

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ОСНОВИ НАНОТЕХНОЛОГІЙ**

Методичні вказівки  
до вивчення дисципліни  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
спеціальності G1 «Хімічні технології та інженерія» освітньої програми  
«Новітні технології стінових і оздоблювальних матеріалів»  
денної та заочної форм навчання

Київ 2025

УДК 658.512

О-78

Укладачі: М.В. Суханевич, д-р техн. наук, професор;  
О.П. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент

Рецензент К.О. Каверин, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск К.К. Пушкарьова, д-р техн. наук,  
професор

*Затверджено на засіданні кафедри будівельних матеріалів,  
протокол № 9 від 12 червня 2025 року.*

В авторській редакції.

**Основи** нанотехнологій : методичні вказівки до вивчення  
дисципліни / уклад. : М.В. Суханевич, О.П. Бондаренко. – Київ : КНУБА,  
2025. – 24 с.

Розглянуто зміст лекцій, лабораторних і практичних робіт,  
наведено запитання для самоконтролю до кожної теми лекцій і для  
підготовки до семестрового контролю, а також список рекомендованої  
літератури.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти спеціальності G1 «Хімічні технології та інженерія»  
освітньої програми «Новітні технології стінових і оздоблювальних  
матеріалів» денної та заочної форм навчання для засвоєння  
теоретичного курсу та підготовки до поточного, модульного і  
підсумкового семестрового контролю знань з дисципліни «Основи  
нанотехнологій».

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Курс «Основи нанотехнологій» відноситься до вибіркових дисциплін, які вивчають студенти спеціальності G1 «Хімічні технології та інженерія» на третьому році навчання. Він передбачає вивчення основ синтезу наноматеріалів, дослідження їхньої структури та властивостей, методів формування складних нанокомпозитних систем і наноматеріалів різного типу. Необхідність вивчення фізичних і хімічних процесів, які відбуваються у наноструктурних матеріалах, мотивується сучасними особливостями професійної діяльності хіміка-технолога, яка передбачає роботу з різними речовинами і пошук нових матеріалів з комплексом важливих характеристик.

Необхідність знань з основ нанотехнологій мотивується невпинно зростаючим використанням наноструктурних, наномодифікованих композиційних матеріалів у господарстві, техніці та будівництві.

**Метою** дисципліни є висвітлення основних наукових положень новітніх технологій, які покладено в основу праці з речовинами манометрового діапазону, вивчення взаємозв'язку складу, структури та властивостей композиційних будівельних матеріалів залежно від типу введеної до їх складу наноречовини; що є основами хімічних технологій одержання наноречовин та принципами і технологічними особливостями введення нанорозмірних речовин до традиційних будівельних композиційних матеріалів.

**Завданнями** дисципліни є ознайомлення з основами нанотехнології композиційних матеріалів, набуття системних знань з будови, методів синтезу та способів дослідження фізико-механічних і спеціальних властивостей нанорозмірних матеріалів різних типів. Це передбачає вивчення закономірностей внутрішньої будови наночастинок, кластерів та складних структурних сполук, включаючи нанокомпозити, а також фізичні і хімічні основи покращення параметрів, які визначають основні експлуатаційні характеристики матеріалів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати номенклатуру наночастинок різного типу, їх технології синтезу, технічні характеристики; хімічні технології виготовлення нанорозмірних речовин, технології наномодифікації композиційних будівельних матеріалів залежно від умов використання, експлуатації та з урахуванням економічної доцільності; сучасне обладнання та прилади для дослідження структури і властивостей наночастинок і нанокомпозитів; сучасні вимоги нормативної документації в галузі хімічних технологій та інженерії, будівництва. Студент

повинен вміти визначати основні властивості наноречовин за допомогою сучасних методів досліджень, встановлювати залежність властивостей наноматеріалів від технології їх синтезу для раціонального використання в складі будівельних композиційних матеріалів, ефективно використовувати технічні характеристики наноречовин та підбирати оптимальні методи їх синтезу під час проєктування композиційних матеріалів, проєктувати хімічні виробництва таких матеріалів; прогнозувати зміну властивостей наномодифікованих матеріалів, працювати з обладнанням та приладами для приготування і дослідження наноречовин і нанокомпозитів, використовувати сучасну нормативну документацію в галузі хімічних технологій та інженерії, будівництва. Оцінювати показники якості наноструктурованих та наномодифікованих матеріалів, виробів згідно з чинними стандартами.

Курс викладається відповідно до навчального плану протягом VI семестру на III курсі денної форми здобуття освіти.

Перевірка знань і умінь студентів здійснюється під час проведення поточного, модульного і підсумкового семестрового контролю знань з дисципліни «Основи нанотехнологій».

### **ОБСЯГ РОБОТИ СТУДЕНТІВ З ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ, ВИДИ РОБІТ І ФОРМИ КОНТРОЛЮ**

Обсяг роботи студентів з вивчення дисципліни, види робіт і форми контролю наведено у таблиці:

<b>Характеристика навчальної дисципліни</b>	
Вид навчальної роботи	Денна форма здобуття освіти
	VI семестр
Лекції (год)	16
Практичні заняття (год)	6
Лабораторні заняття (год)	8
Самостійна робота (год)	9
Індивідуальне завдання (к-ть)	1
Вид контролю (зал. чи екз.)	залік
Усього (годин)	39

**Примітка.** Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: для денної форми навчання – 3,33.

## ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### **Змістовний модуль 1. Основні поняття нанотехнологій. Класифікація і властивості нанорозмірних частинок.**

*Тема 1.* Вступ. Загальні поняття дисципліни. Наноматеріали та їх класифікація.

1. Предмет нанотехнологій та історія його виникнення. Наноефекти та наноб'єкти в природі. «Інтуїтивні нанотехнології».

2. Стан розвитку нанотехнологій у світі та різних країнах.

3. Основні напрями нанотехнологій. Зв'язок нанотехнологій з іншими науками.

4. Принципи класифікації наноматеріалів та наноречовин. Властивості наноматеріалів

Висновки.

### **Змістовний модуль 2. Наноматеріали, методи синтезу та дослідження структури.**

*Тема 2.* Технології отримання ізольованих наночастинок. Методи отримання структурованих наноматеріалів.

1. Основи технології наночастинок.

2. Фізичні методи отримання наночастинок.

3. Термічні методи отримання наночастинок.

4. Хімічні методи отримання наночастинок.

5. Осадження з газової фази.

6. Плівкові технології отримання.

7. Іонно-променева епітаксія.

8. Золь-гель технології.

Висновки.

*Тема 3.* Вуглецеві наноматеріали. Нанопорошки. Об'ємні наноматеріали.

1. Алотропні форми вуглецю. Методи отримання фулеренів. Властивості різних форм вуглецю.

2. Невуглецеві фулерени, неуглецеві нанотрубки. Отримання, властивості.

3. Графен та наноматеріали на його основі. Властивості, галузі застосування.

4. Матеріали та композити на основі карбонових нанотрубок. Нанотехнологічне застосування карбонових нанотрубок.

5. Композиційні матеріали на основі поруватого кремнію. Полімерні та композиційні матеріали на основі карбонових нанотрубок.

6. Принципи класифікації нанопорошків. Технології отримання нанопорошків. Структура та властивості нанопорошків. Застосування нанопорошків в промисловості.

7. Види об'ємних наноматеріалів. Особливості технологій їх отримання. Властивості об'ємних наноматеріалів. Застосування багатoshарових наноструктурних покриттів.

Висновки.

*Тема 4.* Методи дослідження наноструктур.

1. Класифікація методів дослідження наноструктур. Особливості діагностики нанооб'єктів.

2. Електронна мікроскопія.

3. Спектральні методи досліджень.

4. Скануючі зондові методи досліджень.

5. Магнітний резонанс.

Висновки.

### **Змістовний модуль 3. Наноматеріали, галузі їх застосування в техніці і будівництві.**

*Тема 5.* Основні галузі використання наноматеріалів та нанотехнологій.

1. Електроніка, оптоелектроніка.

2. Приладобудування, машинобудування.

3. Системи безпеки і військова галузь.

4. Біологія та медицина.

5. Будівельне матеріалознавство.

Висновки.

*Тема 6.* Нанокompозитні покриття, властивості, застосування.

1. Структура та властивості нанокompозитних покриттів.

2. Нанокompозитні покриття з підвищеною твердістю, надтверді покриття.

3. Перспективи застосування нанокompозитних покриттів.

Висновки.

*Тема 7.* Використання нанотехнологій у виробництві будівельних композиційних матеріалів.

1. Нанокераміка.

2. Наноскло.

3. Наноцемент.

4. Нанобетон.

5. Нанометали, наномодифікована композиційна арматура.

6. Нанополімерні конструкційні матеріали.
7. Нанофарби, нанолаки.
8. Нанопокриття на основі полімерів.

Висновки.

*Тема 8.* Потенціал та перспективи розвитку нанотехнологій.

1. Потенціал розвитку нанотехнологій.
2. Соціальні наслідки розвитку нанотехнологій.
3. Екологічні наслідки розвитку нанотехнологій.

Висновки.

## **ПОРАДИ ЩОДО ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

### **Змістовний модуль 1. Основні поняття нанотехнологій. Класифікація і властивості нанорозмірних частинок**

*Тема 1.* Вступ. Загальні поняття дисципліни. Наноматеріали та їх класифікація.

Вивчення є фундаментальним для розуміння подальших аспектів нанотехнологій. Рекомендується почати з ознайомлення з предметом нанотехнологій, їх історією та першими відкриттями у цій галузі. Особливу увагу варто звернути на поняття «наноефекти» і «наночастинки», які вже давно присутні в природі, а також на так звані «інтуїтивні нанотехнології», що формувалися впродовж століть людської діяльності без свідомого розуміння масштабів наноміру.

Далі варто розглянути сучасний стан розвитку нанотехнологій у світі, звертаючи увагу на провідні країни та регіони, які лідирують у цій галузі. Це допоможе усвідомити масштабність і важливість нанотехнологій як рушія інновацій, а також дасть змогу простежити тенденції та основні напрями розвитку, що визначають пріоритети науково-технічного прогресу.

Не менш важливо ознайомитись з основними напрямами нанотехнологій та їх тісним зв'язком з іншими науковими дисциплінами. Розуміння міждисциплінарної природи нанотехнологій сприятиме глибшому сприйняттю матеріалу і дасть змогу краще усвідомити, як знання з фізики, хімії, біології, матеріалознавства та інженерії об'єднуються для створення нових технологічних рішень.

Наступним кроком є вивчення принципів класифікації наноматеріалів та наноречовин. Важливо розуміти, за якими критеріями поділяють наноматеріали – за розміром, формою, структурою, хімічним складом тощо. Це допоможе краще орієнтуватися у різноманітті матеріалів, з якими доведеться працювати, і їхніх специфічних властивостях.

Окрему увагу слід приділити вивченню властивостей наноматеріалів, адже саме вони визначають їхнє унікальне застосування в науці і техніці. Порівняння наноматеріалів із їх макроскопічними аналогами допоможе зрозуміти, чому розмір має вирішальне значення для фізичних, хімічних і механічних характеристик матеріалів.

Література: [1, с. 5 – 15]; [2, с. 4 – 16].

### **Запитання для самоконтролю**

1. Що називають нанотехнологіями і наноматеріалами?
2. Які існують природні наноефекти і наноб'єкти?
3. Перерахуйте основні хронологічні етапи становлення нанотехнологій.
4. Що означають методи отримання наноматеріалів «згори вниз» та «знизу вгору»?
5. Вкажіть приклади «інтуїтивних» нанотехнологій.
6. Яка існує класифікація наноматеріалів?
7. У чому відмінність наноматеріалів від масивних матеріалів?
8. Назвіть основні критерії класифікації наноматеріалів.
9. У чому специфіка фізичних і хімічних властивостей наноматеріалів порівняно з традиційними аналогами? Покажіть на конкретних прикладах.
10. Дайте характеристику механічних та спеціальних властивостей наноматеріалів.

### **Змістовний модуль 2. Наноматеріали, методи синтезу та дослідження структури.**

**Тема 2.** Технології отримання ізольованих наночастинок. Методи отримання структурованих наноматеріалів.

Опанування теми потребує системного підходу та розуміння міждисциплінарної сутності процесів. Передусім важливо засвоїти базові принципи нанотехнологій, а саме: що таке наночастинка, чому її розмір впливає на фізико-хімічні властивості, та в яких галузях такі частинки знаходять практичне застосування. Вивчаючи основи, варто звернути увагу на особливості поверхневих ефектів, квантових явищ і методів структуризації на нанорівні.

Далі рекомендується детально ознайомитись з фізичними, термічними та хімічними методами синтезу. Порівнюючи їх, можна краще зрозуміти, у яких випадках доцільно застосовувати той чи інший підхід.

Наприклад, механічне подрібнення – це простий метод, але він рідко забезпечує точний контроль розміру частинок. Натомість хімічні методи, зокрема золь-гель синтез, дають змогу формувати частинки з контрольованими розмірами та морфологією за відносно м'яких умов.

Особливої уваги потребують методи осадження з газової фази, плівкові технології та іонно-променева епітаксія. Ці високотехнологічні процеси лежать в основі створення наноструктурованих покриттів і функціональних матеріалів з чітко заданими властивостями. Для їх кращого засвоєння рекомендується переглядати відео з лабораторних демонстрацій, а також аналізувати приклади застосування в мікроелектроніці, фотоніці та енергетиці.

Література: [1, с. 22 – 35]; [4, с. 26 – 41], [6, с. 16 – 65],

### **Запитання для самоконтролю**

1. Назвіть основні методи отримання наноматеріалів та вимоги до них.
2. Охарактеризуйте фізичні методи отримання наночастинок.
3. Назвіть основні термічні методи отримання наночастинок.
4. Опишіть хімічні методи отримання наночастинок.
5. Поясніть особливість фізичних методів отримання наноматеріалів. В чому їх переваги і недоліки?
6. Поясніть особливість хімічних методів отримання наноматеріалів. В чому їх переваги і недоліки?
7. Опишіть процес отримання наночастинок осадженням з газової фази.
8. Поясніть суть процесу іонно-променевої епітаксії.
9. Розкрийте плівкові технології отримання наночастинок. В чому їх переваги та недоліки?
10. Опишіть золь-гель процес як найпростіший спосіб отримання наноречовин заданого складу.

**Тема 3.** Вуглецеві наноматеріали. Нанопорошки. Об'ємні наноматеріали.

Вивчаючи цю тему, варто розпочати з глибокого розуміння алотропних форм вуглецю – від класичного графіту й алмазу до сучасних фулеренів, нанотрубок і графену. Зверніть увагу на структуру кожної форми, її стійкість, електронну конфігурацію та властивості. Фулерен та нанотрубки відкрили нову еру в матеріалознавстві, тому важливо знати не

лише, як їх отримують (дуговий метод, лазерне випаровування тощо), а й які унікальні можливості вони відкривають у науці та промисловості.

Не менш цікавою є група невуглецевих фулеренів і нанотрубок. Хоча вони менш відомі, ніж їхні вуглецеві аналоги, ці структури мають особливі електричні, магнітні або оптичні властивості. Рекомендується ознайомитись із сучасними методами їх отримання та потенційними напрямками застосування, особливо в галузі сенсорики, фотоніки та енергетики.

Окрему увагу приділіть графену – матеріалу, що поєднує простоту будови з надзвичайними властивостями. Його висока електропровідність, міцність і гнучкість роблять його ключовим у створенні гнучкої електроніки, енергозберігаючих пристроїв та новітніх датчиків. Вивчайте не лише сам графен, а й похідні матеріали на його основі, а також способи отримання – механічне відшарування, хімічне осадження, термічне розкладання тощо.

Карбонові нанотрубки, зокрема одно- та багатшарові, мають виняткову комбінацію властивостей, а саме: високу міцність, теплопровідність та хімічну стабільність. Їх часто використовують як наповнювачі в полімерних композитах, сенсорах, елементах мікроелектроніки.

Окремо варто розглянути нанопорошки та принципи їх класифікації. Зосередьтесь на способах отримання (механічне подрібнення, плазмохімічні методи, золь-гель синтез), структурних особливостях, розмірі частинок і характері поверхні. Ці знання допоможуть краще розуміти, чому нанопорошки використовуються в каталітичних системах, медицині, кераміці, металургії.

Завершуючи вивчення теми, зверніть увагу на об'ємні наноматеріали – це багатшарові, структуровані за напрямом матеріали, що поєднують макроскопічну форму зі структурою на нанорівні. Їх застосовують у авіації, біомедицині, нанофотоніці. Особливо корисно вивчити, як формується структура таких матеріалів і які технології дозволяють зберігати нанорівневу організацію під час масштабного виробництва. Розуміння цих процесів відкриває шлях до глибшого усвідомлення сучасних тенденцій у науці про матеріали.

Література: [5, с. 72 – 95]; [7, с. 4 – 345].

### **Запитання для самоконтролю**

1. Які основні види вуглецевих наноматеріалів ви знаєте і які їхні унікальні властивості?

2. Чим відрізняються нанопорошки від наночастинок у вигляді плівок або структурованих покриттів?
3. Які методи синтезу використовують для отримання вуглецевих нанотрубок?
4. Які основні застосування мають вуглецеві наноматеріали у сучасних технологіях?
5. Як структура і розмір наночастинок впливають на їхні фізико-хімічні властивості?
6. Що таке об'ємні наноматеріали і які їхні особливості порівняно з поверхневими?
7. Які технології застосовують для формування об'ємних наноматеріалів?
8. Які переваги дає використання нанопорошків у створенні композиційних матеріалів?
9. Як впливають наночастинки на механічні характеристики матеріалів, у яких вони містяться?
10. Які основні проблеми та виклики пов'язані з безпекою і екологією під час роботи з нанопорошками?

#### **Тема 4.** Методи дослідження наноструктур.

Для глибокого розуміння методів дослідження наноструктур важливо почати з загального огляду класифікації цих підходів. Розділіть методи на основні групи: візуалізаційні, спектроскопічні, зондові та резонансні. Зверніть увагу, що особливості нанооб'єктів – їхній малий розмір, велика питома поверхня та квантові ефекти – потребують спеціалізованих методів з високою роздільною здатністю. Тому розуміння принципів, на яких базуються ці методи, є ключем до їхнього ефективного використання.

Одним з найпотужніших інструментів дослідження наноструктур є **електронна мікроскопія**. Вивчіть відмінності між просвічувальною (TEM) та сканувальною (SEM) електронною мікроскопією, їхні можливості та обмеження. Зверніть увагу, що TEM дозволяє отримати надзвичайно високу роздільну здатність, але потребує дуже тонких зразків. SEM, у свою чергу, дає змогу досліджувати поверхню матеріалів у тривимірному вигляді. Практично важливо вміти інтерпретувати отримані зображення.

Наступним кроком є ознайомлення зі **спектральними методами досліджень**, зокрема інфрачервоною (ІЧ), Раманівською спектроскопією, а також УФ-спектроскопією. Ці методи дозволяють визначити хімічний склад, структуру зв'язків, ступінь кристалічності та інші характеристики матеріалів на нано-рівні. Цікаво порівняти, який метод краще підходить для

аналізу певного типу матеріалу. Особливо корисно вивчати приклади, коли ці методи застосовуються у поєднанні з мікроскопією.

Окрему увагу приділіть **скануючим зондовим методам**, зокрема атомно-силової мікроскопії (AFM) та скануючій тунельній мікроскопії (STM). Ці методи не тільки дозволяють візуалізувати поверхню наноматеріалів з атомарною точністю, але й досліджувати механічні, електричні та магнітні властивості. Варто розуміти, як працюють зонди, які типи сигналів реєструються, і чим відрізняються режими сканування. Вивчення цих методів допомагає поєднувати морфологічний аналіз із фізичними характеристиками зразків.

Також не варто оминати **методи магнітного резонансу**, зокрема ядерного магнітного резонансу (ЯМР) та електронного парамагнітного резонансу (ЕПР). Вони дозволяють вивчати локальне хімічне оточення атомів у структурі наноматеріалів, виявляти дефекти, вільні радикали та динаміку атомів у твердому стані. Ці методи є менш візуальними, проте надзвичайно інформативними і широко використовуються у хімії та біомедичних дослідженнях.

Література: [4, с. 142 – 215]; [6, с. 63 – 421].

### **Запитання для самоконтролю**

1. Які основні класи методів дослідження наноструктур існують і чим вони відрізняються?
2. У чому полягає особливість діагностики наноб'єктів порівняно з макроскопічними матеріалами?
3. Як працює електронна мікроскопія і які її основні типи застосовують для дослідження наноструктур?
4. Які переваги дає використання трансмісійної електронної мікроскопії (ТЕМ) порівняно з растровою (РЕМ)?
5. Що таке спектральні методи досліджень наноматеріалів і які види спектроскопії найбільш поширені?
6. Які принципи роботи скануючих зондових методів, таких як скануюча тунельна мікроскопія (STM) та атомно-силова мікроскопія (AFM)?
7. Які типи інформації можна отримати за допомогою магнітного резонансу під час вивчення наноструктур?
8. Як вибрати метод дослідження наноструктур залежно від типу матеріалу та мети аналізу?
9. Які основні обмеження і виклики існують у використанні методів

дослідження наноструктур?

10. Чому комбінація кількох методів дослідження часто є необхідною для повної характеристики наноматеріалів?

### **Змістовний модуль 3. Наноматеріали, галузі їх застосування в техніці і будівництві.**

**Тема 5.** Основні галузі використання наноматеріалів та нанотехнологій.

Починаючи вивчення теми, важливо усвідомити, що нанотехнології давно вийшли за межі наукових лабораторій – сьогодні вони активно впроваджуються у ключові сфери людської діяльності. Спробуйте розглядати кожну галузь не ізольовано, а як частину великої інноваційної екосистеми. Розуміння міжгалузевих зв'язків допоможе вам глибше оцінити значення наноматеріалів у сучасному світі.

У сфері електроніки та оптоелектроніки наноматеріали відкрили нові горизонти. Графен, квантові точки, нанопровідники та нанотранзистори дають змогу створювати гнучкі дисплеї, надшвидкі процесори та сенсори з високою чутливістю. Особливу увагу варто приділити тому, як зменшення розмірів елементів дозволяє змінити їх електронні властивості, а отже – досягти нових функціональних можливостей. Досліджуючи цю тему, зверніть увагу на те, як наноструктури впливають на ефективність фотоелементів та світлодіодів.

Не менш важливо розглянути використання нанотехнологій у приладобудуванні та машинобудуванні. Тут ключову роль відіграють нанопокриття, нанокompозити та нанопорошки, що забезпечують підвищену зносостійкість, міцність і термостабільність деталей. Варто проаналізувати конкретні приклади, наприклад, нанокерамічні покриття для турбін або наномодифіковані мастила, які зменшують тертя й збільшують ефективність механізмів. Зверніть увагу на те, як ці інновації впливають на тривалість експлуатації обладнання.

Цікавою є тема застосування нанотехнологій у системах безпеки та військовій галузі. Сюди входять як захисні нанопокриття, що роблять техніку непомітною в інфрачервоному діапазоні, так і надміцні наноструктуровані броні. Ознайомтеся з концепціями адаптивних матеріалів, які можуть змінювати свої властивості під впливом зовнішніх факторів. Не забудьте також про наноматеріали для систем розвідки, сенсорів та автономних мікропристроїв, що використовуються в сучасній військовій техніці.

У галузі біології та медицини наноматеріали стають справжньою

революцією. Їх використовують для адресної доставки ліків, створення біосумісних імплантів, діагностичних систем на основі наночастинок золота або срібла. Особливо важливо розуміти принципи взаємодії наноматеріалів з клітинними структурами та імунною системою. Варто звертати увагу і на етичні та безпекові аспекти використання нанотехнологій у медицині, адже це важлива частина сучасної наукової дискусії.

Окрему увагу варто приділити використанню наноматеріалів у будівництві та матеріалознавстві. Нанодобавки дозволяють створювати бетони з вищою міцністю, кращою морозостійкістю та самовідновними властивостями. Нанопокриття забезпечують захист від вологи, ультрафіолету, корозії. Спробуйте дослідити, як наноінженерія змінює уявлення про традиційні будівельні матеріали та допомагає створювати енергоефективні й довговічні конструкції. Це дозволить вам побачити, як нанотехнології впливають навіть на найконсервативніші галузі.

Література: [1, с. 432 – 515]; [8, с. 93 – 115].

### **Запитання для самоконтролю**

1. В яких сферах електроніки та оптоелектроніки застосовуються наноматеріали, і які властивості роблять їх цінними?
2. Які переваги дає використання наноматеріалів у приладобудуванні та машинобудуванні?
3. Як нанотехнології використовуються у системах безпеки та військовій сфері?
4. Які ключові напрями застосування нанотехнологій у біології та медицині?
5. Яким чином наноматеріали змінюють підходи до створення будівельних матеріалів?
6. Які властивості наноматеріалів дозволяють підвищувати ефективність електронних пристроїв?
7. Як наночастинки можуть впливати на механічні характеристики виробів у машинобудуванні?
8. У чому полягають основні переваги нанотехнологій для розвитку оборонної промисловості?
9. Які приклади використання наноматеріалів у медицині відомі для діагностики та лікування?
10. Які екологічні та економічні переваги можуть принести нанотехнології у будівельній галузі?

## **Тема 6.** Нанокompозитні покриття, властивості, застосування.

Вивчення теми нанокompозитних покриттів варто розпочати з розуміння їхньої **структури та принципів формування**. Зверніть увагу на те, що нанокompозитне покриття – це не просто багат шарова плівка, а складна система, в якій поєднуються різні компоненти на нано-рівні: матриця та наповнювач. Така мікроструктура дозволяє досягати нових, унікальних властивостей, які відсутні у звичайних матеріалах. Варто також зосередитись на типах зв'язку між наночастинками та матрицею, адже саме ці взаємодії визначають ефективність і стабільність покриття.

Особливу увагу приділіть механічним властивостям нанокompозитів, а саме: твердості, зносостійкості, адгезії. Сучасні нанокompозити можуть мати надтверді характеристики, наближаючись за міцністю до природного алмазу. Саме комбінація надтвердих фаз (наприклад, TiN, AlN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) з нанорозмірним розподілом забезпечує одночасно високу твердість і тривалу зносостійкість. Важливо не лише запам'ятати приклади таких матеріалів, а й зрозуміти механізми, які відповідають за їх зміцнення, тобто дисперсійне твердіння, гальмування дислокацій, обмеження росту зерен.

Досліджуючи тему, не ігноруйте термічну та хімічну стійкість нанокompозитних покриттів. Багато з них розробляються для використання в екстремальних умовах – за високих температур, в агресивному середовищі або під навантаженням. Тому важливо зрозуміти, як нанорозмірна структура допомагає уповільнити окислення або деформацію матеріалу. Проаналізуйте приклади, коли нанокompозитні покриття істотно продовжують термін служби інструментів або машин.

Не менш цікавою частиною теми є технології нанесення нанокompозитних покриттів. Вивчіть різні методи – від фізичного осадження з парової фази (PVD) до хімічного осадження (CVD) та плазмових технологій. Кожен з них має свої особливості, що впливають на морфологію покриття, його товщину, щільність та адгезію до підкладки.

Особливо захопливо **вивчати застосування нанокompозитних покриттів** у різних галузях. Сьогодні вони активно використовуються в авіації, електроніці, біомедицині, енергетиці та інструментальному виробництві. Наприклад, нанокompозитні покриття на основі вуглецевих нанотрубок використовуються в сенсорах і імплантах, а надтверді покриття – на різальних інструментах і захисних поверхнях.

Загалом, щоб ефективно опанувати цю тему, важливо не лише зазубрювати факти, а й будувати логічні зв'язки між структурою, властивостями та областю застосування нанокompозитних покриттів.

Література: [1, с. 516 – 525]; [3, с. 193 – 265], [4, с. 356 – 415]; [8, с. 116 – 120].

### **Запитання для самоконтролю**

1. Що таке нанокompозитні покриття і які їхні основні структурні особливості?
2. Які властивості надають нанокompозитні покриття матеріалам, що їх покривають?
3. Чим відрізняються нанокompозитні покриття з підвищеною твердістю від традиційних покриттів?
4. Які типи надтвердих нанокompозитних покриттів існують і в яких галузях їх застосовують?
5. Як нанокompозитні покриття впливають на зносостійкість і корозійну стійкість матеріалів?
6. Які методи нанесення нанокompозитних покриттів є найпоширенішими?
7. Які перспективи використання нанокompозитних покриттів у промисловості та медицині?
8. Як нанокompозитні покриття можуть покращити експлуатаційні характеристики інструментів та машин?
9. Які фактори визначають вибір конкретного нанокompозитного покриття для певної задачі?
10. Які екологічні та економічні переваги можуть мати нанокompозитні покриття порівняно з традиційними матеріалами?

**Тема 7.** Використання нанотехнологій у виробництві будівельних композиційних матеріалів.

Опанування цієї теми варто починати з усвідомлення ключової ролі нанотехнологій у сучасному будівельному матеріалознавстві. Наноматеріали дозволяють вдосконалити традиційні властивості конструкційних матеріалів – від міцності до довговічності. Рекомендується вивчити, як введення наночастинок змінює структуру матеріалу на мікро- та макрорівні.

Особливу увагу приділіть нанокераміці та наносклу – це матеріали, які поєднують у собі механічну міцність із термостійкістю та естетичністю. Нанокераміка використовується в облицювальних, фасадних елементах та термозахисті, а наноскло – у смарт-вікнах, захисних екранах і

архітектурному склінні. Вивчайте приклади, де наночастинки оксидів металів надають склу фотохромних або самоочисних властивостей.

У контексті наноцементу та нанобетону важливо розуміти, як нанодобавки впливають на гідратацію цементу, зменшують пористість і підвищують тріщиностійкість. Особливо зверніть увагу на нанокремнезем, графенові пластівці, нанофібри, які активно досліджуються як компоненти нових бетонів. Важливо простежити, як змінюються такі показники, як марочна міцність, морозостійкість і водонепроникність, під час введення наноконпонентів.

У сучасному будівництві зростає інтерес до нанометалів та наномодифікованої арматури. Тут слід вивчити приклади, коли нанопорошки вводяться в металеву основу, що дозволяє створювати арматуру з підвищеною корозійною стійкістю та втомною міцністю. Також цікаво дослідити нанополімерні матеріали – композити на основі епоксидних чи поліуретанових матриць, армовані наночастинками або нанотрубками, які використовуються в енергоефективному та легкому будівництві.

Окремо варто розглянути роль нанофарб, лаків і полімерних нанопокриттів. Ці матеріали не лише забезпечують захисну функцію, а й надають фасадам або інтер'єрам нових властивостей: антибактеріальність, терморегуляцію, здатність до самоочищення. Зверніть увагу на використання наночастинок срібла, титану або графену в складі таких покриттів. Рекомендується переглядати сучасні приклади з індустрії, де нанотехнології змінюють підхід до оздоблення та експлуатації споруд.

На завершення варто підкреслити, що нанотехнології в будівництві – це не лише мода, а й необхідність, продиктована вимогами до сталого розвитку, довговічності та енергоефективності. Вивчаючи тему, мисліть системно: пов'яжуйте тип наноматеріалу з його функцією, технологією застосування і кінцевим ефектом. Такий підхід дозволить не просто запам'ятати інформацію, а й зрозуміти логіку сучасного будівельного інжинірингу.

Література: [2, с. 256 – 275], [5, с. 160 – 180].

### **Запитання для самоконтролю**

1. Які основні типи наноматеріалів застосовують у будівельних композиційних матеріалах?

2. Що таке нанокераміка і які її властивості важливі для будівництва?
3. Які переваги дає використання наноскла у будівельних матеріалах?
4. Як нанотехнології покращують характеристики цементу та бетонних сумішей?
5. Що таке наномодифікована арматура і як вона впливає на міцність конструкцій?
6. Які властивості мають нанополімерні конструкційні матеріали?
7. Як нанофарби та нанолаки підвищують довговічність будівельних покриттів?
8. Які особливості нанопокриттів на основі полімерів у будівництві?
9. Як впровадження нанотехнологій впливає на екологічність будівельних матеріалів?
10. Які перспективи розвитку нанотехнологій у будівельній галузі ви вважаєте найбільш перспективними?

**Тема 8.** Потенціал та перспективи розвитку нанотехнологій.

Починаючи вивчення цієї теми, насамперед варто зосередитись на усвідомленні масштабів потенціалу нанотехнологій. Це не просто ще один напрям науки – це платформа, здатна змінити принципи функціонування цілих галузей: від охорони здоров'я до енергетики. Вивчайте приклади впровадження нанотехнологій у провідних світових проєктах, звертаючи увагу на те, як малі масштаби дозволяють досягати великих результатів, а саме: збільшення ефективності, зменшення витрат, нові функціональні властивості.

Спробуйте поглянути на розвиток нанотехнологій як на частину науково-технічної еволюції людства. Прогрес у цій сфері залежить не лише від рівня досліджень, а й від інфраструктури, освіти, міждисциплінарної взаємодії. Приділяйте увагу прогнозам розвитку — які нові наноматеріали та пристрої можуть з'явитися найближчим часом? Які напрями – медицина, енергетика, штучний інтелект — отримають найбільшу вигоду від нанорозробок?

Окремо варто замислитися над соціальними наслідками поширення нанотехнологій. Як зміниться структура ринку праці? Чи замінять нанопристрої частину людських професій? Уважно вивчайте етичні дилеми, пов'язані з наномедичною діагностикою, контролем за здоров'ям, впливом на приватність. Такий підхід формує не лише технічне розуміння теми, а й критичне мислення щодо соціальних трансформацій.

Не оминайте увагою і екологічний аспект розвитку нанотехнологій. З одного боку, наноматеріали можуть стати основою нових, більш екологічних технологій: фільтрів для води, каталізаторів, сонячних елементів. З іншого – виникає питання токсичності наночастинок, їхньої долі в довкіллі, біоаккумуляції. Навчіться бачити баланс між інновацією та відповідальністю і звертайтеся до сучасних досліджень, які аналізують життєвий цикл наноматеріалів.

На завершення, пам'ятайте, що вивчення перспектив нанотехнологій – це спроба зазирнути в майбутнє, але з науковою точністю. Працюйте з надійними джерелами, аналізуйте тенденції, шукайте міждисциплінарні зв'язки. Саме такі підходи дадуть вам змогу не просто повторювати відомі факти, а бути готовими до викликів і можливостей, які нанотехнології принесуть у ваше професійне життя.

Література: [2, с. 270 – 280]; [4, с. 503 – 580].

### **Запитання для самоконтролю**

1. Які основні фактори визначають потенціал розвитку нанотехнологій у сучасному світі?
2. У яких галузях науки і промисловості найбільш активно застосовуються нанотехнології?
3. Як нанотехнології можуть змінити підходи до медицини та охорони здоров'я?
4. Які соціальні виклики можуть виникнути внаслідок широкого впровадження нанотехнологій?
5. Які екологічні ризики пов'язані з розвитком і застосуванням нанотехнологій?
6. Як міжнародне співробітництво впливає на розвиток безпечних нанотехнологій?
7. Які інновації у сфері енергетики можуть бути досягнуті за допомогою нанотехнологій?
8. Які етичні питання ставить перед суспільством розвиток нанотехнологій?
9. Які перспективи має використання нанотехнологій у виробництві матеріалів із покращеними властивостями?
10. Чому міждисциплінарний підхід є ключовим для успішного розвитку нанотехнологій?

## **ЗМІСТ ЛАБОРАТОРНИХ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

**Змістовний модуль 2. Наноматеріали, методи синтезу та дослідження структури.**

### ***Теми лабораторних занять***

Лабораторне заняття 1. Основні хімічні методи синтезу оксидних наноматеріалів. Золь-гель синтез оксидів кремнію, алюмінію, nanoцеолітів.

Лабораторне заняття 2. Процеси отримання наноматеріалів. Конденсаційний метод. Високоенергетичне подрібнення. Механохімічний синтез. Плазмохімічний синтез. Електричний вибух дротиків. Методи консолідації.

Лабораторне заняття 3. Методи дослідження нанорозмірних речовин. Скануюча зондова мікроскопія наноматеріалів. ІЧ- та КР-спектроскопія наноматеріалів. Ознайомлення з методиками випробувань, приготування зразків наноречовин для дослідження.

Дослідження складу, структури наноречовин з використанням описаних методів.

Лабораторне заняття 4. Основні методи формування наноструктурних покриттів на робочих поверхнях. Методи фізичного та хімічного осадження з парової фази.

**Змістовний модуль 1. Основні поняття нанотехнологій. Класифікація і властивості нанорозмірних частинок.**

**Змістовний модуль 2. Наноматеріали, методи синтезу та дослідження структури.**

### ***Теми практичних занять***

Практичне заняття 1. Особливості нанорозмірного стану речовини. Розмірні ефекти. Нанорозмірний фактор у матеріалознавстві. Принципи класифікації наноматеріалів.

Практичне заняття 2. Структура консолідованих наноматеріалів. Зерна, шари, включення, пори. Нанополімерні, супрамолекулярні, нанобіологічні структури.

Практичне заняття 3. Вуглецеві наноматеріали. Фулерени, їх структура, властивості. Вуглецеві нанотрубки, їх структура, види, властивості.

Обговорення і захист рефератів у формі доповіді-презентації (індивідуального завдання).

## ЗМІСТ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

### **Змістовний модуль 2. Індивідуальне завдання №1 для денної форми здобуття освіти.**

Підготовка індивідуального завдання (реферат-презентація) за переліком, наведеним нижче.

Пояснювальна записка, обсягом 10 – 15 аркушів друкованого тексту, складається з наступних розділів:

1. Вступ, в якому висвітлюється актуальність теми (2...3 сторінки).

2. Літературний огляд за темою роботи (8...11 сторінок), який описує характеристика вихідних речовин для синтезу, опис технології синтезу наноречовини, властивості та особливості застосування; екологічні та соціальні аспекти застосування наноматеріалу в промисловості.

3. Висновки (1 – 2 сторінки).

4. Перелік використаної літератури.

Основні положення пояснювальної записки виносяться на презентацію, яка має містити 7 – 10 слайдів. Захист відбувається у формі обговорення доповіді на тему індивідуальної роботи.

#### **Перелік тем індивідуального завдання:**

1. Історія розвитку нанотехнологій.
2. Наноефекти і нанооб'єкти в природі.
3. «Інтуїтивні» нанотехнології.
4. Стан розвитку нанотехнологій в різних галузях науки.
5. Інноваційні напрями розвитку нанотехнологій.
6. Технології отримання ізольованих наночастинок.
7. Технології отримання структурованих наноматеріалів.
8. Технології синтезу полімерних наноматеріалів та перспективи їх застосування.
9. Технології синтезу біологічних наноматеріалів та перспективи їх застосування.
10. Технології синтезу вуглецевих наноматеріалів та перспективи їх застосування.
11. Технології синтезу пористих наноматеріалів та перспективи їх застосування.
12. Технології синтезу порошкових наноматеріалів та перспективи їх застосування.
13. Технології синтезу об'ємних наноматеріалів та перспективи їх

застосування.

14. Електронні методи дослідження наноструктур.
15. Спектральні методи дослідження наноструктур.
16. Скануючі спектральні методи дослідження наноструктур.
17. Магнітні методи дослідження наноструктур.
18. Скануюча зондова літографія як метод дослідження наноструктур.
19. Методи моделювання наноструктур.
20. Екологічні аспекти нанотехнологій.

## **МЕТОДИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПОТОЧНОГО, МОДУЛЬНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ**

Контроль здійснюється з дотриманням вимог об'єктивності, індивідуального підходу, систематичності і системності, всебічності та професійної спрямованості.

**Поточний контроль** здійснюється під час проведення лабораторних та практичних занять і під час виконання індивідуального завдання під контролем викладача.

**Модульний контроль** полягає у відповідях на контрольні питання з відповідної теми і захисту індивідуального завдання та лабораторних робіт.

Відповіді на контрольні питання до модулів 1, 2 подаються у письмовій або усній формі на лабораторних та практичних заняттях.

Студенти денної форми здобуття освіти отримують допуск до заліку в VI семестрі з навчальної дисципліни за умови виконання всіх видів навчальної роботи, передбачених робочою програмою. Поточне оцінювання знань студентів за змістовним модулем № 1 дозволяє отримати максимальну кількість балів – 10, за змістовним модулем № 2 – 30 балів, за змістовним модулем № 3 – 20 балів,. Таким чином, максимальна кількість балів за допуск до заліку становить 60 балів.

**Підсумковий семестровий контроль (залік)** оцінювання рівня знань студентів проводиться в VI семестрі для денної форми здобуття освіти і здійснюється у формі тестового завдання, що складається із запитань до семестрового контролю. На заліку студенту може бути нараховано максимальну кількість балів – 40 і разом з поточним оцінюванням за змістовний модуль № 1, 2 та 3 отримати максимальну кількість балів – 100.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Афтанділянц Є.Г.* Наноматеріалознавство : підручник / Є.Г. Афтанділянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. – 550 с.
2. *Пономаренко В.С.* Нанотехнологія та її іноваційний розвиток / В.С. Пономаренко, Ю.Ф. Назаров, В.П. Свідерський та ін. – Харків : ВД «ІНЖЕК», 2008. – 280 с.
3. *Заячук Д.М.* Нанотехнології і наноструктури : навчальний посібник для ВНЗ / Д.М. Заячук. – Львів : Вид. нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. – 581 с.
4. *Завражна О.М.* Основи нанотехнологій : навч.-метод. посібник / О.М. Завражна, А.І. Пасько. – Суми : СДПУ, 2016. – 184 с.
5. *Раков Е.Г.* Нанотрубки і фулерени : навч. посібник / Е.Г. Раков. – Суми : Універс. книга, Логос, 2006. – 376 с.
6. *Ткач О.П.* Наноматеріали і нанотехнології в приладобудуванні : навч. посібник / О.П. Ткач. – Суми : СДУ, 2014. – 126 с.
7. *Bhushan B.* (Ed.). Springer Handbook of Nanotechnology (4th ed.) / *B. Bhushan* (Ed.). – Springer. – 2017. –
8. *Schmid G.* Nanoparticles: From Theory to Application. Wiley-VCH / *G. Schmid*. – 2011. –
9. *Roco M.C.* (Eds.). Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020 / *M.C. Roco, C.A. Mirkin, M.C. Hersam* (Eds.). – Springer. – 2011. –
10. *Charles M. Gilmore.* Materials Science and Engineering Properties. Cengage Learning / *M. Charles*. –2015. – 722 p.
11. *Donald R. Askeland, Wendelin J. Wright.* The Science and Engineering of Materials / *R. Donald*. – Cengage Learning, 2016. – 870 p.
12. *Ratner M.A.* (Ed.). Nanotechnology: A Gentle Introduction to the Next Big Idea / *M.A. Ratner*. – Pearson. – 2003. –
13. [www.nano.gov](http://www.nano.gov) – National Nanotechnology Initiative (NNI).
14. [www.nanowerk.com](http://www.nanowerk.com) – Nanowerk.
15. [www.nanoeurope.org](http://www.nanoeurope.org) – European Nanotechnology Community.

Навчально-методичне видання

## ОСНОВИ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Методичні вказівки  
до вивчення дисципліни  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
спеціальності G1 «Хімічні технології та інженерія» освітньої програми  
«Новітні технології стінових і оздоблювальних матеріалів»  
денної та заочної форм навчання

Укладачі: **Суханевич** Марина Володимирівна,  
**Бондаренко** Ольга Петрівна

Випусковий редактор *Л. С. Тавлуй*  
Комп'ютерне верстання *К. А. Мавроді*

Підписано до друку 2025. Формат 60 x 84<sup>1/16</sup>  
Ум. друк. арк. 1,39. Обл.-вид. арк. 1,5.  
Електронний документ. Вид. № 97/III-25

Видавець і виготовлювач:  
Київський національний університет будівництва і архітектури

Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002