



# Математичне і комп'ютерне моделювання 2 - Комп'ютерне моделювання методом скінченних елементів Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

## Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>IV курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3 кредити ECTS</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен / МКР</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	<i>Лектор: к.т.н., доц. Степанов Олег Васильович, <a href="mailto:ostepanoff@iff.kpi.ua">ostepanoff@iff.kpi.ua</a>; +380 50 330 68 15; Лабораторні (комп'ютерний практикум):к.т.н., доц. Степанов Олег Васильович, <a href="mailto:ostepanoff@iff.kpi.ua">ostepanoff@iff.kpi.ua</a>; +380 50 330 68 15;</i>
Розміщення курсу	<i>Googleclassroom : <a href="https://classroom.google.com/c/MjE4MjMwNDk3NjQ0">https://classroom.google.com/c/MjE4MjMwNDk3NjQ0</a> електронний кампус: <a href="https://ecampus.kpi.ua/">https://ecampus.kpi.ua/</a></i>

## Програма навчальної дисципліни

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

Комп'ютерне моделювання методом скінчених елементів є сучасним підходом розрахунку статичної та/чи динамічної поведінки досліджуваного об'єкту як реакції на зовнішні впливи різної природи: механічні, теплові, електричні, магнітні, комбіновані, тощо. Комп'ютерне моделювання методом скінчених елементів широко застосовується у найрізноманітніших галузях техніки від аналізу стійкості конструкцій до імітації поведінки потоків рідини чи газу, і, на початок 21 століття, є невід'ємною складовою практично кожного технічного проекту. Одним з найбільш поширених програмних засобів реалізації методу скінчених елементів є пакет ANSYS.

Розрахунки методом скінчених елементів успішно застосовуються в матеріалознавчій галузі починаючи з мезоскопічного масштабного рівня – розрахунок ефективних фізичних характеристик структурно-неоднорідних матеріалів, імітаційне моделювання технологічних процесів, аналіз поведінки матеріалів, як складової конструкцій, тощо.

**Предметом вивчення дисципліни** є прийоми розв'язання стандартних задач (теплових, механічних, гідродинамічних) методом скінчених елементів в програмному середовищі ANSYS.

Метою дисципліни є розвиток у студентів загальних компетентностей:

- здатності до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- здатності застосування знань у практичних ситуаціях
- здатності вчитися та оволодівати сучасними знаннями
- здатності виявляти, ставити та вирішувати проблеми
- здатності приймати обґрунтовані рішення
- здатності до адаптації та дії в новій ситуації
- здатності використання інформаційних і комунікаційних технологій
- здатності спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово

та формування фахових компетентностей:

- здатності застосовувати відповідні кількісні математичні, фізичні і технічні методи і комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних матеріалознавчих завдань
- здатності ефективно використовувати технічну літературу та інші джерела інформації і галузі матеріалознавства
- здатності застосовувати системний підхід до вирішення інженерних матеріалознавчих проблем
- здатності застосовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів, необхідних для підтримки діяльності в сфері матеріалознавства
- здатності застосовувати сучасні методи математичного та фізичного моделювання, дослідження структури, фізичних, механічних, функціональних та технологічних властивостей матеріалів для вирішення матеріалознавчих проблем
- здатності організувати роботу відповідно до вимог безпеки життєдіяльності й охорони праці

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

- Знання логіки та методології наукового пізнання
- Знання сучасних інформаційних та комунікаційних технологій
- Знання екологічно небезпечних та шкідливих факторів професійної діяльності і методів їх визначення
- Знання принципів організації особистої діяльності, методів постановки і розробки структури особистої діяльності
- Знання алгоритму дії в стандартних професійних ситуаціях
- Знання базові та сучасні з інженерних дисциплін
- Уміння застосовувати логіку та методологію наукового пізнання
- Уміння використовувати знання фундаментальних наук на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми
- Уміння володіти засобами сучасних інформаційних та комунікаційних технологій
- Уміння застосовувати свої знання для вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі
- Уміння вільно спілкуватися державною та іноземною мовами з професійних питань як усно, так і письмово
- Уміння використовувати методи фізичного і математичного моделювання для створення нових і удосконалення існуючих матеріалів, технологій їх виготовлення
- Уміння обирати і застосовувати придатні типові методи дослідження (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні); правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки
- Уміння знаходити потрібну інформацію у літературі, консультиватися і використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань

- Уміння використовувати можливості сучасних CAD/CAM/CAE систем для розрахунку та проектування виробів, оснащення і устаткування
- Уміння проводити дослідження, розрахунки і конструювання композитів і покриттів із вихідних порошків різного ступеня дисперсності
- 

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

Дисципліна викладається у сьомому семестрі підготовки за освітньо-професійною програмою бакалаврів, має систематизуючий характер. Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен оволодіти набором компетентностей та програмних результатів навчання дисциплін:

- Вища математика;
- Фізика;
- Інформатика, обчислювальна техніка, програмування та числові методи;
- Теоретична та прикладна механіка;
- Математичне і комп'ютерне моделювання 1 – Методи математичного моделювання та оптимізації;
- Інженерна та комп'ютерна графіка.

Результати вивчення дисципліни необхідні для вивчення дисциплін:

- Основи комп'ютерного дизайну матеріалів;
- При виконанні курсових та дипломних робіт (проектів) та як складова інтегральної компетентності підготовки за освітньо-професійною програмою.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

**Розділ 1.** Проблема розв'язання диференціальних рівнянь з частинними похідними.

**Тема 1.** Диференціальні рівняння з частинними похідними. Класифікація рівнянь. Граничні та початкові умови. Обґрунтування методу скінчених елементів.

**Розділ 2.** Задачі теплоперенесення.

**Тема 2.** Стаціонарне теплоперенесення, визначальне рівняння, властивості домену, граничні умови.

**Тема 3.** Нестационарне теплоперенесення, особливості визначального рівняння. Початкові та граничні умови, властивості матеріалу домену.

**Розділ 3.** Задачі структурної механіки

**Тема 4.** Визначальне рівняння для задач структурної механіки, граничні умови для задач структурної механіки.

**Тема 5.** Розрахунки в області пластичної деформації. Принципи генерації пластичних характеристик (особливості пластичного зміцнення).

**Розділ 4.** Гідродинамічні та газодинамічні розрахунки.

**Тема 6.** Гідродинамічні та газодинамічні розрахунки, основи методу скінчених об'ємів

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

### **4.1 Базова література**

1. An Introduction to Computer Simulation. M.M. Wolfson and G.J. Pert. Oxford University press. 1999.- 312 p.

2. Xiaolin Chen, Yijun Liu. *Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench*. CRC Press Taylor & Francis Group. 2019. - 471 p.
3. Ever J. Barbero *Finite Element Analysis of Composite Materials Using ANSYS*. CRC Press. – 2014. – 314 p.
4. Комп'ютерні технології розрахунку просторових конструкцій при статичних і динамічних навантаженнях. В.А.Баженов, М.О.Вабішевич, Ю.В.Ворона та ін. Київ: Каравела, 2018. – 314 с.

Базова література доступна в електронному репозиторії кафедри у вигляді електронних копій у форматах pdf або djvu.

#### Додаткова література

1. Басов К.А. *ANSYS для конструкторов*. ДМК Пресс – 2016. – 248 с.
2. Dechaumphai P., Sucharitpawatskul S. *Finite Element Analysis with ANSYS Workbench*. Oxford, U.K.: AlphaScienceInternationalLtd, 2018. – 280 p.

## Навчальний контент

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

#### 5.1 Лекції (18 годин)

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

Диференціальні рівняння з частинними похідними, їх класифікація та застосування до інженерних задач. Складність одержання аналітичного розв'язку. Чисельні методи розв'язку рівнянь з частинними похідними. Обґрунтування методу скінчених елементів. [1, 4]

**Заняття 2.** Задачі стаціонарної теплопровідності. Одержання визначального рівняння. Закон збереження енергії. Граничні умови. Реалізація задачі стаціонарної теплопровідності засобами ANSYS Workbench. [1, 2, 3].

**Заняття 3.** Задачі нестаціонарної теплопровідності. Особливості визначального рівняння для випадку нестаціонарної теплопровідності, граничні та початкові умови. Реалізація багатостадійного розрахунку засобами ANSYS Workbench. Аналіз поля температур у виробі в процесі його нагрівання / охолодження. [1, 2, 3].

**Заняття 4.** Модульна контрольна робота (2 ак. години).

**Заняття 5.** Задачі структурної механіки в області пружної деформації. Одержання визначального рівняння. Матриця жорсткості системи.[1, 3, 4]. Приведення визначального рівняння до вигляду нормально визначеної системи рівнянь (кількість невідомих = кількість рівнянь). Граничні умови. Властивості матеріалу домену, необхідні для розрахунку. Засоби верифікації результатів. Аналіз на згин / кручення деталі заданої геометрії [1, 3, 4].

**Заняття 6.** Особливості аналізу довговимірних виробів з постійною площею поперечного перетину – «одновимірні» реалізація методу скінчених елементів [1, 2, 3, 4].

**Заняття 7.** Задачі структурної механіки за наявності пластичної деформації. Реалізація «пластичних» властивостей матеріалів засобами ANSYS Workbench. Білінійна та трілінійна модель пластичного зміцнення матеріалів. Особливості проведення розрахунків, оцінки результатів. [1, 2, 3].

**Заняття 8.** Задачі розрахунку потоків рідин та газів. Одержання визначального рівняння. Поле тисків та поле швидкостей. Граничні умови. [1, 2, 3].

**Заняття 9.** Задачі розрахунку потоків рідин та газів. Основи застосування методу скінчених об'ємів. Нелінійний характер задачі та засоби лінеаризації рівнянь [1, 2, 3].

## 5.2 Комп'ютерний практикум (18 годин)

### Мета комп'ютерного практикуму:

- практично оволодіти реалізацією методу скінчених елементів для розв'язання класичних задач в середовищі ANSYS Workbench.

### Зміст комп'ютерних практикумів

1. Задача стаціонарної теплопровідності (2 години)
2. Задача нестаціонарної теплопровідності (4 години)
3. Аналіз напружено-деформованого стану в області пружної деформації (2 години)
4. Аналіз напружено-деформованого стану в області пластичної деформації (4 години)
5. Аналіз розподілу швидкостей в ламінарному потоці рідини (4 години)
6. Підсумкове заняття (2 години)

### 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів (загальна тривалість 54 години) полягає у:

Підготовці та аналізі результатів комп'ютерних практикумів (18 годин)

Підготовці до МКР всього 6 годин

Підготовці до семестрової атестації – екзамену – 30 годин.

## 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 пропущеного комп'ютерного практикуму студент має виконати в час, узгоджений з викладачем.
- У випадку пропуску заняття, коли виконується МКР, студент одержує для самостійного виконання завдання, рівноцінне пропущеному.
- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання месенджерів у беззвучному режимі. Під час комп'ютерних практикумів дозволяється застосування персональних комп'ютерів для пошуку інформації, використання власних ресурсів, тощо.
- Результати виконаних комп'ютерних практикумів оформлюються 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 досягнення – зокрема проведення розрахунків, орієнтованих на власну наукову роботу студента або на виконання курсового проекту.
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність своєчасного виконання завдань. Конспект пропущеної лекції має бути виконаний і поданий на перевірку не пізніше 2-х тижнів з часу пропущеної лекції. У випадку пропуску лекції через тривалу хворобу – не більше 2-х тижнів після одужання. Звіти з практичних занять виконуються і подаються на перевірку не пізніше 2-х тижнів з моменту завершення. Усі письмові документи мають бути захищені до закінчення теоретичного навчання в семестрі.
- 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 звітів та захисту комп'ютерних практикумів;
- виконання модульної контрольної роботи

Повне виконання та захист результатів комп'ютерного практикуму оцінюється в 7 балів (4 практикуми = 28 балів). Неповне виконання завдання, помилки в алгоритмах розрахунку, кінцевих результатах призводить до зниження оцінки на 1 або 2 бали.

Максимальна оцінка за модульну контрольної роботи складає 20 балів. Неповне виконання завдання, помилки у використанні алгоритмів, некоректна зупинка алгоритму призводить до зниження оцінки на 1-9 балів.

Календарний контроль проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Студенти, які на момент календарного контролю мають суму результатів поточного контролю, яка не менше 50% максимально можливої одержують позитивну оцінку, у іншому випадку – негативну.

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 48 балів, екзаменаційної 52 бали.

Умови допуску до екзамену: виконання та захист звітів з усіх практикумів, сума балів стартової складової не нижче 29, що складає 60% максимального значення.

Стартова складова рейтингової оцінки доводиться до здобувачів на останньому занятті з дисципліни в семестрі, але після захисту усіх звітів з комп'ютерних практикумів.

**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)

9.1. Особливості навчання за змішаною або дистанційною формою, пов'язані з дотриманням протиепідемічних заходів введених державними або місцевими органами влади та/або адміністрацією університету.

Викладання дисципліни за змішаною або дистанційною формою навчання здійснюється з застосуванням платформи [google.classroom](https://classroom.google.com/) та середовища [google.meet](https://meet.google.com/).

Лекційні заняття проводяться в on-line режимі. Теми лекційних занять, демонстраційний матеріал у вигляді презентацій з текстовими коментарями, контрольні запитання

надаються студентам заздалегідь. Лекційний час використовується у співвідношення 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.

Комп'ютерні практикуми виконуються із застосуванням власних засобів комп'ютерної техніки студентів з встановленою системою *ANSYS Academic Edition*. Рекомендоване середовище виконання розрахунків – *on-line* електронні таблиці комплексу *google.docs*. *On-line* підключення необхідне на початку заняття для одержання допуску до виконання комп'ютерного практикуму та одержання завдання. Викладач відповідає на запитання студентів одержані як із сеансу *google.meet* (голосом або через чат) так і через інші засоби електронного зв'язку.

Контрольні заходи проводяться у *on-line* режимі.

#### 9.2. Зарахування результатів проходження дистанційних курсів

Враховуючи сучасний розвиток систем дистанційної освіти і різноманітність курсів, що пропонуються провідними університетами світу, студенти можуть оволодівати знаннями з окремих розділів навчальної дисципліни з використанням сервісів *edx.org*, *coursera.org* або *prometeus.org.ua*. Умови зарахування результатів проходження дистанційного навчання визначаються в індивідуальному порядку. Студент, що бажає зарахувати результати дистанційного навчання, має звернутись до викладача з інформацією про дистанційний курс та власні побажання щодо його перезарахування. Рішення про перезарахування може бути прийнято в будь-який час, до проведення підрахунку середньорейтингу і не може бути відмінене. Рекомендований дистанційний курс: *CornellX ENGR2000XA Hands-on Introduction to Engineering Simulations* на платформі **edx.org**; адреса: <https://www.edx.org/course/a-hands-on-introduction-to-engineering-simulations>

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

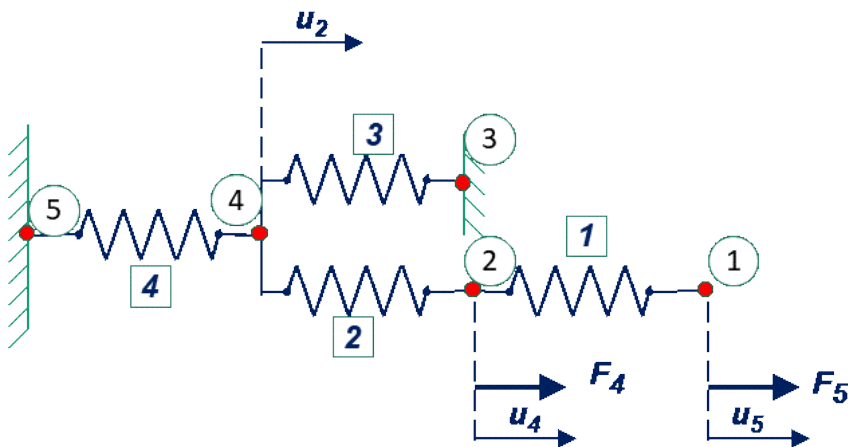
**Складено** доцент каф. ВТМ та ПМ, к.т.н., доцент Степанов Олег Васильович

**Ухвалено** кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)

**Погоджено** Методичною комісією

Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О Патона (протокол № \_\_ від \_\_\_\_\_)

## Приклад завдання на МКР



За відомими значеннями коефіцієнтів жорсткості елементів 1, 2, 3, 4 та сил  $F_4$  і  $F_5$  визначити переміщення точок 1, 2, 3, 4.

## Перелік екзаменаційних запитань

1. Для розв'язання яких задач призначений метод скінчених елементів?
2. Яка мета етапу препроцесора?
3. Яка мета етапу постпроцесора?
4. Які граничні умови необхідні для задач стаціонарної теплопровідності?
5. Які закони збереження використовуються для одержання визначального рівняння стаціонарної теплопровідності?
6. Що є степенями свободи в задачах стаціонарної та нестаціонарної теплопровідності?
7. Які властивості матеріалу необхідні для задачі стаціонарної теплопровідності?
8. Які властивості матеріалу необхідні для задачі нестаціонарної теплопровідності?
9. Які властивості матеріалу необхідні для задачі нестаціонарної теплопровідності?
10. Для яких задач призначений розрахунок *Static Structural* в системі ANSYS?
11. На яких законах базується визначальне рівняння розрахунку *Static Structural*?
12. Чим обумовлена нелінійність деформаційної задачі в області пластичної деформації?
13. Які характеристики матеріалу необхідні для розрахунків напружено-деформованого стану в межах пружності?
14. Які характеристики матеріалу необхідні для розрахунків напружено-деформованого стану з урахуванням пластичної деформації?
15. Що є степенями свободи в задачах аналізу напружено-деформованого стану?
16. На яких законах базується визначальне рівняння ламінарного потоку рідини?
17. Які властивості матеріалу використовуються для аналізу ламінарних?