



# Вибір і комп'ютерний дизайн матеріалів

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### 1. Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Освітньо-професійна Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>заочна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>I курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ECTS, 8 годин лекцій, 8 годин лабораторних робіт, 104 години СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / Домашня контрольна робота</i>
Розклад занять	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ViewSchedule.aspx">http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ViewSchedule.aspx</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н., доцент, Степанов Олег Васильович, mail:ostepanoff@iff.kpi.ua</i> Лабораторні роботи: <i>к.т.н., доцент, Степанов Олег Васильович</i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://ecampus.kpi.ua/">https://ecampus.kpi.ua/</a>, <a href="https://classroom.google.com/c/MzlwMTk0OTE1NTAw">https://classroom.google.com/c/MzlwMTk0OTE1NTAw</a></i>

### 2. Програма навчальної дисципліни

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

Вивчаючи дисципліну, студенти узагальнюють власні знання з матеріалознавства, технологій виробництва матеріалів та виробів та долучаються до світового досвіду оптимізації вибору та використання матеріалів з урахуванням технічних, технологічних, економічних та екологічних факторів. Студенти одержують важливий досвід з використання спеціалізованого програмного забезпечення, яке широко застосовується передовими виробничими фірмами світу: Boeing, Rolls-Royce, Siemens та іншими а також провідними технічними університетами.

**Предметом вивчення дисципліни є** принципи та засоби оптимального вибору матеріалу для заданих умов його експлуатації, методи багатокритеріальної оптимізації при виборі матеріалів та програмні засоби для їх реалізації.

Метою викладання навчальної дисципліни є розвиток у студентів загальних та формування фахових компетентностей:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

- Здатність виявляти та ставити проблеми в сфері матеріалознавства, приймати ефективні рішення для їх вирішення;
- Здатність до критичного аналізу та прогнозування характеристик нових та існуючих матеріалів, параметрів процесів їх отримання і обробки та використання у виробі (або у виробничих умовах);
- Здатність розуміти та використовувати математичні та числові методи моделювання властивостей, явищ та процесів;
- Здатність обґрунтовано здійснювати вибір технологій виготовлення, оброблення, випробування матеріалів і виробів, для конкретних умов експлуатації;
- Здатність застосовувати системний підхід для розв'язання прикладних задач виготовлення, обробки, експлуатації та утилізації матеріалів та виробів;
- Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології для вирішення задач вибору та дизайну матеріалів

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

- Розуміти та застосовувати принципи системного аналізу, причинно-наслідкових зв'язків між значущими факторами та науковими і технічними рішеннями в контексті існуючих теорій;
- Виявляти, формулювати і вирішувати матеріалознавчі проблеми і задачі;
- Вільно спілкуватись державною та англійською мовами усно і письмово для обговорення професійних проблем і результатів діяльності у сфері матеріалознавства та ширшого кола інженерних питань, презентації результатів досліджень та інноваційних проектів;
- Застосовувати сучасні інформаційні технології та спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач матеріалознавства;
- Приймати ефективні рішення в нових ситуаціях або непередбачуваних умовах з урахуванням їх можливих наслідків, оцінювати і порівнювати альтернативи, оцінювати технічні, економічні, екологічні та правові ризики;
- Наукові навички у галузі інженерії для того, щоб успішно проводити наукові дослідження як під керівництвом так і самостійно;
- Використовувати сучасні методи для виявлення, постановки та розв'язування винахідницьких задач в галузі матеріалознавства;
- Формулювати та розв'язувати науково-технічні задачі для розробки, виготовлення, випробування, сертифікації, утилізації матеріалів, створення та застосування ефективних технологій виготовлення виробів;
- Планувати і виконувати експериментальні матеріалознавчі дослідження, обирати відповідні обладнання та методика, здійснювати статистичну обробку і статистичний аналіз результатів експериментів, обґрунтовувати висновки;
- Проектувати нові матеріали, розробляти, досліджувати та використовувати фізичні та математичні моделі матеріалів та процесів;
- Розв'язувати прикладні задачі виготовлення, обробки, експлуатації та утилізації матеріалів та виробів;
- Розробляти комплексний дизайн нових матеріалів і виробів на їх основі з урахуванням експлуатаційних властивостей та умов використання;
- Аналізувати та прогнозувати характер руйнування порошкових композиційних та наноструктурованих матеріалів.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни**

Для успішного оволодіння навчальним матеріалом здобувач вищої освіти має володіти загальними та фаховими компетентностями першого (бакалаврського) рівня

Дисципліна забезпечує розширення інженерного кругозору в галузі матеріалознавства та інженерії матеріалів чим формує заключний набір компетентностей та інтегральну компетентність. Результати вивчення дисципліни можуть бути використані при виконанні розрахунків та оцінці результатів у курсовій роботі та у магістерській дисертації.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліна – «Вибір та комп'ютерний дизайн матеріалів» містить один змістовний модуль: «Вибір та комп'ютерний дизайн матеріалів»

#### **Розділ 1.** Програмні засоби оптимального вибору матеріалів

**Тема 1.** Проблема оптимізації вибору матеріалів. Структура спеціалізованого програмного забезпечення

**Тема 2.** Стратегія та основні етапи оптимального вибору матеріалів. Визначення критеріїв та параметрів оптимізації. Формулювання задачі оптимального вибору при конфлікті обмежень та цілей

**Тема 3.** Оцінка впливу технології одержання (оброблення) на параметри оптимізації та критерії оптимальності. Оцінка впливу екологічної складової

**Тема 4.** Структурно-чутливі параметри матеріалів та матеріалознавчі аспекти оптимізації вибору матеріалів

**Тема 5.** Застосування програмних засобів для прогнозування функціональних властивостей композиційних матеріалів різної структури.

**Розділ 2.** Основи програмного прогнозування кореляцій структура-властивості при розробці нових матеріалів

**Тема 6** Застосування універсальних програмних реалізацій методу скінчених елементів для прогнозування основних механічних характеристик пористих, двофазних та трифазних матеріалів.

### 4. Навчальні матеріали та ресурси

#### 3. Базова література

1. Вибір і комп'ютерний дизайн матеріалів. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 132 «Матеріалознавство» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Степанов, Ю. І. Богомол, І. М. Гурія. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,6 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 107 с. – Режим доступу : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41249>
2. Дубовий О.М. Інженерне матеріалознавство: підручник/ О.М.Дубовий, Ю.А.Казимиренко, Н.Ю.Лебедєва, С.М.Самохін. – Миколаїв : НУК, 2009. – 444 с.
3. Michael F. Ashby Engineering materials 1. An Introduction to Properties, Applications and Design /David R.H. Jones, Michael F. Ashby. Elsevier, - 2019. – 564 p.
4. David L. McDowell. Integrated design of multiscale, multifunctional materials and products. / David L. McDowell, Jitesh H. Panchal, Hae-JinChoi, Carolyn Conner Seepersad, Janet K. Allen and Farrokh Mistree. Elsevier, 2010.- 360 p.

#### 4. Додаткова література

1. Michael Ashby Materials. Engineering, Science, Processing and Design / Michael Ashby, Hugh Shercliff, David Cebon. Elsevier, -2007. - 514 p.
2. Michael Ashby. Materials Selection in Mechanical Design. / Michael Ashby. Elsevier, 2011. - 646p.
3. Michael F. Ashby. Materials and Sustainable Development./ Michael F. Ashby. Elsevier, 2016. – 312p.

4. Степанов О.В. Програмні засоби оптимального вибору матеріалів /Степанов О.В., Богомол Ю.І. // Металознавство та обробка металів. - 2016. - № 4. - С. 56-60

Книги Майкла Ешбі (Michael F. Ashby) є основоположними як в тематиці навчальної дисципліни у цілому, так і для розробки експертної системи CES зокрема. Електронні версії книг доступні на сайті Elsevier <https://www.sciencedirect.com/>. Навчальний посібник [1] доступний в електронній бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Рекомендується ознайомитись зі змістом вказаних базових та додаткових джерел, більш глибоко опрацювати рекомендовані викладачем розділи, що відповідають тематиці лекцій та/чи комп'ютерних практикумів. Для окремих розділів доцільно створити електронний конспект

## 5. Навчальний контент

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

#### 5.1. Зміст лекційних занять (28 годин)

**Заняття 1.** Вступ. Мета та програмні цілі дисципліни, рейтингова система оцінювання.

Проблема оптимізації вибору матеріалів. Характеристика факторного простору з точки зору його дискретності, розрідженості та неоднорідності. (електронна презентація; [1,2,3]). Структура програмного забезпечення - системи CES Edupack. Таблиці баз даних та зв'язок між ними. Використання системи в режимі перегляду та в режимі пошуку (електронна презентація; [1]). Стратегія та основні етапи оптимального вибору матеріалів. Реалізація кроків трансляції, фільтрування, ранжування, документування (електронна презентація; [1], [2]).

**Заняття 2.** Процес оптимального вибору матеріалів під дією конфлікту обмежень. Технологія розв'язання конфліктів обмежень. (електронна презентація; [1], [3]). Оптимальний вибір матеріалів при наявності конфлікту цілей. Застосування методів багатокритеріальної оптимізації. Штрафні функції, Множина Парето. (електронна презентація; [1], [3])

**Заняття 3.** Вплив технологій одержання та оброблення матеріалів на процес оптимального вибору матеріалів. Моделі оцінки вартості технологічних процесів. Залежність модельної вартості від розміру серії (електронна презентація; [1, 2, 3]). Використання фактору форми при оптимізації вибору матеріалів (електронна презентація; [1, 3]). Оцінка екологічної складової виробництва, обробки, експлуатації та утилізації матеріалів. Екодизайн та екобезпека, їх вплив на вибір матеріалів (електронна презентація; [3])

**Заняття 4.** Класифікація властивостей матеріалів з точки зору їх фундаментальності та можливості впливу на них технологічними способами. (електронна презентація; [1, 2, 3]). Технологічні впливи на структурно-чутливі властивості матеріалів. Дизайн композиційних матеріалів. (електронна презентація; [1, 3])

[<http://teachingresources.grantadesign.com/Presentations/PPTMANEN17>],

[<http://teachingresources.grantadesign.com/Presentations/PPTNEWEN17>)]

#### 5.2. Лабораторні роботи (8 годин)

Мета лабораторних робіт:

Практичне оволодіння програмними засобами оптимального вибору матеріалів програми CES.

##### Зміст лабораторних робіт

1. Вступне заняття (1 година)
2. Призначення, структура та основи роботи з пакетом CES Edupack та засоби вибору матеріалу (1 година)
3. Технологія оптимального вибору матеріалу в середовищі CES Edupack (1 година)

4. Оптимальний вибір матеріалів за наявності протиріч (2 години)
5. Вплив технологічних процесів на вибір матеріалів (2 години)
6. Оптимізація екологічної складової матеріалів та процесів засобами CES Edupack (1 година)

## **6. Самостійна робота студента**

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 104 години) з дисципліни полягає в

- самостійному опрацюванні літературних джерел для розширення розуміння лекційних тем, для фокусування розглянутих методів аналізу взаємного зв'язку властивостей матеріалів на власні наукові дослідження, що відповідають напрямку магістерської дисертації – в розрахунку 24 години;
- Опрацюванні матеріалів вебінару від 13-11-2016р.: Оцінка проектів пов'язаних з вибором матеріалів з точки зору сталого розвитку. Оцінка проектів за мірою значимості для сталого розвитку. (4 години).
- підготовці, самостійному виконанні лабораторних робіт та аналізі одержаних результатів і формулюванні висновків – 26 годин на семестр;
- виконанні домашньої контрольної роботи (20 годин на семестр)
- підготовці до підсумкової атестації – Екзамену (30 годин).

## **6. Політика та контроль**

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

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- Тему пропущеного лекційного заняття студент повинен опрацювати самостійно шляхом написання конспекту.
- Завдання пропущеної лабораторної роботи студент має виконати самостійно.
- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час лабораторних занять дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних ресурсів, тощо.
- Результати виконаних лабораторних робіт оформляються у вигляді звітів з застосуванням текстового редактора. Звіт включає текстовий та ілюстраційний матеріал, що підтверджує виконання завдання, може включати посилання на електронну таблицю, у якій виконано розрахунки, завершується висновком.
- Заохочувальні бали можуть бути призначені за особливі успіхи у навчанні – переважно використання програмного продукту та методик оптимального вибору для розв'язання реальних задач за тематикою власних наукових досліджень, курсового чи дипломного проектування. Сумарна кількість заохочувальних балів може складати від 1 до 5 балів.
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Конспекти пропущених лекцій, оформленні протоколи лабораторних робіт, звіт домашньої контрольної роботи мають бути виконані і подані на перевірку не пізніше ніж за 2 дні до семестрового контролю.
- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і студенти в процесі роботи 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)

Оцінювання результатів навчання проводиться за рейтинговою системою, складеною відповідно до вимог «Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського»

Поточне оцінювання включає оцінку:

- підготовки, виконання, оформлення та захисту звітів з лабораторних робіт;
- виконання домашньої контрольної роботи;

Виконання та захист звітів з лабораторних робіт всього максимально 30 балів:

- Лабораторна робота 1                      максимум 6 бали
- Лабораторна робота 2                      максимум 7 балів
- Лабораторна робота 3                      максимум 7 балів
- Лабораторна робота 4                      максимум 5 бали
- Лабораторна робота 5                      максимум 5 бали

Домашня контрольна робота виконується студентами у міжсесійний період. Максимальна оцінка 20 балів за ДКР.

Семестровий контроль – Екзамен. Згідно схеми PCO-2 «Положення про систему оцінювання результатів навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського»:

Рейтингова оцінка складається з двох складових: стартової, призначеної для оцінювання заходів поточного контролю впродовж семестру та екзаменаційної, призначена для оцінювання окремих запитань (завдань) на екзамені.

Максимальне значення стартової частини складає 50 балів (сума балів поточного контролю), екзаменаційної 50 балів.

Умови допуску до екзамену: виконання та захист звітів з усіх лабораторних робіт, сума балів стартової складової не нижче 30.

Стартова складова рейтингової оцінки доводиться до здобувачів на останньому занятті з дисципліни в семестрі, але після захисту усіх звітів з лабораторних робіт.

Екзамен (максимально 50 балів). Екзаменаційний білет складається з 2-х теоретичних питань, та практичного завдання, приклад наведено в додатку Б. Кожне з теоретичних питань оцінюється максимально в 15 балів: 15..14 балів – повна правильна відповідь на запитання або не менше 90% необхідної інформації; 13...11 балів – повна відповідь на запитання з незначними помилками/неточностями або не менше 75% необхідної інформації; 10..8 балів – майже повна відповідь з незначними помилками/неточностями або не менше 60% необхідної інформації; 0 балів – відповідь відсутня/неправильна або менше 60% необхідної інформації. Практичне завдання оцінюється максимально в 20 балів: 20...18 балів - повне або майже повне виконання; 17..14 балів - майже повне виконання, незначні помилки; 13...11 балів - виконання завдання зі значними зауваженнями або неповне виконання завдання; 0 балів - завдання не виконано або виконано менше ніж на 60%.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
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

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

- У випадку самостійного проходження студентом дистанційного курсу <https://elearning.grantadesign.com/> та одержання сертифікату **CES Selector Certificate Program – Certified User**, останній може бути зарахований згідно пп. 2.2 “Положення про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній / інформальній освіті” - <https://osvita.kpi.ua/node/179> з сумою 70 балів - як сума балів стартової складової (50 балів) та оцінки за практичне завдання екзаменаційного білету (20 балів). Студент має брати участь в екзамені, відповідаючи на теоретичні питання.
- Додаткову інформацію для опанування навчальної дисципліни можна знайти на сайті розробника програмного забезпечення:  
<https://www.grantadesign.com/education/students/video-tutorials/>,  
<https://www.grantadesign.com/education/support/ces-edupack-support/>.  
**Особливості навчального процесу за змішаною або дистанційною формами.**

Викладання дисципліни за змішаною або дистанційною формою навчання здійснюється з застосуванням платформи *google.classroom* та середовища *google.meet*.

Лекційні заняття проводяться в *on-line* режимі. Темі лекційних занять, демонстраційний матеріал у вигляді презентацій з текстовими коментарями, контрольні запитання надаються студентам заздалегідь. Лекційний час використовується у співвідношенні 1:1 відносно аудиторної форми. Студентам рекомендується для участі у заняттях в середовищі *google.meet* використовувати персональний комп'ютер чи планшет, з розміром екрану не менше 10". Відеокамери комп'ютерів мають бути увімкнені, мікрофони вимкнено. Студент застосовує мікрофон для відповіді на запитання викладача та для того, щоб задати запитання.

У випадку використання дистанційної форми проведення екзамену традиційний екзаменаційний білет замінюється на тестове завдання, яке містить не менше 20 запитань. Задача екзаменаційного білета, при відсутності у студента локальної версії програмного забезпечення, може бути замінена на тест, щодо покрокової реалізації задачі.

### Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент каф. Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, к.т.н., доцент, Степанов Олег Васильович

Ухвалено кафедрою Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії (протокол № 21 від 08 липня 2022 р. )

Погоджено Методичною комісією НН Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О.Патона (протокол № 10/22 від 10 липня 2022 р. )

**Орієнтовне завдання для домашньої контрольної роботи.**

1. Опишіть в об'ємі не менше 1 тис. знаків основне призначення експертної система CES – Cambridge Engineering Selector?
2. Опишіть принципи формування індексів матеріалів. Наведіть приклади індексів для оптимізації міцності матеріалів. (не менше 2 тис. знаків)
3. Опишіть підходи розв'язання компромісних задач. (не менше 3 тис. знаків)
4. Циліндричний стержень довжиною  $L$  та діаметром  $d$  деформується розтягуючим навантаженням  $T$ . Стержень не повинен демонструвати ні пластичної деформації ні зменшення діаметру більше ніж  $\Delta d$ . Оформити з ілюстраціями відповіді на наступні завдання:
  - а) Виразіть наведений опис специфікації умов роботи як критерій вибору матеріалу, як кількісне обмеження на властивість матеріалу, щоб він задовольняв вимогам. Для подальшої роботи з задачею використовуйте базу даних Level 2.
  - б) Згенеруйте log-log графік з осями: горизонтальна — межа плинності (Yield strength); вертикальна — відношення модуля пружності до коефіцієнта Пуасона. Використайте інструмент Limit для матеріалів, що відповідають критерію п. а), якщо:  $L=120$  мм,  $d=15$  мм,  $T=35$  кН і  $\Delta d=1.2 \cdot 10^{-2}$  мм. Позначте два матеріали, що відносяться до кераміки, один — до композитів та два — до металів. 53
  - в) Визначте: скільки матеріалів з п. б) будуть задовільняти обмеженню густини: не більше  $3.5$  г/см<sup>3</sup>. Ідентифікуйте 1 представника кераміки та 1 композиційних матеріалів, що задовольняють і вимогам міцності і вимогам маси.
  - г) Визначте одну спільну рису в хімічному складі усіх матеріалів, що задовільнили вимогам п. в), що їх відрізняє від матеріалів, які виключено з розгляду між п. б) та в). Зробіть висновок.
  - д) Проранжуйте матеріали, що пройшли п. г) за ціною. Для кожного з цих матеріалів визначте вартість матеріалу, що потрібний для виготовлення стержня, і відповідно значення вагового коефіцієнта.
5. Рівняння опору матеріалу термічному удару містить модуль пружності  $E$  та коефіцієнт лінійного термічного розширення  $\alpha_L$ . Визначимо  $E \cdot \alpha_L$  як параметр термічного удару  $TSR$ . Оформити з ілюстраціями відповіді на наступні завдання:
  - а) На log-log графіку залежності  $\alpha_L$  від  $E$  активувати контейнери сімейств матеріалів та позначити їх. Додайте лінію вибору, що відповідає рівним значенням величини  $E \cdot \alpha_L$  та обґрунтуйте вибір коефіцієнту нахилу такої лінії.
  - б) Графік частини а) показує, що жорсткі матеріали звичайно демонструють низькі значення термічного розширення. Поясніть таку поведінку в термінах залежності величин обох властивостей від міжатомних зв'язків.
  - в) Які дві категорії матеріалів мають найвище значення параметра  $TSR$ ? Які матеріали мають найнижчі значення цього параметра.
  - г) Проранжуйте наступні матеріали в кожній категорії від найвищого до найнижчого значення  $TSR$ . Визначіть для кожної категорії, що має більший вплив: низький модуль  $E$ , низький коефіцієнт термічного розширення  $\alpha_L$ , чи обидва. і) Кераміка: нітрид кремнію, оксид алюмінію, кварцеве скло, цегла ii) Метали: магнієві сплави, алюмінієві



*сплави, титанові сплави, сталі iii) Полімери: полікарбонат, PEEK, поліпропілен, політетрафторетилен.*

**Приклад запитань екзаменаційного білета**

1. Одержання індексів матеріалів за необхідності максимальної жорсткості виробу.
2. Модель технологічного процесу селективного лазерного спікання. Особливості.
3. Задача. З використанням системи CES обрати 2 різних класи матеріалів та по 3 матеріали в кожному, які забезпечують: міцність не нижче 120 МПа, задовільну стійкість в морській воді. Критерії оптимальності: мінімальна вартість, мінімальна маса.