

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ВИКОРИСТАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ В ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ

Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання
для студентів спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія

Друкується за Планом видань навчальної та методичної літератури,
затвердженим Вченою радою ІПБТ УДУНТ
Протокол № 1 від 24.01.2022

ЕЛЕКТРОННИЙ АНАЛОГ ДРУКОВАНОГО ВИДАННЯ

Дніпро 2022

УДК 620.3

Використання наноматеріалів в хімічній технології : робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання для студентів спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія / уклад. М. С. Чемеринський. – Дніпро : Україн. держ. ун-т науки і технол., 2022. – 19 с.

Наведені загальні методичні вказівки, рекомендації до вивчення дисципліни, рекомендована література, індивідуальні завдання та методичні вказівки до їх виконання.

Призначена для студентів спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія заочної форми навчання.

Укладач М. С. Чемеринський, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск М. С. Чемеринський, канд. техн. наук, доц.

Підписано до друку 20.06.2022. Формат 60x84 ¹/₁₆. Папір друк. Друк плоский.
Облік.-вид. арк. 1,11. Умов. друк. арк. 1,09. Замовлення № 61.

Український державний університет науки і технологій
49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2

Редакційно-видавничий відділ УДУНТ

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Робоча програма, методичні вказівки до вивчення дисципліни «Використання наноматеріалів в хімічній технології».....	5
2 Основні положення дисципліни «Використання наноматеріалів в хімічній технології».....	9
3 Індивідуальні завдання.....	17

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Використання наноматеріалів в хімічній технології» входить до циклу вибіркових дисциплін підготовки магістрів за освітніми програмами «Хімічні технології палива та вогнетривів» та «Переробка нафти та газу», спеціальність 161 – Хімічні технології та інженерія.

Мета вивчення дисципліни – ознайомлення з класифікацією нанокерамічних матеріалів і різних видів нановуглецевих матеріалів, галузями їх застосування, основними методами та технологічним устаткуванням для їх отримання, методами та приладами дослідження і визначення показників властивостей.

В результаті вивчення дисципліни студент повинен знати та вміти:

- принципи класифікації наноматеріалів за геометричною розмірністю, функціональному призначенню;
- галузі застосування наноматеріалів та використання наноматеріалів у хімічній технології;
- способи отримання нанопорошків та консолідованих наноструктурних керамічних матеріалів;
- основні технологічні переділи при отриманні наноматеріалів та апаратурне оформлення технологічних процесів;
- особливості механічних термомеханічних, хімічних, електрофізичних, оптичних властивостей наноматеріалів;
- методи та прилади досліджень та визначення якісних властивостей наноматеріалів
- визначати доцільність використання наноматеріалів для різних галузей промисловості;
- обирати наноматеріали для процесів каталізу в хімічній технології;
- розраховувати продуктивність реакторів різних типів призначених для зростання вуглецевих наноматеріалів;
- обирати методи та прилади для дослідження наноматеріалів.

1 РОБОЧА ПРОГРАМА, МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ «ВИКОРИСТАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ В ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ»

Розподіл навчальних годин за семестрами і видами занять з дисципліни «Використання наноматеріалів в хімічній технології» наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

	Разом
Усього годин за навчальним планом, у тому числі:	120
- аудиторні заняття з них:	16
- лекції	8
- практичні заняття	8
Підсумковий контроль	Екзамен

Рекомендована література

1. Ковтун Г. П., Вережкін А. А. Наноматеріали: технології і матеріалознавство: Обзор. Харків : ННЦ ХФТИ, 2010. 73 с.
2. Елисеєв А. А., Лукашин А. В. Функциональные наноматериалы / Под. ред. Ю. Д. Третьякова. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. 456 с.
3. Пивоварова Н. А. Гетерогенный катализ в нефтепереработке : учебное пособие. Астрахань : Изд-во АГТУ, 2015. 196 с.
4. Раков Э. Г. Нанотрубки и фуллерены : учебное пособие. М. : Изд-во «Университетская книга», 2006. 259 с.
5. Харрис П. Углеродные нанотрубки и родственные структуры. Новые материалы XXI века. М : Техносфера, 2003. 336 с.
6. Левашова А. И, Кравцов А. В. Химическая технология углеродных материалов : учебное пособие. Томск : Изд-во ТПУ, 2008. 112 с.
7. Мищенко С. В., Ткачев А. Г. Углеродные наноматериалы. Производство, свойства, применение. М. : Машиностроение, 2008. 320 с.
8. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы. Под. ред. В. В. Лучинина, Ю. М. Таирова. М. : Физматлит, 2006. 342 с.

9. Куцова В. З., Котова Т. В. Вуглецеві наноматеріали : навч. посібник. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2014. 61 с.

10. Экологическая безопасность наночастиц, наноматериалов и нанотехнологий : учеб. пособие / Т. А. Трифонова, Л. А. Ширкин. Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. 64 с.

Структура дисципліни

Тема 1. Загальна характеристика, види та властивості наноматеріалів галузі застосування

1. Загальна характеристика наноматеріалів і нанотехнологій.

Історія розвитку наноматеріалів і наоіндустрії. Основні термінологічні поняття. Види класифікацій наноматеріалів та їх особливі властивості.

2. Фізико-технічні властивості та галузі застосування наноматеріалів.

Показники властивостей наноматеріалів за їх функціональним призначенням. Розмірна залежність фізичних властивостей наноматеріалів. Нанокераміка конструкційного і функціонального призначення: класифікація, фізико-технічні показники властивостей. Основні галузі застосування наноматеріалів і нанотехнологій; використання наноматеріалів у процесах хімічної технології, переробки нафти. Перспективи розвитку наноматеріалів.

Література: [1, с. 56-70; 2, с. 401-420; 3, с. 80-110].

Тема 2. Методи та процеси отримання нанокерамічних матеріалів

1. Методи отримання нанопорошків та нанокерамічних матеріалів

Загальна характеристика методів отримання нанопорошків неметалевих матеріалів. Залежність властивостей нанорозмірних порошків в залежності від способу отримання. Нанопорошки для отримання оксидної кераміки нового покоління.

2. Основні процеси технології. Інноваційні методи високоінтенсивної дії в технології отримання нанокераміки.

Приготування сумішей і мас, методи консолідації нанопорошків для формування нанокерамічних виробів, їх переваги і недоліки. Процеси спікання та змінення наноструктур при випалі нанокераміки. Особливості технології отримання нанокераміки з використанням високоінтенсивної дії плазмового збудження, магнітно-імпульсного компактування, спікання кераміки у високочастотному електричному полі, модифікування виробів за допомогою електронно-іонних пучків. Взаємозв'язок параметрів виготовлення нанокерамічних матеріалів із показниками їх властивостей.

Література: [2, с. 380-398; 4, с. 150-178; 5, с. 230-265].

Тема 3. Вуглецеві наноматеріали.

1. Вуглецеві наноматеріали. Фулереноподібні форми вуглецю.

Основні види вуглецевих наноматеріали, їх загальна класифікація та галузі застосування. Алотропні форми вуглецю (алмаз, графіт, карбін), особливості їх будови та класифікаційні схеми. Будова та номенклатура фулеренів. Фізичні та хімічні властивості. Схема утворення фулерену C₆₀ за моделлю «складання з кілець». Методи отримання та механізми формування фулеренів. Синтез фулеренів у полум'ї. Методи виділення фулеренів із фулереноподібної сажі. Розчинність фулерена C₆₀ в різних розчинниках. Отримання тонких плівок фулериту C₆₀. Синтез монокристалів фулериту C₆₀. Особливості будови фулеридів. Застосування фулереноподібних структур.

2. Вуглецеві нанотрубки та методи їх синтезу.

Структура і види вуглецевих нанотрубок. Способи класифікації нанотрубок. Топологічні і метричні характеристики нанотрубок. Фізичні, хімічні та сорбційні властивості нанотрубок. Графен: будова, структурні особливості графенового листа, властивості. Метод лазерного випаровування (абляції). Методи газозфазного осадження. Піроліз вуглеводнів та різновиди методу. Методи хімічного осадження із газової фази (CVD);

плазмостимульоване осадження із газової фази (PECVD) та різновиди реакторів установок PECVD. Параметри зростання вуглецевих наноструктур. Проблеми, що виникають при зростанні вуглецевих наноструктур за методами CVD і PECVD.

3. Вуглецеві нановолокна.

Вуглецеві нановолокна: геометричні структури, показники властивостей нановолокон, вихідні матеріали, способи синтезу та технологічні параметри. Технологічні схеми і процеси отримання вуглецевих наноструктурних ниткоподібних утворень полікристалічного графіту у вигляді багат шарових пакетованих нанотрубок з переважно конічною формою графенових шарів (торгівельна марка «Тауніт»). Застосування нановолокна для модифікації виробів у хімічній технології.

Література: [6, с. 80-98; 7, с. 170-189; 8, с. 210-245; 9, с. 20-45].

Тема 4. Апарати для отримання та зростання вуглецевих наноматеріалів.

1. Моделювання продуктивності реакторів різних типів призначених для зростання вуглецевих наноматеріалів.

Види апаратів для отримання вуглецевих наноматеріалів у різні способи. Апаратурно-технологічні схеми виробництва вуглецевих наноматеріалів.

Література: [7, с. 73-123; 10, с. 22-43].

Перелік тем лабораторних робіт

1. Визначення фізико-технічних показників властивостей нанокерамічних каталізаторів.
2. Дослідження структури нанокераміки, отриманої за FAST методом.
3. Моделювання продуктивності реакторів різних типів призначених для зростання вуглецевих наноматеріалів.

Індивідуальні завдання

1. Методи (за завданням) та прилади дослідження наноматеріалів.
2. Розрахунок виходу вуглецевого наноматеріалу в реакторах різних типів із шаром сипучого каталізатору.

2 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

"ВИКОРИСТАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ В ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ

Нанотрубки, властивості та застосування.

Вуглецеві нанотрубки – протяжні циліндричні структури діаметром від одного до декількох десятків нанометрів і завдовжки до декількох мікрон складаються з однієї або декількох згорнутих в трубку гексагональних графітових площин (графенів) і закінчуються зазвичай півсферичною головкою.

Нанотрубки вуглецю – трубчасті наноутворення вуглецю. Виявлені у 1991 р. Бувають одно- і багат шарові. Відповідно діаметр цих трубок знаходиться у межах 0,4–500 нм, а довжина від 1 мкм до декількох десятків мікрометрів (при синтезі довгих волокон – і до десятків см). Утворюються при розкладанні вуглецевмісних газів (CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 , CO , парів C_6H_6 і т.д.) на каталітично активних поверхнях металів (Fe, Co, Ni тощо) при температурах 300-1500 °С. Нанотрубки вуглецю можуть набувати найрізноманітніших форм – від прямолінійних до скручених волокон (у т.ч. спіралей). Головна особливість цих вуглецевих наноструктур (як і фулеренів) – їх каркасна форма. Виявлені природні форми нанотрубки вуглецю (напр., у шунгітах), а також можуть продукуватися штучно. При цьому встановлено, що природні нанотрубки вуглецю утворюються при обробці вуглецевмісних біологічних тканин особливим грибок – карбоксиметилцелюлофагом, який виявлений, зокрема, в карстових печерах Нової Зеландії і в Карелії (родовище шунгіту).

Міцнісні властивості. Нанотрубки вуглецю дуже міцні як на розтяг, так і на згинання – модуль пружності вздовж осі трубки складає 7000 ГПа, тоді як для легованої сталі і найбільш пружного металу ітрію відповідно 200 і 520 ГПа.

Адсорбція газів нанотрубками може відбуватися на зовнішніх і внутрішніх поверхнях, а також у міжтрубному просторі. Так, експериментальне вивчення адсорбції азоту при температурі 77 К на багат шарових трубках із мезопорами завширшки $4,0 \pm 0,8$ нм показало, що на внутрішній поверхні адсорбується у 5 разів більше частинок, ніж на зовнішній, а ізотерми цих процесів мають різний вигляд. Адсорбція у мезопорах загалом відбувається за класичною теорією капілярної конденсації, а обчислений діаметр пор дорівнює 4,5 нм. Певна специфічність процесу пов'язана із тим, що трубки відкриті тільки з одного кінця. Зростки одношарових нанотрубок добре адсорбують азот. Вихідні очищені трубки мали внутрішню питому поверхню 233 м²/г, зовнішню – 143 м²/г. Обробка нанотрубок соляною та азотною кислотами збільшувала сумарну питому поверхню і збільшувала адсорбційну ємність за бензолом та метанолом.

Електропровідність вуглецевих нанотрубок є ключовим параметром цих об'єктів, від неї залежить їх подальше використання з метою мініатюризації приладів мікроелектроніки. Як показують результати чотириконтактних вимірювань температурних залежностей питомого опору плівки нанотрубок, виконаних в діапазоні температур $0,03 < T < 300$ К, величина опору, виміряного у напрямку, що співпадає з напрямком орієнтації нанотрубок $R_{\text{раг}}$, знаходиться у діапазоні від 1 до 0,08 Ом. При цьому характер температурної залежності опору наближений до залежності $T^{1/2}$. Аналогічною функцією описується температурна залежність опору $R_{\text{раг}}$, що вимірюється у поперечному напрямку. Анізотропія опору $R_{\text{регр}}/R_{\text{раг}}$ наближена до 8 і практично не залежить від температури. При температурах нижче 0,1 К обидві залежності виходять на насичення. Як видно із порівняння результатів вимірювань із наведеними нижче даними, що отримані для індивідуальних нанотрубок, значення питомого опору плівки нанотрубок суттєво перевищує величину, яка

характеризує індивідуальну нанотрубку, питомий опір якої, у свою чергу, близький до відповідного значення для графіту. Звідси випливає, що питомий опір плівки нанотрубок визначається не стільки самими нанотрубками, скільки точками контакту між окремими нанотрубками, так що за перенос заряду відповідає стрибковий механізм. Наявність анізотропії вказує на те, що число точок контакту на одиницю довжини в повздовжньому напрямку значно менше, ніж у поперечному. Падіння опору із ростом температури вказує на активаційний характер стрибкового переносу заряду. При дуже низьких температурах головним механізмом провідності залишається квантове підбар'єрне тунелювання, що обмежує опір. Обробка експериментальних даних дозволила оцінити висоту потенціального бар'єру (10 меВ) та довжину стрибка (10 нм).

Одна з помітних властивостей нанотрубок – чітко виражена залежність електропровідності від магнітного поля. При цьому у більшості дослідів спостерігається ріст провідності із збільшенням магнітного поля, що відповідає результатам модельних передбачень, згідно з якими магнітне поле, лінії якого орієнтуються перпендикулярно до осі зразка, призводить до утворення рівня Ландау у точці перетину валентної зони та зони провідності. Щільність станів на рівні Фермі зростає, внаслідок чого провідність збільшується. У рамках даної моделі передбачається, що за низьких температур магнітоопір не залежить від температури, а за температур, що більші або наближені до ширини рівня Ландау, він зменшується із температурою. Ця залежність корелює із результатами вимірювань електричного опору джгутів багат шарових трубок діаметром близько 50 нм. Прояв властивостей напівпровідника або металу в нанотрубках вуглецю також залежить від їх геометричних параметрів і виду каталізатора.

Класифікація нанотрубок. Як випливає з визначення, основна класифікація нанотрубок проводиться за способом згортання графітової площини. Цей спосіб згортання визначається двома числами n і m , які задають розкладання напряму згортання вектору трансляції графітових ґраток.

За значенням параметрів (n , m) розрізняють: прямі (ахіральні) нанотрубки «крісло» (armchair) $n=m$; зигзагоподібні (zigzag) $m=0$ або $n=0$; спіральні (хіральні) нанотрубки.

Як неважко здогадатися, при дзеркальному відображенні (n , m) нанотрубка переходить в (m , n) нанотрубку, тому, трубка загального вигляду дзеркально несиметрична. Прямі ж нанотрубки або переходять в себе при дзеркальному відображенні (конфігурація «крісло»), або переходять в себе з точністю до повороту.

Розрізняють металеві і напівпровідникові нанотрубки. Металеві нанотрубки проводять електричний струм навіть при абсолютному нулі температур, тоді як провідність напівпровідникових трубок рівна нулю при абсолютному нулі і зростає при підвищенні температури. Технічно кажучи у напівпровідникових трубок існує заборонена зона. Трубка виявляється металевою, якщо $n-m$ ділиться на 3. Зокрема, металевими є всі трубки типу «крісло». Детальніше див. розділ про електронні властивості нанотрубок.

Одношарові і багатошарові нанотрубки. Сказане відноситься до простих одношарових нанотрубок. У реальних умовах трубки нерідко виходять багатошаровими, тобто є декількома одношаровими нанотрубками, вкладені одна в іншу (так звані «російські матрьошки»).

Одношарові та багатошарові коаксіальні нанотрубки утворюються в результаті згортання смуг плоских атомних сіток графіту у безшовні циліндри. Внутрішній діаметр вуглецевих нанотрубок може змінюватися від 0,4 до кількох нанометрів, а у внутрішній об'єм можуть входити інші сполуки. Одношарові трубки мають менше дефектів, а після високотемпературного випалення в інертній атмосфері можна отримати і бездефектні трубки. Тип будови трубки впливає на її хімічні, електронні та механічні властивості. Індивідуальні трубки агрегують із утворенням різних типів зростків, що мають щілини.

Багатошарові нанотрубки відрізняються від одношарових більш широким набором форм та конфігурацій. Різні види будови виявляються як у

повздовжньому, так і в поперечному напрямі. Будова типу «російської матрьошки» (Russian dolls) являє собою сукупність коаксіально вкладених одна в одну одношарових циліндричних нанотрубок. Інший різновид цієї будови, являє собою сукупність вкладених одна в одну коаксіальних призм; остання з наведених структур нагадує сувій (scroll). Для всіх наведених структур характерне значення відстані між сусідніми графеновими шарами, близьке до величини 0,34 нм, що відповідає площинам кристалічного графіту. Реалізація цієї чи іншої будови у певній експериментальній ситуації залежить від умов синтезу нанотрубок.

Застосування вуглецевих нанотрубок. Унікальні властивості нанотрубок вуглецю обумовлюють їх перспективне використання в ряді галузей: як армуючих добавок в композиційних матеріалах, для одержання елетропровідних композиційних полімерів, як добавка в метали для одержання надпровідникових матеріалів, компонент холодних емісійних катодів в дисплеях, якісно нове джерело світла, напівпровідникові транзистори з р-п переходами, для виробництва особливих марок графіту, пористого графіту, сировина для виробництва теплоізоляційних матеріалів, як сорбент і сховище водню, як носій каталізаторів, для виготовлення вуглець-літієвих батарей і суперконденсаторів, як мікроелектрод, як мікрозонд і т.д. Надзвичайно продуктивними є хімічні і біологічні галузі застосування нанотрубок вуглецю.

Сфери, способи та можливості застосування нанотрубок численні і широкі. Навіть беручи до уваги те, що більша частина результатів останніх дослідів може бути невідома громадськості, вже зараз можна передбачити, що нанотрубки із часом стануть універсальним матеріалом для побудови багатьох об'єктів. Застосування нанотрубок можна розділити на кілька категорій за їх властивостями:

- 1) фізичні, наприклад, присадка до композитних матеріалів, що дозволяє створити із звичайного полімеру об'єкт із більшою міцністю і витривалістю, ніж із легованих сталей. Завдяки капілярним властивостям нанотрубок нині

створюють ємкості для водню, що дозволяє у десятки разів збільшити їх об'ємну ємність;

2) фізико-хімічні – тут відкривається цілий пласт невідомих реакцій та процесів, із часом нанотрубки стануть основним структурним елементом в електроніці та техніці.

Якщо глобально оцінювати застосування нанотрубок, то можна впевнено стверджувати, що ми стали свідками початку ще однієї технічної революції. В наступні десять років будуть створені нанороботи-репліканти, на основі нанотрубок та інших наноматеріалів. Головною метою їх створення є побудова інших роботів та структур із атомарною якістю. Важко досягнути всі можливості такої перспективи. Ми зможемо, наприклад, перемогти практично всі інфекційні, хронічні, генетичні хвороби, досить буде мати індивідуальну програму керування для нанороботів та один наноробот-репліканти. Він розмножить себе до достатньої кількості і згідно програми буде на молекулярному рівні відшукувати збудника хвороби і переробляти його, наприклад, на глікоген.

Графен. Перспективи застосування.

Графен (англ. graphene) – двовимірний алотропний модифікація вуглецю, утворена шаром атомів вуглецю завтовшки в один атом, що знаходяться в sp^2 -гібридації і з'єднаних за допомогою σ -і π -зв'язків в гексагональну двовимірну кристалічну решітку. Його можна представити як одну площину графіту, відокремлену від об'ємного кристала. За оцінками, графен володіє великою механічною жорсткістю і хорошою теплопровідністю. Висока рухливість носіїв заряду (максимальна рухливість електронів серед всіх відомих матеріалів) робить його перспективним матеріалом для використання в самих різних додатках, зокрема, як майбутню основу наноелектроніки і можливу заміну кремнію в інтегральних мікросхемах.

Основний з існуючих в даний час способів отримання графена в умовах наукових лабораторій заснований на механічному відщепленні або відлущуванні шарів графіту від високоорієнтованого піролітичного графіту (HOPG). Він

дозволяє отримувати найбільш якісні зразки з високою рухливістю носіїв. Цей метод не передбачає використання масштабного виробництва, оскільки це ручна процедура. Інший відомий спосіб – метод термічного розкладання підкладки карбїду кремнію – набагато ближче до промислового виробництва. Оскільки графен вперше був отриманий тільки в 2004 році, він ще недостатньо добре вивчений і привертає до себе підвищений інтерес. Через особливості енергетичного спектру носіїв графен проявляє специфічні, на відміну від інших двовимірних систем, електрофізичні властивості.

Отримання. Шматочки графена отримують при механічному впливі на високоорієнтований піролітичний графіт або киш-графіт. Спочатку плоскі шматки графіту поміщають між липкими стрічками (скотч) і розщеплюють раз за разом, створюючи досить тонкі шари (серед багатьох плівок можуть потрапляти одношарові і двошарові, які і становлять інтерес). Після злуцнення скотч з тонкими плівками графіту притискають до підкладки окисленого кремнію. При цьому важко отримати плівку визначеного розміру і форми у фіксованих частинах підкладки (горизонтальні розміри плівок становлять зазвичай близько 10 мкм). Знайдені за допомогою оптичного мікроскопа (вони слабо видні при товщині діелектрика 300 нм) плівки готують для вимірювань. Товщину можна визначити за допомогою атомно-силового мікроскопа (вона може змінюватись в межах 1 нм для графену) або використовуючи комбінаційне розсіяння. Використовуючи стандартну електронну літографію і реактивне полум'яне травлення, задають форму плівки для електрофізичних вимірів.

Шматочки графена також можна приготувати з графіту, використовуючи хімічні методи. Спочатку мікрочастинки графіту піддаються дії суміші сірчаної та соляної кислот. Графіт окислюється, і на краях зразка з'являються карбоксильні групи графена. Їх перетворюють на хлориди за допомогою тїонїлхлориду. Потім під дією октадециламіну в розчинах тетрагідрофурану, тетрахлорметану і дихлоретану вони переходять в графенові шари товщиною

0,54 нм. Цей хімічний метод не єдиний, і, змінюючи органічні розчинники і хімікати, можна отримати нанометрові шари графіту.

У статтях описаний ще один хімічний метод отримання графена, вбудованого в полімерну матрицю. Слід згадати ще два методи: радіочастотне плазмохімічне осадження з газової фази (англ. PECVD) і зростання при високому тиску і температурі (англ. HPHT). З цих методів лише останній можна використовувати для отримання плівок великої площі.

Якщо кристал піролітичного графіту і підкладку помістити між електродами, то, як показано в роботі, можна домогтися того, що шматочки графіту з поверхні, серед яких можуть виявитися плівки атомарної товщини, під дією електричного поля можуть переміщатися на підкладку окисленого кремнію. Для запобігання пробою (між електродами прикладали напругу від 1 до 13 кВ) між електродами також поміщали тонку пластину слюди. Існує також кілька повідомлень, присвячених отриманню графена, вирощеного на підкладках карбиду кремнію SiC (0001). Графітова плівка формується при термічному розкладанні поверхні підкладки SiC (цей метод отримання графена набагато ближче до промислового виробництва), причому якість вирощеної плівки залежить від того, яка стабілізація у кристала: C-стабілізована або Si-стабілізована поверхню – у першому випадку якість плівок вище. В роботах та ж група дослідників показала, що, незважаючи на те, що товщина шару графіту становить більше одного моношару, в провідності бере участь тільки один шар в безпосередній близькості від підкладки, оскільки на кордоні SiC-C через різниці робіт виходу двох матеріалів утворюється некомпенсований заряд. Властивості такої плівки виявилися еквівалентні властивостям графена.

Ідеальний графен складається виключно з шестикутних осередків. Присутність п'яти-і семикутної осередків буде призводити до різного роду дефектів. Наявність п'ятикутних осередків призводить до згортання атомної площини в конус. Структура з 12 такими дефектами одночасно відома під назвою фулерен. Присутність семикутних осередків призводить до утворення

сідлоподібних викривлень атомної площині. Комбінація цих дефектів і нормальних осередків може призводити до утворення різних форм поверхні.

3 ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

З метою закріплення матеріалу, розглянутого на лекційних, лабораторних і практичних заняттях, та самостійно вивчених розділів, студентом повинно бути виконане індивідуальне завдання. Як допоміжний матеріал при його виконанні використовуються підручники, навчальні посібники, конспекти лекцій, методичні вказівки до лабораторного практикуму, дані методичні вказівки. Робота повинна бути виконана самостійно й у повному обсязі, грамотно та акуратно, із наведенням необхідних рисунків і посиланням на літературні джерела.

Завдання повинно бути представлено в інститут до початку поточної сесії, перевірено викладачем і проведена робота над помилками. У методичних вказівках наведені варіанти індивідуальних завдань за кожним розділом. Варіанти індивідуальних завдань визначаються викладачем.

Загальний обсяг виконаного завдання має бути не більше 10–15 аркушів формату А4 друкованого тексту (шрифт 12, міжрядковий інтервал – 1,3; відступ – 20–25 мм) або рукописного тексту такого ж обсягу. Правильно виконане індивідуальне завдання зараховується після співбесіди студента з викладачем.

Індивідуальне завдання складається з 4-х теоретичних завдань (запитання 1–4). Номери запитань за визначеним варіантом для виконання індивідуального завдання за розділом.

Таблиця 3.1 – Варіанти теоретичних запитань індивідуальних завдань за розділом «Використання наноматеріалів в хімічній технології»

Варіант	Запитання			
	1	2	3	4
1	1	6	11	16
2	2	7	12	17
3	3	8	13	18
4	4	9	14	19
5	5	10	15	20

Запитання до індивідуального завдання

1. Загальна характеристика наноматеріалів і нанотехнологій.
2. Застосування наноматеріалів.
3. Фізико-технічні властивості та галузі застосування наноматеріалів.
4. Властивості та методи досліджень наноматеріалів.
5. Методи та прилади дослідження наноматеріалів.
6. Методи отримання нанопорошків та нанокерамічних матеріалів.
7. Основні процеси технології. Інноваційні методи високоінтенсивної дії в технології отримання нанокераміки.
8. Дослідження структури нанокераміки, отриманої за FAST методом.
9. Методи отримання нанокерамічних матеріалів: детонаційний синтез, літографія, осадження, золь-гель технологія.
10. Вуглецеві наноматеріали. Фулереноподібні форми вуглецю.
11. Вуглецеві нанотрубки та методи їх синтезу.
12. Вуглецеві нановолокна.
13. Застосування, властивості та перетворення наноалмазів.
14. Дослідження структури вуглецевих волокон і кристалічних нановуглецевих матеріалів.
15. Вуглецеві наноматеріали з вугілля: синтез та екологічні проблеми.
16. Моделювання продуктивності реакторів різних типів призначених для зростання вуглецевих наноматеріалів.
17. Апарати для отримання вуглецевих наноматеріалів.

18. Розрахунок виходу вуглецевого наноматеріалу в реакторах різних типів із шаром сипучого каталізатору.

19. Нанолітографія – метод отримання наноструктур: класифікація методів, оптична та електронно-променева літографія.

20. Екологічні та соціальні проблеми виробництва та застосування вуглецевих наноматеріалів.