, жавелева, плавикова кислоти	Використовують 0,4–2%-ні розчини. Можна використовувати разом з ПАР-кислотами та іншими речовинами
Неорганічні кислоти	
Азотна, соляна та сіркова кислоти	2–5%-ні розчини використовують для дезактивації кислотостійких матеріалів
Окислювачі	
Марганцевокислий калій, перекислі водню	0,1–0,5% -ні розчини у лужному або кислому середовищі використовують для виділення радіоактивних речовин, які міцно пов'язані з поверхнею.
Міцні основи	
Їдкий натрій і калій	1–5%-ні розчини використовують для виділення радіоактивних речовин, розчинних у лугах
Органічні розчинники	
Дихлоретан, спирт, ацетон, керосин, бензин	Використовують для виділення забрудненого шару змазки або краски

Незалежно від складу розчину процес дезактивації йде за такою схемою:



Цю схему можна інтерпретувати в такий спосіб: для дезактивації розчини, що використовуються для дезактивації, повинні подолати зв'язок радіоактивного забруднення з поверхнею об'єкта (перша стадія процесу дезактивації) і утримувати ці забруднення, запобігши їх можливість осадження на вже оброблену поверхню. Потім необхідно створити умови для видалення забруднень разом з відпрацьованими дезактивуючими розчинами.

При використанні методу дезактивації за допомогою дезактивуючих розчинів слід зазначити, що їх використання не рекомендується при обробці пористих матеріалів так як у водному середовищі посилюється процес проникнення радіоактивних забруднень разом з водою на ще більшу глибину.

ДР на основі ПАР.

ДР на основі ПАР застосовують для дезактивації різних об'єктів шляхом зрошення поверхні з одночасним протирання щітками, механічний вплив яких дозволяє інтенсифікувати процес дезактивації, тобто сприяти вилученню забруднень і видалення їх разом з відпрацьованим ДР. КД підвищується при введенні 10-40% абразивного порошку і може досягати 80. Деякі ПАР, можуть бути використані для дезактивації піною (рис.1.4). Піна дозволяє обробляти авіаційну техніку, деякі види оптичної, електронної та іншої апаратури. Недоліки цього способу пов'язані з здійсненням другій стадії процесу дезактивації - транспортна здатність піни незначна. З плином часу піна гасне, утворюється дуже тонкий і часом не суцільний шар рідини,

що дає можливість РА забрудненню знову повернутися на вже оброблену поверхню. Ця обставина зумовлює двостадійну обробку: нанесення піни і її витримка (експозиція) протягом певного часу; потім відбувається видалення піни струменем води, впливом вакууму або механічним шляхом.



Рис.1.4 Дезактивації піною

ДР розчини на основі багатокomпонентних окислювачів.

До складу розчинів на основі багатокomпонентних окислювачів входять кислоти (наприклад, азотна і щавлева), луги (їдкий натрій), а також деяку кількість ПАР. ДР на основі окислювачів застосовуються для дезактивації замаслених, сильно забруднених і таких, що зазнали корозію, металевих поверхонь, а також у випадках видалення глибинних РВ разом з верхнім забрудненим шаром. Розчини подібного типу є одними з основних в атомній енергетиці при дезактивації апаратури і головним чином внутрішніх контурів різних агрегатів, що стикаються з теплоносієм і зазнали корозії. Окрім того, ці ДР використовуються при знезараженні обладнання

відпрацьованих АЕС. Звичайно чисельні значення КД не менш 30, що за шкалою якості визначають як задовільні.

Третю групу ДР складають суспензії, тобто такі системи, у водному середовищі в яких розподілені тверді частинки. Цими твердими частинками є сорбенти, про них більш детально буде розказано в наступному пункті. В якості сорбентів можуть застосовуватися бентонітові глини, сульфідно-спиртова барда, цеоліти і ін. Суспензії цієї групи застосовуються для дезактивації внутрішніх і зовнішніх вертикально розташованих стін будівель.

Використання сорбентів і полімерних плівок.

Сорбентами називають порошки, здатні поглинати на своїй поверхні різні речовини, в тому числі і РН. Процес поглинання речовин називають адсорбцією, в результаті якої речовини мимовільно витягуються з різного середовища: рідкого і газоподібного. Концентрація витягнутих на поверхню речовин в сотні і навіть тисячі разів перевищує їх концентрацію в середовищі, що оточує сорбент.

Здатність адсорбувати різні речовини надає їм пориста структура поверхні. Численні пори, різко збільшують поверхню сорбентів, а отже здатність адсорбувати. Така здатність визначається розмірами пір і питомою поверхнею. Пори мають дуже невеликі розміри, часом співмірні з розмірами молекул.

Питома поверхня пір вимірюється в $\text{м}^2/\text{кг}$, вона показує розмір поверхні сорбенту з урахуванням пір, приходять на 1 кг порошку. Питома поверхня такого сорбенту як глина перевищує $10000\text{м}^2 / \text{кг}$, активованого вугілля в сотні разів більше.

Сорбенти застосовують для вилучення РН з газового та водного середовищ, в процесі очищення води та повітря, а також з різних поверхонь забруднених об'єктів. Сорбенти, які застосовуються для дезактивації, можуть бути на основі мінеральних речовин. До мінеральних сорбентів відносяться

згадані раніше глини і цеоліти. Глинисті сорбенти (бентоніти різного класу, монтморилоніт, каолін, гідрослюда) бажано піддати активації, що збільшує їх адсорбційну здатність. До мінеральних сорбентів відносяться також діатоміти, опоки, які утворилися з найдрібніших мікроорганізмів.

При використанні мінеральних сорбентів крім адсорбції, відбувається набухання - процес збільшення маси речовини шляхом поглинання води, містить РН. Зауважимо, що сорбенти в результаті адсорбції витягають РН, що знаходяться в молекулярній і іонній формі.

До вугільним сорбентам відносяться вуглецеві матеріали, одержувані високотемпературною обробкою різних копалин вугілля, деревних порід, торфу та інших речовин, багатих вуглецем. Після обробки паром або інертними газами, які необхідні для очищення пір, вводять добавки, що зв'язують різні РН.

Процес дезактивації при використанні сорбентів йде в дві стадії, які відрізняються від стадій інших способів дезактивації. Спочатку має місце рух РН до поверхні сорбенту, а потім власне їх адсорбція на цій поверхні. Ці стадії процесу тривалі за часом. Якщо струменем води, наприклад, процес дезактивації здійснюється за секунди, то в разі застосування сорбентів він обчислюється десятками хвилин, а іноді і годинами. Сорбенти здатні вибірково поглинати різні РН.

Для утворення плівок застосовуються головним чином полімерні матеріали, а також сорбенти. Залежно від цільового призначення слід розрізняти три групи плівок: такі, що ізолюють (акумулюють), дезактивують або локалізують радіонукліди. Ізолюючі плівки попередньо наносяться на чисту незабруднену поверхню; на відміну від локалізуючих, які наносять на поверхню вже забруднену РА. Дія дезактивуючих плівок полягає в закріпленні їх на поверхні об'єкту і проникненні РА забруднень в глиб матеріалу плівки. Дезактивуючий засіб видалиться з поверхні об'єкта разом з утримуваними ними РА забрудненням.

1.7 Локалізація радіоактивних забруднень

Під локалізацією РА забруднень слід розуміти, застосування засобів, що запобігають переходу РВ з забрудненої поверхні або з повітряного і водного середовища на інші незабруднені поверхні або в будь-яке середовище, що не містить радіоактивні речовини в небезпечних кількостях. У зв'язку з тим, що локалізація здійснюється за допомогою тих самих технічних засобів і способів, що і дезактивація, доречно їх розглядати у сукупності.

Локалізація по суті є запобіганням вторинного забруднення об'єктів. Основними способами локалізації вважаються:

1. Ізоляція забрудненої поверхні. Ізоляції піддаються забруднені місцевості, дорога, споруди, транспорт і одяг.
2. Пилоподавлення. Відноситься головним чином до місцевості. Причому одночасно відбувається ізоляція забрудненої території.
3. Обвалування. Пов'язано з закріпленням ґрунту, що обрамляє акваторії, та запобігання поширенню забруднень плином рік, паводком, переміщенням ґрунтових та інших вод.
4. Хімічно - біологічне задерніння ґрунту. Спрямоване на рекультивацію земель, що зазнали забруднення з тим, щоб виключити можливість ураження рослин і тварин.

1.8. Допустиме радіоактивне забруднення різних поверхонь

По завершенні дезактивації поверхневе забруднення різних об'єктів не повинно перевищувати установлені НРБУ допустимі рівні поверхневого радіоактивного забруднення, які наведені в таблиці 1.2 [3].

Таблиця 1.2. Допустиме радіоактивне забруднення різних поверхонь (у частинках/см² за хвилину)

Об'єкт забруднення	Альфа-випромінюючі радіонукліди (уран, плутоній, торій, нептуній, америцій і т. ін.)	Бета-випромінюючі радіонукліди (стронцій-90, ітрій-90, церій-144, рутеній-106, цезій-137 – бета, гама і т. ін.)
Шкіряні покрови тілі людини, волосся та внутрішня, поверхня головного вбрання	0,1	10
Те саме	0,1	2 (стронцієм-90, ітрієм-90)
Рушники, натільна білизна, внутрішня поверхня верхнього одягу	0,1	10
Те саме	0,1	2 (стронцієм-90, ітрієм-90)
Верхній одяг	0,5	20
Те саме	0,5	4 (стронцієм-90, ітрієм-90)
Зовнішні поверхні взуття	5	200
Внутрішні поверхні взуття	0,5 0,5	20 4 (стронцієм-90, ітрієм-90)
Внутрішні поверхні житлових приміщень і побутових предметів, які в них знаходяться	0,5	20
Зовнішні поверхні житлових та підсобних приміщень, предметів надворі	5	200
Внутрішні поверхні транспортних засобів і контейнерів	1	100
Мішковина, пакувальні матеріали, внутрішня поверхня ящиків під харчові продукти	Не допускається	Не допускається

2 ТЕХНОЛОГІЇ ДЕЗАКТИВАЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГРАФЕНУ ТА ОКСИДУ ГРАФЕНУ

2.1 Структура та властивості графену

В останні десятиліття виявлені або синтезовані чисельні нові форми вуглецевих наноматеріалів, в тому числі фулерени, вуглецеві нанотрубки і графенові шари (рис.2.1). Вони є перспективними матеріалами для багатьох галузей nanoіндустрії, оскільки мають унікальні електронні, електромагнітні, теплові, оптичні та сорбційні властивості. Хоча фулерени та вуглецеві нанотрубки були винайдені, вивчені та вже знайшли своє застосування раніше за графен, вони фактично є його похідними, оскільки їх властивості є наслідком відповідних властивостей графену. Графіт є, по суті, великою кількістю шарів графену; вуглецеві нанотрубки можна представити як один чи декілька шарів графену, згорнутих в рулони різного діаметру; фулерени є нанорозмірними сфероподібними молекулами, поверхня яких утворена графеновими площинами.

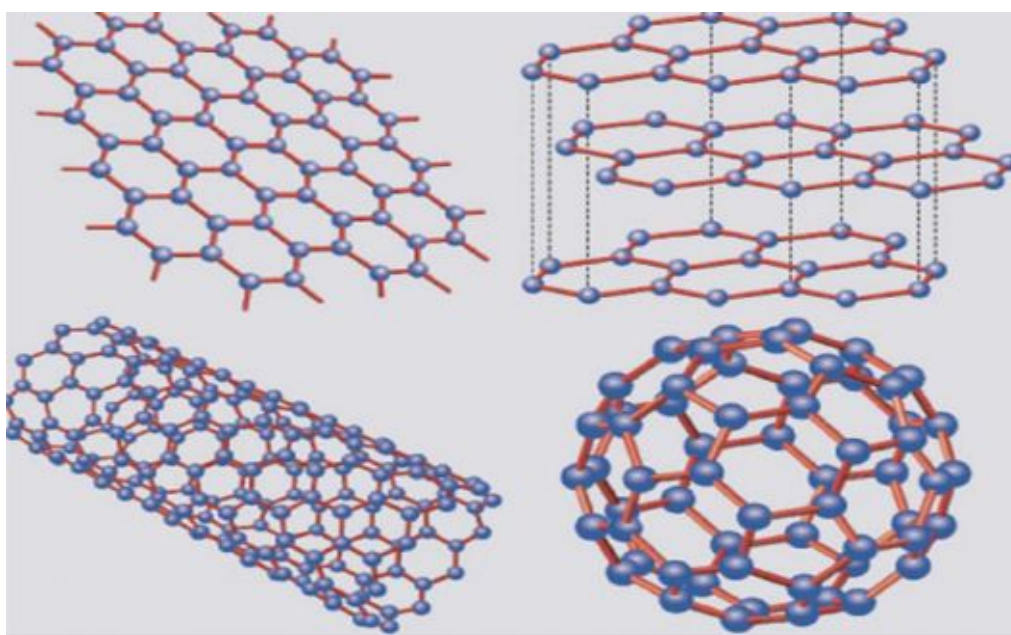


Рис. 2.1 Графен, графіт, вуглецева нанотрубка, фулерен

Графен - це двовимірна алотропна модифікація вуглецю, яка представляє собою атоми вуглецю, зібрані в плоску сітку з правильних шестикутників зі стороною 0.142нм (рис.2.2) [6]. Гексагональна двовимірна кристалічна ґратка утворюється шаром атомів вуглецю, які знаходяться в sp^2 - гібридизації і поєднані шляхом σ - та π - зв'язків. Принципово, що

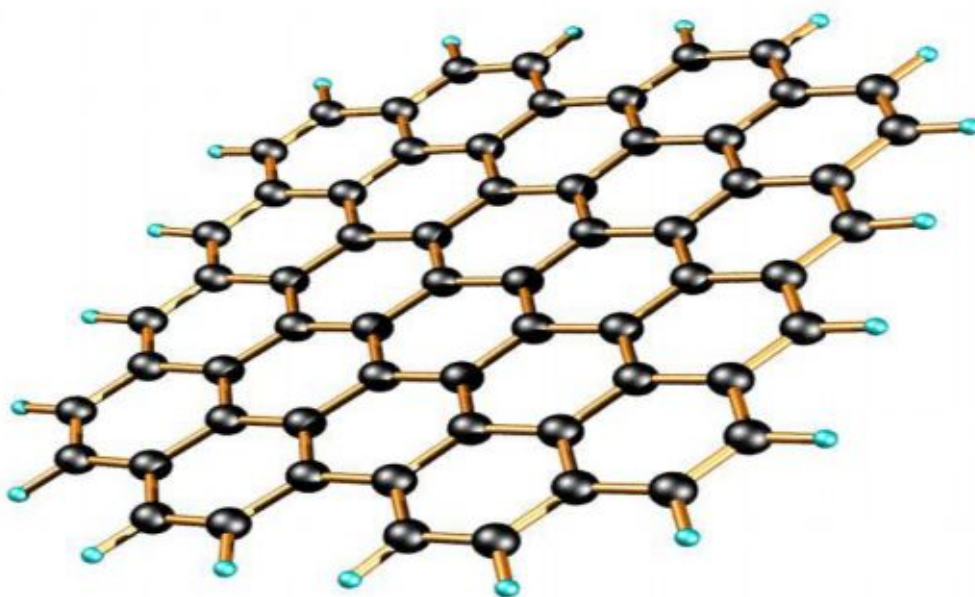


Рис.2.2. Кристалічна структура графену

графен має саме одноатомну товщину. Фактично графен є складовим елементом графіту, структуру якого можна представити як низку графенових площин, розташованих на відстані приблизно 3,4нм одна від одної. Таким чином графен можна розглядати як одну з площин графіту, видалену з об'ємного кристалу.

Стабільне існування графену ніби то суперечить теорії Л.Ландау та Р.Паерлса, які математично строго показали, що двовимірні кристали не можуть бути термодинамічно стабільними внаслідок того, що теплові флуктуації кристалічної ґратки спонукають зміщення атомів з положення

рівноваги такого масштабу, який збігається за порядком величини з міжатомною відстанню у вихідній гратці.

У дійсності, що було доведено як експериментами, так і теоретично, вільний графен, хоча й є плоским, має нерівну, трохи зім'яту поверхню. Його атоми не знаходяться в одній площині, а, залишаючись між собою міцно зв'язаними у просторі площини, виходять з неї на невеликі відстані. Внаслідок поверхня графену не є плоскою, а вкрита пагорбами та вм'ятинами, які називають риплами.

Внаслідок цих випадкових зміщень атомів вуглецю у третій вимір виникає ефективна товщина атомних шарів, яка забезпечує механічну жорсткість у поперечному відносно площини напрямі і, тим самим дозволяє уникнути обмеження Ландау-Паерлса, справедливого для суто двовимірних систем.

Унікальні властивості графену роблять перспективним його використання у різних технологіях та різноманітних пристроях, зокрема у наноелектроніці.

Властивості графену:

- Ультра тонкий (товщиною в один атом), легкий (щільність- 0.77 мг/м^2) механічно дуже міцний, гнучкий і електропровідний матеріал.
- Володіє міцністю на розрив 42 Н/м , в 100 разів міцніший за сталь такої самої товщини.
- Електронні властивості графену суттєво відрізняються від властивостей тривимірних речовин і є наслідком теоретично передбаченого та експериментально підтвердженого лінійного закону дисперсії (залежності енергії від імпульсу) електронів у графені (група А.Гейма і К.Новосьолова у Манчестерському університеті та ін.).

У макроскопічному масштабі лінійний закон дисперсії призводить до того, що графен є напівметалом, тобто напівпровідником з нульовою шириною забороненої зони, а його провідність в нормальних умовах не поступається провідності міді. Більш того, його електрони надзвичайно

чутливі до дії зовнішнього електричного поля. Пропускаючи електричний струм через графенові стрічки, експериментатори встановили, що здатність вільних електронів до руху (так звана рухливість носіїв) майже на два порядки (у 100 разів) більша, ніж у кремнію, і в 20 разів більше, ніж у арсеніду галію. Ці два напівпровідника, поряд з германієм, найбільш часто використовуються при створенні різних високотехнологічних пристроїв (інтегральних схем, діодів, детекторів і т. П.), А оскільки швидкість і ефективність їх роботи визначається саме рухливістю електронів, то чим більша ця величина, тим швидше і продуктивніше працюють пристрої. В даний час найбільш обговорюваним і популярним проектом є використання графена у якості нової основи мікроелектроніки, яка може замінити існуючі технології на базі кремнію, германію та арсеніду галію.

- Має високу теплопровідність. Вимірний коефіцієнт теплопровідності графену має у 10 разів більше значення за коефіцієнт теплопровідності міді, яка вважається відмінним провідником теплоти.

- Практично прозорий і тому не має кольору. Частка поглиненого графеном світла в широкому інтервалі не залежить від довжини хвилі і становить 2,3% від інтенсивності падаючого на нього світла.

Поєднання прозорості, гарної електричної провідності і еластичності графена привело до думки використовувати його при створенні сенсорних дисплеїв і фотоелементів для сонячних батарей. В ході експериментів було доведено, що майже за всіма показниками пристрої подібного роду на основі графену краще, ніж використовувані зараз пристрої на основі оксиду індію-олова.

2.2 Існуючі технології отримання графена

На даний момент головним із існуючих способів отримання графена є метод, заснований на механічному відщепленні шарів графіту [7]. Цей метод дозволяє отримувати якісні зразки графену з максимальною

порівняно з іншими відомими матеріалами рухливістю носіїв заряду (електронів), що робить його перспективним матеріалом для використання у якості основи наноелектроніки.

Підхід, заснований на механічному відщепленні шарів графіту, використовує шарувату структуру кристалічного графіту, завдяки якій можливе проникнення атомів або молекул різної природи в простір між шарами. Це призводить до збільшення відстані між шарами і відповідно до зниження енергії взаємодії між ними. В результаті стає можливим поділ графітових шарів при механічному впливі на них.

За цією методикою графенові листи відокремлюються від кристалічного графіту внаслідок тертя невеликих кристаликів графіту між собою або за допомогою клейкої стрічки, подальше розчинення якої в кислоті приводить до отримання окремих графенових шарів. Найпростіший спосіб розшарування графіту на окремі графенові листи заснований на використанні поверхнево - активних органічних рідин.

Також використовують спосіб, заснований на використанні хімічних окислювачів. Відповідно до цього підходу при впливі на графіт сильних газоподібних окислювачів, в першу чергу кисню та галогенів, відбувається окислення внутрішніх шарів графіту. Цей процес супроводжується збільшенням відстані між шарами в кристалі. Внаслідок знижується енергія взаємодії, що полегшує можливість поділу графітових шарів у рідкій фазі і дозволяє синтезувати зразки оксиду графену з поперечним розміром порядку сотень мікрометрів.

Ще один спосіб синтезу графена заснований на термічному розкладанні карбїду кремнію, результатом якого є зростання плівки графену на поверхні кристалу SiC. При високій якості вихідного кристалу SiC розмір синтезованого зразка графену, отриманого таким методом, може бути порівняним з розміром кристалу. Крім того, завдяки діелектричним властивостям SiC у цьому випадку не виникає технічних

проблем з розташуванням графену на діелектричній підкладці, що необхідно для дослідження електричних характеристик графена.

2.3. Оксид графену та його властивості

Оксид графену (ГО) (рис.2.3) отримав в останнє час широке визнання як адсорбент важких металів та радіонуклідів. Так було встановлено, що адсорбційна ємність для Cd(II) Co (II) при жорсткості води рН6.0 та температурі 300К досягає 0,95 або 1,16мМоль/г, для Eu U 0,76 і 0,12мМоль/г [8].

Термін "оксид графена" ще не отримав міжнародної дефініції. Під оксидами графена розуміють частки графена з приєднаними по краях або всередині вуглецевої сітки кісневомісними функціональними групами та/або молекулами. Різновидом є оксиди графена, модифіковані полімерами, такими як поліетиленгліколь, поліефіри, полівінілом, полі акрилі, поліаніліни і т. ін.

Оксид графену, хоч поступається чистому графену за деякими характеристиками але є більш простим при отриманні і, відтак, більш дешевим та доступним.

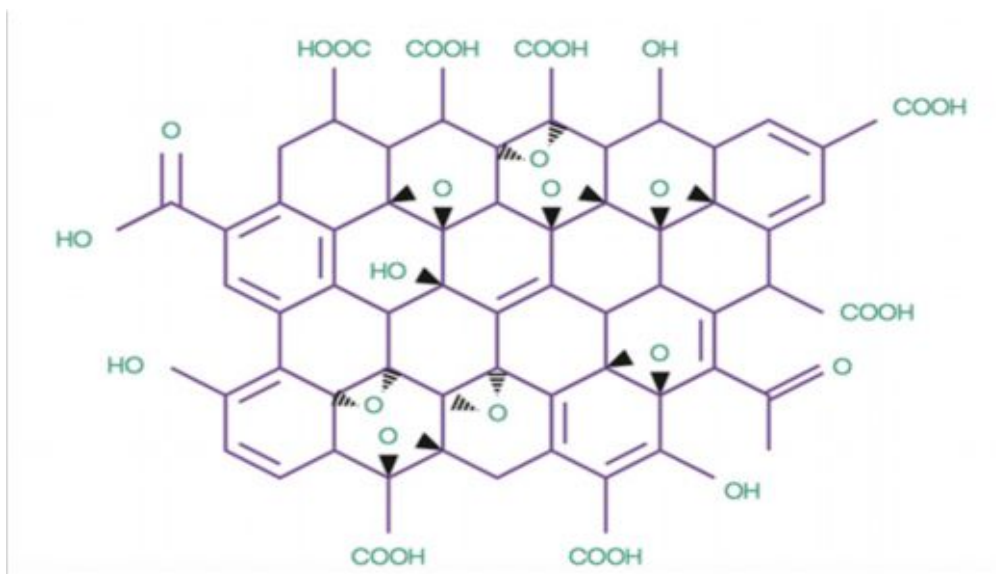


Рис.2.3 Структурна схема оксиду графену

Такі країни світу як Кітай, США та Великобританія розвивають виробництво оксид графену у промислових масштабах.

За ступенем окислення оксиди графена сильно розрізняються і можуть містити від 3% до 40% кисню за масою. Широкі межі хімічного складу (з урахуванням додаткових легуючих атомних груп) роблять непростий завдання класифікації і стандартизації оксидів графена. Тим більше що склад може мінятися не дискретно, а безперервно.

Ступінь окислення оксиду графену визначає багато його властивості в т.ч. і адсорбційні, що представляє особливий інтерес при дезактивації.

Оксиди графену, а також композити на їх основі - перспективні матеріали для контролю і захисту навколишнього середовища (в першу чергу це стосується промислових відходів). Також їх можна розглядати як ефективний матеріал для знезараження повітря, ґрунту і рідких відходів.

- Кисневомісні функціональні групи на краях і в площині оксидів графена здатні як до ковалентних, так і до не ковалентних взаємодій з різними молекулами. Більш того, значна за величиною питома поверхня оксидів графена дозволяє поглинати істотні кількості іонів важких металів і органічних сполук.

- Завдяки особливостям приповерхневої хімії і різних типів архітектури конгломератів на основі оксидів графену, є численні можливості для селективних каталітичних процесів розкладання шкідливих газів на безпечні похідні.

За адсорбційною спроможністю оксиди графену на порядки перевершують активне вугілля, що так добре себе зарекомендувало в індивідуальних протигазах та інших фільтрувальних пристроях (рис.2.4).

Високу адсорбційні властивості графену та оксиду графену можна пояснити в рамках ідеї теорії американського хіміка і фізика Ірвінга Ленгмюра про особливу будову адсорбційних шарів, розвинуту їм при вивченні ПАВ, та теорії полімолекулярної адсорбції БЕТ (Брунауер, Еммет, Теллер) [9].

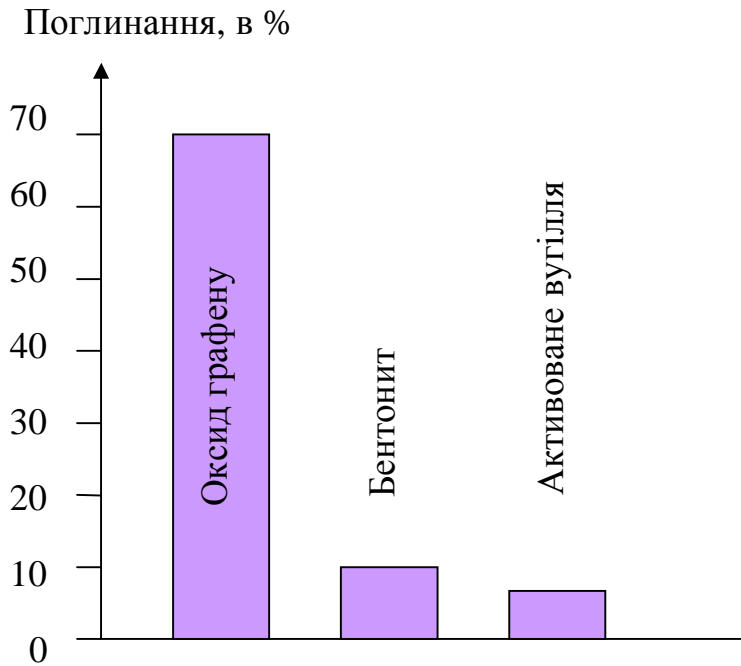


Рис.2.4 Діаграма порівняльної сорбції іонів урану оксидом графену, бетоніту та активованого вугілля

Основні положення теорії адсорбції БЕТ:

- Адсорбція відбувається не на всій поверхні адсорбенту, а є локалізованою на активних центрах, (виступах або западинах на поверхні адсорбенту).
- Активні центри вважаються незалежними (тобто один активний центр не впливає на адсорбційну здатність інших), і рівноцінними в енергетичному сенсі.
- Молекули першого шару адсорбуються на поверхні адсорбенту внаслідок міжмолекулярної взаємодії між адсорбентом та адсорбатом.
- Кожна молекула першого шару є потенційним центром для адсорбції в другому шарі, молекули якого, в свою чергу, є можливими центрами адсорбції в наступному шарі і т. ін.
- Адсорбована фаза є сукупністю полімерних ланцюжків, які починаються молекулами першого шару (рис. 2.5). Ці ланцюжки енергетично незалежні, не взаємодіють один з одним.

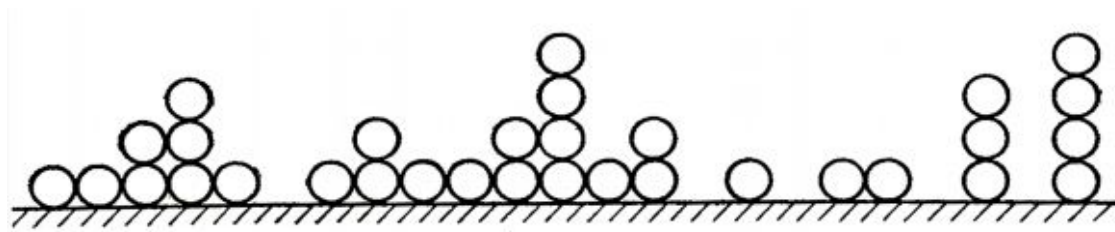


Рис.2.5 Схема полімолекулярної адсорбції (за теорією BET)

Зауважимо, що деякі з припущень теорії BET є достатньо умовними. Зокрема, згідно з теорією BET, допускається, що кожна молекула рідини має тільки два найближчих сусіди (тобто зверху і знизу в ланцюжку), тоді як у молекули реальної рідини набагато більше найближчих сусідів. Окрім того, адсорбційні центри можуть мати різну енергію, тобто не є еквівалентними [10]. Отже, наступним кроком у розвитку теорії може бути урахування цих факторів.

2.2 Метод дезактивації за допомогою графену та оксиду графену

Сучасній науці відомі технології дезактивації об'єктів з використанням графену та оксиду графену [11-13]. Зокрема, відомий метод використання розчину графену з полімерами (які мають стійкість до іонізуючого випромінювання) або з іншими поверхнево-активними речовинами (ПАР). Таки графеноємні сполуки при потраплянні у забруднену радіонуклідами воду перемішується з нею і адсорбують важкі метали і радіонукліди, в подальшому, випадають в осад, який підлягає промислового захороненню чи переробці.

Аніонні ПАР – у водному розчині розпадаються з утворенням негативно заряджених іонів та дають потужну піну.

Додавання оксиду графену до піни, яка використовується для видалення радіоактивних речовин, важких металів та інших забруднювачів, з поверхонь

та розчинів, може істотно підвищити ефективність використання таких методів.

Виділення довгоживучих радіонуклідів з водних розчинів різного складу є важливою проблемою, вирішення якої необхідно як для розвитку технологій замкнутого ядерного паливного циклу, так і реабілітації територій, забруднених радіонуклідами.

Здатність графена витягати з високою швидкістю радіоактивні матеріали з водних розчинів виявили вчені лабораторій з МГУ і Університету Райса (США). Цю властивість можна використовувати при очищенні місць, заражених радіацією, як «Фукусіма», а також для удосконалення технологій з видобутку рідкоземельних елементів і сланцевих вуглеводнів. В ході експериментів дослідники виявили, що мікроскопічні лусочки оксиду графену товщиною, як і належить, в один атом швидко пов'язують радіонукліди різного походження і збирають їх окремі іони в тверді тіла. Ці лусочки легко розчиняються у воді і, витягнувши з неї радіоактивні речовини, збираються в грудки, які легко витягти і яким-небудь чином утилізувати - наприклад, спалити.

За словами Джеймса Тура, який очолює групу з Університету Райса, це відкриття може виявитися справжнісіньким благом при очищенні місць, заражених радіоактивними матеріалами, таких, наприклад, як територія АЕС «Фукусіма-1». Більш того, за словами Тура, воно може істотно знизити вартість технології так званого фрекінгу, за допомогою якого здобуваються сьогодні сланцевий газ і нафта.

Оксид графену взагалі чудовий матеріал. Він з'явився досить скоро після графена, і відразу з'ясувалося, що у нього є безліч найрізноманітніших застосувань. Він може стати незамінним в електроніці, може бути засобом доставки ліків до ракової пухлини, чудовим хімічним каталізатором і ще багато чим, з нього можна відновлювати чистий графен, і, що найцікавіше, його можна отримувати набагато простіше і дешевше, ніж сам графен. Пару

років тому китайські фізики з'ясували, що оксид графену має ще й бактерицидні властивості, оскільки вміє пов'язувати токсини.

Тому здатність оксиду графену з високою ефективністю проводити радіоактивне очищення води було цілком очікуваною.

Несподіваною, за словами завідувача лабораторією дозиметрії і радіоактивності навколишнього середовища хімічного факультету МГУ Степана Калмикова, виявилася феноменальна швидкість цього очищення.

Луска оксиду графену синтезувалися групою Тура, а самі експерименти з ними проводилися в лабораторії Калмикова [11]. Вчені відчували ці лусочки на розчинах, що містять уран, плутоній, а також натрій і кальцій, які перешкоджають абсорбції. Але навіть при всіх цих перешкодах оксид графену набагато ефективніше і швидше, ніж сорбенти, що традиційно застосовуються для радіоактивного очищення, - бентонітові глини і гранульований активоване вугілля. Радіоактивні домішки випадали в осад за лічені хвилини.

За словами Джеймса Тура, ідея використовувати оксиду графену для радіоактивної очищення і провести для цього спільні експерименти виникла кілька років тому, коли його аспірант Олександр Слесарев і Анна Романчук, аспірантка з лабораторії Калмикова, випадково зустрілися на одній з конференцій.

Одним з головних напрямків цієї спільної роботи було витяг з розчинів радіоактивних ізотопів актинідів і лантанодів. Ці тридцять елементів таблиці Менделєєва є сімейством так званих рідкоземельних металів. Наявність в їх рудах і розчинах радіоактивних ізотопів робить видобуток «рідкісних земель» дуже шкідливим для здоров'я заняттям. У США, наприклад, вона практично заборонена через невідповідність екологічним вимогам, хоча «рідкісні землі» потрібні для електроніки і, зокрема, для мобільних телефонів у все більших кількостях. У Китаї таких екологічних заборон не існує, і не в останню чергу через їх відсутність він сьогодні став монополістом у

видобутку рідкоземельних металів. Можливо, застосування графену для очищення рідких земель зможе істотно послабити цю монополію.

Що ж стосується фрекінгу, про який говорив Джеймс Тур, то тут справа теж впирається в радіонукліди природного походження. В ході цього процесу в горизонтальну шахту заганяється під тиском суміш води, піску і ряду хімічних з'єднань. Під впливом цієї суміші внутрішня поверхня сланцевих штреків розтріскується, і, коли вона висмоктується з шахти, слідом за нею з тріщин починають надходити вивільнені газ або нафта. Це дуже дорога і не екологічна процедура, шкідливість якої визначається в тому числі і радіонуклідами, витягнутими на поверхню разом з водою, яку теж можна очищати оксидом графена.

Однак адсорбційні властивості ГО можуть бути істотно покращені шляхом застосування домішок наночастинок, органічних з'єднань або полімерів. Наприклад із застосуванням поліаніту.

Поліанілін (PANI) має високу стійкість до важких металів завдяки наявності великої кількості аміно- та іміно-функціональних груп.

Хлоп'я ГО можуть бути отримані різними методами, зокрема методом Хаммерса.

Методика Хаммерса [14], заснована на використанні безводної суміші концентрованої сірчаної кислоти, нітрату натрію та перманганату калію. Согласно роботі, 100 г мелкодисперсного графітного порошку та 50 г натрію натрію вводяться в 2,3 л технічної сірної кислоти та ретельно змішуються при температурі 0°C. Вподальшому, продовжуючи змішування, в суспензію повільно додають 300 г перманганату калію, стежте за тим, щоб температура не піднімалася вище 20°C. Після цього в суспензії протягом 30 хвилин при температурі 35°C проводять реакцію окислення. Реакція супроводжується збільшенням об'єму суміші і виділенням бульбашок. Після завершення реакції суспензія набуває тістоподібну структуру та сіро-коричневий колір.

Паста заливається 4,6 л. води при змішуванні, що призводить до бурхливого газоутворення та підвищенню температури до 98°C. При цій

температурі отримана суспензія витримується протягом 15 хв. По закінченню зазначеного часу суспензія заливається 14 л води, що містить 3% перекису водню, що сприяє відновленню залишків перманганату калію та марганцю оксиду до безцветного розчинного сульфату марганцю. У результаті обробки перекисом водню суспензія набуває ярко-жовтого кольору.

Фільтрація суспензій призводить до утворення жовто-коричневої маси, багатогранне промивання якого в більшій кількості теплової води дозволяє позбавитися практично від усіх домішок і одержати суспензію чистої оксиду графіту у воді. Для обезводнення матеріалу використовують центрифугою з подальшою вакуумною обробкою при 40°C в присутності фосфорного ангідриду. Хімічний склад отриманого оксиду графіту визначається на підставі аналізу продуктів згорання матеріалу. Досліди показують, що матеріал містить 47% вуглецю, 28% кисню та 23% води та домішки золи (на рівні 2%).

Шари оксиду графену, що містяться в водній суспензії, володіють значним негативним зарядом, що обумовлено приєднанням присутніх у воді катіонів. Це призводить до електростатичного відбивання графенових шарів у воді, що облегшує їх розділення та підвищує стабільність суспензії.

Мелкодисперсний оксид графіту, отриманий за допомогою модифікованого методу Хаммерса [14], заливався водою підвищеної ступені очищення до утворення коричневої суспензії, яка потім піддавалася діалізу з метою повного видалення залишків солей і кислот. Концентрація суспензії складала 0,05% по масі. Розподіл оксиду графіту на ОГ пройшов у результаті УЗО суспензії протягом 30 хв. З метою видалення частинок оксиду графіту, що не пройшли розтину, суспензія протягом 30 хвилин піддавалася центрифугуванню з частотою 3000 оборотів у хвилину (радіус ротора становив 14 см). З метою подальшого відновлення графену з ОГ 5 мл суспензії змішали в ампулі з 5 мл води, 5 мл 35%-ного водного розчину гідразину та 35 мл 28% - ого водного розчину аміаку. Масове співвідношення гідразину к ОГ складало 7:10. Після змішування протягом декількох хвилин

ампула поміщалася в водяну баню, де трималася протягом години при $\sim 95^{\circ}$ С. Отриманий таким способом суспензія, що містить графенові листи, використовувалася далі для вивчення та отримання плівок. Після завершення процедури відновлення залишків гідразину видаляються за допомогою діалізу.

Для отримання графенової паперу суспензія піддана фільтрації з використанням фільтра діаметром 47 мм із розміром пор 0,2 мкм.

Отримані зразки листів графен, заповнюючих суспензію, досліджені методами спектроскопії в ультрафіолетовій (УФ) і видимої області в режимі поглинання і пропускання. У процесі відновлення графенових листів їх середній розмір безперервно змінюється за допомогою аналізатора часток. Спектри відображення графічних плівок вимірювалися методом ІК фур'є-спектроскопії. Для отримання образів листів графена використовується АСМ, що працює в режимі пропуску.

Дослідження показують, що стабільність суспензії вельми чутлива до наявності залишкових домішок солей металу і кислот, які часто присутні у вихідному оксиді графіту. Ці домішки можуть нейтралізувати заряд графенових шарів, що призводить до погіршення стабільності. З метою збільшення щільності заряду на графенових листах до вихідного розчину додається аміак, присутність якого підвищує значення рН до 10. Летючий аміак легко видаляється з зразків графену в процесі формування плівок або композитів. Підвищення значення рН розчину сприяє також надмірний вміст гідразину, який, однак, обмежений у застосуванні в силу своєї токсичності.

Було встановлено, що в процесі відновлення графенові шари, що знаходяться на межі вода/повітря, виявляють тенденцію до агломерації.

Оксиди графену, а також композити на їх основі - перспективні матеріали для контролю навколишнього середовища (в першу чергу це стосується промислових відходів). В окремих випадках їх можна розглядати як резервний матеріал для екстреного знезараження повітря і рідких відходів. Функціональні групи на краях і в площині оксидів графену здатні як до

ковалентної, так і до не ковалентної взаємодій з різними молекулами. Більш того, значна за величиною питома поверхня оксидів графену дозволяє поглинати істотні кількості іонів важких металів і органічних спецій. Завдяки особливостям приповерхневої хімії і різних типів архітектури конгломератів на основі оксидів графену, є численні можливості для селективних каталітичних процесів розкладання шкідливих газів на безпечні похідні. У цьому оксиди графену на порядки перевершують активне вугілля, яке так добре себе зарекомендувало в індивідуальних протигазах і фільтрах під час двох світових війн.

В екологічному аспекті оксиди графену в найближчій перспективі актуальні як прекоцентранти трасової кількостей шкідливих речовин - в цілях моніторингу всіх компонентів навколишнього середовища. Благо великих кількостей сорбенту і не буде потрібно, оскільки останнім часом добрий розвиток отримав метод так званої дисперсійної мікроекстракції твердою фазою - *dispersive micro-solidphaseextraction* (DMSPE). Цей метод дозволять надійно визначати іони важких металів в концентрації близько 1нг/мл.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі розглянуті існуючі методи дезактивації об'єктів, забруднених радіонуклідами. Звернено увагу на перспективи використання таких новітніх матеріалів як графен та оксид графену для дезактивації.

Механізм дезактивації за допомогою графену полягає в адсорбції поверхнею графену атомів радіоактивного ізотопу і пов'язаний з надлишковою концентрацією та підвищеною енергією активних центрів.

Застосування розчинів графену або його оксиду для дезактивації забруднених радіонуклідами та важкими металами рідин має велику перспективу завдяки вражаючим адсорбційним властивостям графену та його стійкості до радіаційного випромінювання, та можливості переробки в подальшому використаного графену і вилучення поглинених речовин.

Використання оксиду графену дозволяє зробити значно доступнішими адсорбційні технології з використанням графену.

Графеновий папір може мати гарні перспективи при застосуванні його як фільтрувального паперу у фільтрах для дезактивації та загального очищення повітря.

Проте, ці технології поки що досить коштовні та недостатньо розвинуті для застосування у промислових масштабах, тому потребують наступного дослідження та розвитку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лисичкин В.А., Шелепин В.А., Боїв Б.В. Захід чи цивілізації рух до ноосфери (екологія з різних сторін). М.: ЦГ-Гарант, 1997. 352 с.
2. Міллер Т. Життя у навколишньому середовищі / Пер. с англ. У 3 т. Т.1. М., 1993; Т.2 М., 1994. Т.2. М; 1993.
3. Авсеенко В.Ф. Дозиметрические и радиометрические приборы и измерения. Киев: Урожай, 1990. 144 с.
4. Основные способы дезактивации: перечисление, краткая характеристика [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://students-library.com/ua/library/read/31078-osnovnye-sposoby-dezaktivacii-perechislenie-kratkaa-harakteristika>
5. Вейко В.П., Шахно Е.А., Смирнов В.Н., Мясковский А.М., Боровских С.С., Никишин Г.Д. Лазерная дезактивация металлических поверхностей // Оптический журнал. 2007. Т. 74, № 8, С. 33-36.
6. Графен [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.material.osngrad.info/node/60>.
7. Графен: методи отримання та теплофізичні властивості [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://ufn.ru/ufn11/ufn11_3/Russian/r113a.pdf.
8. Yubing Sun, Dadong Shao, Changlun Chen, Shubin Yang, and Xiangke Wan. Highly Efficient Enrichment of Radionuclides on Graphene Oxide- Supported Polyaniline. Environ. // Sci. Technol. 2013. Vol. 47. P. 9904-9910.
9. Теория полимолекулярной адсорбции (Теория БЭТ) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://sites.google.com/site/kolloidnaahimia/adsorbciia-svistat-vseh-na-poverhnost/teoria-polimolekularnoj-adsorbicii-teoria-bet>
10. Курятников В.В. Роль поверхностных свойств диспергированного угля в процессах его воспламенения // Физика горения и взрыва. 1983. Т. 19, № 5. С. 18-21.
11. Герасимов О.І., Кільян А.М., Андріанова І.С., Курятников В.В., Співак А.Я. Технології дезактивації радіаційних забруднень за допомогою новітніх матеріалів: адсорбція у графенових матрицях // Матеріали

НАЦІОНАЛЬНОГО ФОРУМУ «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (22-23 листопада 2018, м. Київ), С. 189-194.

12. Кібяков В.І., Кільян А.М., Андріанова І.С. Сучасні технології дезактивації забруднених об'єктів: дисперсія технологічних фаз графену // Збірник тез студ.наук.конф. (м.Одеса, 15-18 квітня, 2019р.), ОДЕКУ, 2019, С. 374-375.

13. A.Yu.Romanchuk, A.S.Slesarev, S.N.Kalmykov, D.V.Kosynkin and J.M.Tour. Graphene oxide for effective radionuclide removal // Phys. Chem. Chem. Phys. 2013. Vol. 15. P. 2321-2327. <http://dx.doi.org/10.1039/C2CP44593J>

14. Hummers W.S. (Jr.), Offeman R.E. Preparation of graphitic oxide // Journal American Chemistry Society. 1958. Vol. 80(6). P. 1339-1339.