



# Основи високоенергетичних технологій синтезу матеріалів

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізитивна навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 (G) Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 (G8) Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити/120 годин, лекції – 28 год, лабораторні заняття – 18 год, СРС – 74 год</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/МКР</i>
Розклад занять	<i><a href="http://roz.kpi.ua/">http://roz.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	
Розміщення курсу	

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

*До високоенергетичних технологій слід віднести ті, за яких енергія, що передається тілу чи його локальній області співрозмірна з енергією міжатомного зв'язку.*

*Вивчатись будуть закономірності взаємодії та розповсюдження хвилі горіння, вплив основних властивостей вихідних матеріалів (фізичних, технологічних тощо) на температуру горіння, швидкість розповсюдження хвилі, повноту проходження реакції.*

*Будуть розглядатись різниця в формуванні структури, а відповідно, властивостей в імпульсній високоенергетичній обробці матеріалів та технології отримання фаз високого тиску. А також променеві методи обробки матеріалів (лазерна та електронно-променева), зокрема, сутність та особливості цих методів, відмінності у формуванні структури, переваги та недоліки цих методів у порівнянні з традиційними методами обробки, їх використання в адитивних технологіях.*

*Метою дисципліни є підсилення у студентів фахових компетентностей спеціальності таких як:*

## Основи високоенергетичних технологій синтезу матеріалів

- Здатність обирати технологічний процес та його оптимальні умови для отримання виробів з композиційних, наноструктурованих та порошкових матеріалів;
- Здатність застосовувати сучасні підходи оптимізації та дизайну матеріалів для удосконалення їх властивостей залежно від умов експлуатації.

Та формування компетентності сертифікатної програми «Технології тривимірного друку»:

- Здатність застосовувати джерела концентрованої енергії для адитивних технологій.

**Предмет** дисципліни “Основи високоенергетичних технологій синтезу матеріалів” – закономірності взаємодії концентрованих енергій з матеріалом та формування їх структури і властивостей.

Після вивчення дисципліни студенти будуть мати знання:

- основних високоенергетичних технологій отримання матеріалів;
- взаємозв'язку між структурою та властивостями матеріалів;

Розвинуть програмні результати навчання освітньої програми «Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів»:

- Розуміння будови металевих, неметалевих, композиційних та функціональних матеріалів та обирати оптимальні методи модифікації їх властивостей. Кваліфіковано вибору матеріалів для виробів різного призначення.
- Знання фізико-хімічних основ формування заданої структури консолідованих матеріалів.

Та сформулюють програмні результати сертифікатної програми «Технології тривимірного друку»:

- Знати основні засоби високоенергетичного та концентрованого впливу на матеріал.

### 2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Дисципліни, знання з яких необхідні для вивчення дисципліни “Основи високоенергетичних технологій синтезу матеріалів”:

- Фізика
- Хімія
- Фізична хімія
- Кристалографія, кристалохімія та мінералогія
- Металознавство
- Матеріалознавство тугоплавких матеріалів
- Теорія тепло- та масопереносу

Знання, що студент отримає під час вивчення дисципліни “Основи високоенергетичних технологій синтезу матеріалів” необхідні студентам для підготовки звітів з переддипломної практики та дипломного проектування. Результати вивчення дисципліни є складовою інтегральної компетентності підготовки за освітньо-професійною програмою першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

**Вступ. Організація очного/дистанційного навчання.**

**Розділ 1. Високотемпературний синтез, що саморозповсюджується (ВСС).**

Тема 1.1. Основи ВСС. Термодинамічне підґрунтя та кінетика ВСС.

Тема 1.2. Технологічні основи ВСС процесів.

## Основи високоенергетичних технологій синтезу матеріалів

### **Розділ 2. Імпульсні методи обробки матеріалів.**

Тема 2.1. Електрогідравлічні та магнітні методи.

Тема 2.2. Фази високого тиску.

### **Розділ 3. Механохімія.**

Тема 3.1. Механохімічний синтез.

Тема 3.2. Механохімія на ВСС.

### **Розділ 4. Променеві методи обробки матеріалів.**

Тема 4.1. Лазерна обробка

Тема 4.2. Електронно-променева обробка

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### **Базові:**

1. *Інтегровані технології обробки матеріалів [Текст] : підручник / Е. С. Геворкян, Л. А. Тимофеева, В. П. Нерубацький [та ін.]. – Харків : УкрДУЗТ, 2016. – 238 с.*
2. *Патон Б. Є. Електронно-променева плака тугоплавких і високореакційних металів[Текст] / Б. Є. Патон, Н. П. Тригуб, С. В. Ахонін. – Київ : Наукова думка, 2008. – 312 с.*
3. *Афанасьєва О. В. Лазерна поверхнева обробка матеріалів [Текст] / Афанасьєва О. В., Лалазарова Н. О., Федоренко Є. П. – Харків : ФОРМАНОВ А.М., 2020. – 100 с.*
4. *Сучасне матеріалознавство XXI сторіччя[Текст]: енциклопедія. –Київ: Наукова думка, 1998. – 658с.*

### **Додаткові:**

1. *Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій [Текст]: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої 80-річчю кафедри хімії ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, Харків, 7–8 листоп. 2019 р. / [редкол.: О. О. Мураєва та ін.] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Дніпров. держ. техн. ун-т, AlgolChemicals OY (Finland) [та ін.]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 172 с.*
2. *Коваленко В. С. Лазерна технологія [Текст] / В. С. Коваленко. – Київ : Вища школа, 1989. – 280 с.*
3. *Електронно-променеві установки і плавка: конструкція та розрахунки [Устаткування та технологія спеціальної металургії] [Електронний ресурс] : навчальний наочний посібник до вивчення кредитних модулів, самостійної роботи студентів, курсового та дипломного проектування студентів напряму підготовки 0501 «Металургія», спеціальності 6.050401 «Спеціальна металургія» та спеціальності 6.050402 «Ливарне виробництво» / НТУУ «КПІ» ; уклад. Г. О. Ремізов. – Електронні текстові дані (1 файл: 7,58 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/818>.*

Зазначені базові навчальні матеріали і ресурси є у вільному доступі у бібліотеці НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського і мережі Інтернет. Додаткові навчальні матеріали надаються для ознайомлення і глибшого розуміння предмету вивчення дисципліни.

Навчальний контент

**5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)**

**5.1. Лекційні заняття**

*Вступ. Організація очного/дистанційного навчання.*

*Розділ 1. Високотемпературний синтез, що саморозповсюджується (ВСС).*

**Тема 1.1. Основи ВСС.**

*Заняття1. Загальна характеристика ВСС процесів. Хімічні класи ВСС процесів. Безгазові системи. Фільтраційні системи. Газові системи.*

*Заняття2. Системи з стадією відновлення. Класи продуктів ВСС. Експериментальні методи дослідження ВСС процесів.*

*Заняття3. Закономірності і механізми горіння в ВСС – системах. Елементарні основи теорії горіння. Горіння з вузькими зонами. Горіння з широкими зонами. Горіння з фазовим переходом. Вплив хімічної стадійності взаємодії реагентів на процес горіння.*

**Тема 1.2. Технологічні основи ВСС процесів.**

*Заняття4. Технологічні основи ВСС – процесів. ВСС– технологія порошків. ВСС – спікання. Силоче ВСС – компактування. ВСС – зварювання. Технологія газотранспортних ВСС – покриттів.*

**Заняття5. Модульна контрольна робота**

*Розділ 2. Імпульсні методи обробки матеріалів.*

**Тема 2.1. Електрогідравлічні та магнітні методи.**

*Заняття 5. Імпульсні джерела високих енергій. Високвольтний електричний розряд в рідині. Імпульсне магнітне поле і його взаємодія з матеріалом, що деформується. Зміцнення матеріалів вибухом. Деформаційне зміцнення. Основні схеми і механізм зміцнення. Підвищення довговічності зварних з'єднань. Індукційне поверхнєве зміцнення.*

**Заняття6. Модульна контрольна робота**

**Тема 2.2. Фази високого тиску.**

*Заняття7. Технологія отримання фаз високого тиску. Технологія отримання синтетичних алмазів. Отримання алмазних порошків. Отримання надтвердих матеріалів на основі нітриду бору.*

*Розділ 3. Механохімія.*

**Тема 3.1. Механохімічний синтез.**

*Заняття 8. Механохімічний синтез. Механічна активація багатокомпонентних сумішей. Систем тверда речовина – газ. Тверде тіло – рідина. Тверде тіло - тверде тіло. Вплив механоактивації на швидкість протікання хімічних реакцій. Мікроструктурна дія. Енергетична дія.*

**Тема 3.2. Механохімія на ВСС.**

## Основи високоенергетичних технологій синтезу матеріалів

**Заняття 9.** Вплив механоактивації на основні параметри ВСС. Температура ініціації. Тепловиділення. Швидкість горіння. Температура горіння.

### **Розділ 4. Променеві методи обробки матеріалів.**

#### **Тема 4.1. Обробка лазерним променем**

**Заняття 10.** Променеві високоенергетичні методи обробки матеріалів. Лазерна обробка матеріалів. Конструкції та принцип роботи лазерів. Твердотільні лазери. Газові лазери. Ексімерні лазери.

**Заняття 11.** Взаємодія лазерного випромінювання з матеріалом. Застосування лазерного випромінювання в адитивних технологіях.

#### **Тема 4.2. Електронно-променева обробка**

**Заняття 12.** Електронно-променева обробка матеріалів. Основні параметри електронного променя. Технологія електронно-променевої обробки конструкційних матеріалів. Випаровування матеріалів.

**Заняття 13.** Особливості взаємодії електронного променя з речовиною. Електронно-променева плавка металів. Електронно-променеве зварювання. Електронний промінь в адитивному виробництві.

#### **Заняття 14. Залік**

### **5.2. Лабораторні заняття**

Основні завдання циклу лабораторних занять:

- вивчення високоенергетичних технологій (ВЕТ) одержання матеріалів та виробів;
- дослідження впливу технологічних умов ВЕТ на структуру, фазовий склад та властивості матеріалів.

**Заняття 1. Лабораторна робота №1.** ВСС – технологія одержання матеріалу системи алюміній-титан.

**Заняття 2. Лабораторна робота №1.** ВСС – технологія одержання матеріалу системи алюміній-титан.

**Заняття 3. Лабораторна робота №2.** Механо-хімічний синтез.

**Заняття 4. Лабораторна робота №2.** Механо-хімічний синтез.

**Заняття 5. Лабораторна робота №3.** Електронно-променева обробка матеріалів.

**Заняття 6. Лабораторна робота №3.** Електронно-променева обробка матеріалів.

**Заняття 7. Лабораторна робота №4.** Технологія селективного лазерного спікання.

**Заняття 8. Лабораторна робота №4.** Технологія селективного лазерного спікання.

**Заняття 9. Колоквіум.**

### **6. Самостійна робота студента/аспіранта**

Самостійна робота студента (66 год) складається з:

- підготовки до лекцій – 20 год;

## Основи високоенергетичних технологій синтезу матеріалів

- підготовки до лабораторних робіт, яка полягає у написанні протоколу, обробка експериментальних результатів та оформлення протоколу і захист лабораторної роботи – 36 год;
- підготовки до модульної контрольної роботи – 4 год;
- підготовки до заліку – 6 год.

### Політика та контроль

#### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

##### **Правила відвідування занять.**

Відвідування лекційних занять є рекомендованим. Відвідування лекційних занять дозволить студентам не тільки опанувати теоретичні знання непосредньо на лекції, але і задати викладачу питання, що виникають під час викладання матеріалу лекції.

Відвідування лабораторних занять є обов'язковим.

##### **Правила поведінки на заняттях.**

На усіх заняттях, лекційних і лабораторних, вітається відключення звукових сигналів телефонів.

На лабораторних заняттях не забороняється користування конспектами лекцій, підручниками, електронними гаджетами для пошуку інформації, що відповідає темі лабораторного заняття.

Умовою допуску до виконання лабораторної роботи є наявність у студента написаного протоколу.

За дистанційної форми навчання у сервісі Telegram викладач створює групу, назва якої складаються із номера групи і назви дисципліни, до якою староста групи приєднує усіх студентів. Протокол лабораторної роботи напередодні заняття завантажуються до цієї групи. Перевірка правильності виконання завдання лабораторної роботи здійснюється під час заняття дистанційно із використанням цієї Telegram групи. Для підведення підсумку оформлену за усіма вимогами лабораторну роботу студенти прикріплюють до відповідного завдання в [classroom.google.com](https://classroom.google.com) або надсилають на електронну поштову скриньку викладача. Перевірка здійснюється упродовж тижня після останнього заняття за відповідною темою.

Перескладання модульної контрольної роботи проводиться за взаємною домовленістю студентів і викладача.

Перескладання заліку проводиться під час додаткової сесії за положенням НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського" відповідно до графіку перескладань оприлюдненому на сайті ІМЗ ім. Є. О. Патона.

Усі учасники освітнього процесу: викладачі і здобувачі в процесі вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

#### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

##### 8.1. Види контролю:

- Поточний контроль: лабораторні роботи, модульна контрольна робота (МКР).



## Основи високоенергетичних технологій синтезу матеріалів

- *Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.*
- *Семестровий контроль: залік*

*Кожний вид робіт оцінюється за 100-бальною шкалою. Семестрова оцінка формується як середня із суми оцінок за кожний вид робіт, що виконуються упродовж семестру:*

$$O_{\text{семестр}} = \frac{\sum_{1-3} O_{\text{ЛР}} + O_{\text{МКР}}}{4}.$$

### 8.2. Критерії нарахування балів.

#### Лабораторні роботи.

*До кожної лабораторної роботи студент повинен підготувати протокол, який складається із:*

- *номера;*
- *назви;*
- *мети;*
- *теоретичних відомостей, до яких включають основні визначання та умовні позначення;*
- *порядок виконання.*

*За наявності протоколу кожна лабораторна робота позитивно оцінюється у 60-100 балів.*

*Штрафні бали призначаються за:*

- *відсутність протоколу – 10 балів;*
- *протокол, що не відповідає вимогам – 5 балів;*
- *несамостійна робота на лабораторному занятті – 5 балів.*

#### Модульна контрольна робота.

*Модульна контрольна робота за темою “Високотемпературний синтез, що саморозповсюджується (ВСС)” проводиться за очної і дистанційної форми навчання на лекційному занятті. На виконання роботи відводиться 2 академічні години. Кожна робота містить два запитання щодо теоретичних основ теми, кожне з яких оцінюється у 50 балів. Оцінка за відповіді на кожне питання знижується – за принципові помилки на 20-15 балів, за неповну відповідь на 15-10 балів, за неправильне використання технічних термінів на 5 балів. Максимально МКР оцінюється у 100 балів. Мінімальною позитивною оцінкою є 60 балів.*

#### Календарний контроль.

*Календарний контроль (КК) проводиться на 7-8 та 14-15 тижнях семестру навчання. Для позитивного оцінювання 1-го КК студенту необхідно виконати мінімум 50 % завдань з практичних робіт №1 та написати МКР щонайменше на 50 балів. Для позитивного оцінювання 2-го КК студенту необхідно виконати мінімум 50 % завдань з практичних робіт №2 щонайменше на 50 балів.*

#### Залік.

*Умовою допуску до заліку є виконання усіх практичних робіт та МКР.*

*Мінімальним позитивним є рейтинг, який розраховується як середнє значення суми усіх виконаних завдань, і складає не менше 60 балів, за умови отримання за практичні роботи та МКР.*

## Основи високоенергетичних технологій синтезу матеріалів

*Студенти, що набрали упродовж семестру не менше 60 балів мають можливість отримати оцінку, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою. Для підвищення рейтингової оцінки студент може написати залікову контрольну роботу, але у цьому випадку попередній рейтинг студента скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів тільки залікової контрольної роботи, згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою.*

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

*Залікова контрольна робота проводиться письмово. На проведення залікової контрольної роботи виділяється 2 академічні години часу.*

*Залікова контрольна робота представляє собою 100 тестових питань.*

*Сумарна максимальна оцінка складає 100 балів.*

### **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

- *результати навчання за даною дисципліною здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути перерахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість перерахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає "Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті".*
- *студенти можуть отримати 10 балів за сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни.*

### **Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** доцентом, к. т. н., доцентом, Бірюкович Ліною Олегівною

**Ухвалено** кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 9 від 14 лютого 2025 р.)

**Погоджено** Методичною комісією ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 6/25 від 19 березня 2025 р.)



Перелік питань, що виносяться на модульну контрольну роботу

1. Загальна характеристика ВСС процесів.
2. Хімічні класи ВСС процесів.
3. Безгазові системи.
4. Фільтраційні системи.
5. Газові системи.
6. Системи з стадією відновлення.
7. Класи продуктів ВСС.
8. Експериментальні методи дослідження ВСС процесів.
9. Отримання алмазовмісних матеріалів методом ВСС.
10. Закономірності і механізми горіння в ВСС – системах.
11. Елементарні основи теорії горіння.
12. Горіння з вузькими зонами.
13. Горіння з широкими зонами.
14. Горіння з фазовим переходом.
15. Вплив хімічної стадійності взаємодії реагентів на процес горіння.
16. Технологічні основи ВСС – процесів.
17. ВСС - технологія порошків.
18. ВСС – спікання.
19. Силове ВСС – компактування.
20. ВСС – зварювання.
21. Технологія газотранспортних ВСС – покриттів.
22. Схеми реалізації технології селективного лазерного спікання
23. Селективне оплавлення електронним променем