

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

МАГІСТР

Кафедра опору матеріалів

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Декан будівельного факультету

 / Г.М. Іванченко /
«21» серпня 2023 року

РОБОЧА ПРОГРАМА ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ

Вибірковий курс
" Інженерні задачі теорії пружності "
(назва навчальної дисципліни)

шифр	назва спеціальності
192	Будівництво та цивільна інженерія
	ОПП «Промислове і цивільне будівництво» другого (магістерського) рівня вищої освіти

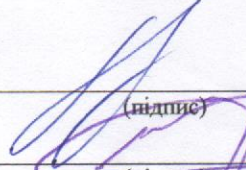
Розробник(и):

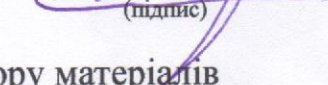
Людмила ГРИГОР'ЄВА, к.ф.-м.н., доцент

(прізвище та ініціали, науковий ступінь, звання)

Дмитро ЛЕВКІВСЬКИЙ, к.т.н., доцент

(прізвище та ініціали, науковий ступінь, звання)

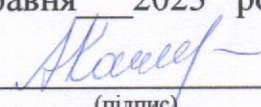

(підпис)


(підпис)

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри опору матеріалів

протокол № 1 від "25" травня 2023 року

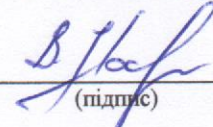
Завідувач кафедри


(підпис)

Олександр КОШЕВИЙ
(прізвище та ініціали)

Схвалено гарантом освітньо-професійної програми: «Промислове і цивільне будівництво» другого (магістерського) рівня вищої освіти

Гарант ОПП


(підпис)

Віктор НОСЕНКО
(прізвище та ініціали)

Розглянуто на засіданні науково-методичної комісії спеціальності
протокол № 8 від "21" серпня 2023 року

ВИТЯГ З НАВЧАЛЬНОГО ПЛАНУ

[illegible][illegible]

Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета освітньої компоненти " Інженерні задачі теорії пружності" – ознайомити студентів з базовими методами та задачами теорії пружності, надати практичні навички використання чисельних програм розрахунку елементів конструкцій на міцність, жорсткість та стійкість.

Завдання освітньої компоненти – сформувати навички розрахунку елементів конструкцій, побудувати аналітичні розв’язки для окремих задач теорії пружності, порівняти отримані результати з чисельними результатами.

Освітня компонента «Інженерні задачі теорії пружності» викладається на базі знань з фундаментальних та професійно-орієнтованих дисциплін: Вища математика, Фізика, Теоретична механіка, Опір матеріалів, Будівельна механіка.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати: основні поняття та теоретичні основи теорії пружності, вміти робити постановку задач, вибирати оптимальний метод розрахунку, опанувати чисельні методи для розв’язання задач теорії пружності.

вміти:

- виконувати перехід від реального тіла до розрахункової схеми;
- визначати тип напружено-деформованого стану за зовнішнім навантаженням;
- вміти робити постановку задач, задавати граничні умови та навантаження;
- вибирати оптимальний метод розрахунку;
- застосовувати чисельні та аналітичні засоби для розв’язання задач;
- проводити аналіз отриманого напружено-деформованого стану;
- виконувати верифікацію отриманих результатів шляхом порівняння з розрахунками іншими методами.

Компетенції здобувачів освітньої програми, що формуються в результаті засвоєння освітньої компоненти

Інтегральна компетентність (ІК)	Здатність розв’язувати складні спеціалізовані та науково-практичні задачі під час професійної діяльності в сфері будівництва та цивільної інженерії, що характеризуються комплексністю та передбачають проведення досліджень та/або застосування інновацій і характеризується невизначеністю умов і вимог
Загальні компетентності (ЗК)	ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. ЗК3. Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами/спеціалістами з інших галузей знань/видів економічної діяльності). ЗК4. Здатність спілкуватися іноземною мовою з використанням словників та довідників. ЗК5. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями. ЗК6. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

	ЗК7. Здатність до адаптації та дії в новій ситуації. ЗК8. Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
Фахові компетентності (ФК)	ФК1. Знання основних нормативно-правових актів та довідкових матеріалів, основних національних та європейських норм проектування, стандартів і технічних умов та інших нормативно-розпорядчих документів за спеціальністю будівництво та цивільна інженерія. ФК2. Здатність складати, оформляти і оперувати технічною документацією при розв'язанні конкретних інженерно-технічних завдань за спеціальністю будівництво та цивільна інженерія, спеціалізації промислове і цивільне будівництво; ФК3. Уміння аргументувати вибір методів розв'язання спеціалізованих задач будівництва, критично оцінювати отримані результати та захищати прийняті рішення. ФК4. Знання та розуміння сучасних методів будівельної механіки, вміння їх застосувати для розрахунку взаємодії будівельних конструкцій між собою та з ґрунтовими основами використовуючи інноваційні систем автоматизованого проектування.

**Програмні результати навчання,
що формуються в ході вивчення дисципліни**

ПР1. Демонструвати вміння аналізувати інформацію за напрямі професійної діяльності, вміти виявляти проблеми та на базі отриманих знань формувати шляхи їх вирішення, робити звіти та доповіді про реалізацію роботи, критично оцінити її результати, виявляти шляхи покращення результатів.
ПР3. Демонструвати здатність розуміти як загальні фахові, так і професійно-орієнтовані національні і європейські нормативні документи, технічні та наукові публікації та використовувати їх у своїй діяльності для вирішення нестандартних задач.
ПР4. Демонструвати здатність працювати з технічною документацією та сучасними прогнами засобами і технологіями проектування та будівництва для розв'язанні складних інженерно-технічних завдань при реалізації комплексних проектів.
ПР5. Застосовувати основні принципи, теорії та методи будівельної механіки для розрахунку взаємодії будівельних конструкцій між собою та з ґрунтовим середовищем використовуючи інноваційні систем автоматизованого проектування.
ПР7. Продемонструвати вміння проектувати конструкції будівель і споруд різної архітектурної та технічної складності, з використанням сучасних систем багатовимірного моделювання, забезпечуючи надійні та економічно обґрунтовані проектні рішення.

Програма навчальної дисципліни

Змістовний модуль 1.

Лекція 1. Статичні співвідношення. Тензор напружень, напруження на похилій площадці. Головні напруження та головні площадки. Екстремальні дотичні напруження. Оцінка міцності за класичними теоріями та в чисельних ПК.

Лекція 2. Геометричні співвідношення. Переміщення та деформації, види деформацій. Залежності між переміщеннями і деформаціями. Лінійні та кутові деформації. Тензор деформацій. Співвідношення Коші. Рівняння сумісності деформацій Сен-Венана. Аналіз деформацій в чисельних ПК.

Лекція 3. Рівняння рівноваги для внутрішніх точок пружного тіла та на його поверхні. Фізичні співвідношення, узагальнений закон Гука. Постановка задач теорії пружності. Задання механічних характеристик матеріалу в чисельних ПК.

Лекція 4. Плоска деформація, плоский напружений стан. Плоска задача теорії пружності в напруженнях та переміщеннях. Постановка граничних умов.

Лекція 5. Метод скінченних елементів для розрахунку задач теорії пружності. Типи скінченних елементів. Постановка граничних умов. Побудова розв'язку (Solution) в чисельних ПК.

Лекція 6. Розрахунок пластини в плоскому напруженому стані (балка-стінка). Функція напружень Ері. Бігармонічне рівняння. Рамна аналогія. Розв'язок в скінченних різницях та скінченними елементами. Порівняння результатів.

Лекція 7. Згин пластин. Класифікація пластин. Гіпотези тонких пластин. Внутрішні зусилля при згині тонких пластин. Диференціальне рівняння згину прямокутної пластини. Циліндрична жорсткість. Граничні умови.

Лекція 8. Згин круглої пластини. Залежність між внутрішніми зусиллями, деформаціями та переміщеннями. Диференціальне рівняння згину круглих пластин при осесиметричному навантаженні. Загальний розв'язок та визначення констант інтегрування.

Лекція 9. Динамічні задачі теорії пружності. Диференціальні рівняння руху, вільні, вимушені та нестационарні коливання. Моді та форми коливань. Амплітудно-частотні характеристики.

Лекція 10. Додаткові можливості скінченноелементних ПК. Випадкові коливання, удар, температурні задачі, спряжені поля, розрахунок на стійкість.

Практичні заняття

Змістовний модуль 1

Практичне заняття 1. Тензор напружень. Визначення напружень на похилій площадці. Визначення головних напружень та головних напрямків для заданого напруженого стану. Лінійні та кутові деформації. Визначення деформацій для заданого деформованого елемента. Побудова тензора деформацій.

Практичне заняття 2. Узагальнений закон Гука в прямій та оберненій формі. Визначення компонент тензора напружень по заданому тензору деформацій і навпаки. Оцінка міцності.

Практичне заняття 3. Основні етапи розрахунку в чисельних ПК. Інтерфейс

програми. Моделювання, задання матеріальних характеристик, способи побудови скінченно- елементної сітки. Mesh Tool. Робота з бібліотеками матеріалів. Розрахункові скінченноелементні формули. Процесор розв'язку Solution. Постпроцесорна обробка.

Практичне заняття 4. Знайомство з CAD системою. Інтерфейс, основні інструменти, побудова тривимірної моделі.

Практичне заняття 5. Прокатна балка. Побудова тривимірної моделі прокатної балки, задання граничних умов, розрахунок Static Structural, аналіз отриманих результатів та порівняння з аналітичним розв'язком по теорії Нав'є.

Практичне заняття 6. Система аналізу Buckling. Завдання умов закріплення та навантаження. Визначення критичних навантажень. Аналіз знайдених форм втрати стійкості. Порівняння з аналітичними результатами.

Практичне заняття 7. Розрахунок балки-стілки за допомогою скінченноелементного ПК. Побудова двовимірної моделі, створення матеріалу, граничних умов та розбиття. Розв'язання задачі. Порівняння з тривимірним розв'язком. Порівняння отриманих результатів із розв'язком, отриманим методом скінченних різниць.

Практичне заняття 8. Згин круглої пластини. Побудова вісесиметричної та тривимірної моделі, задання матеріальних характеристик та граничних умов. Розв'язання задачі. Аналіз отриманих результатів. Порівняння розв'язків між собою та з аналітичним розв'язком.

Практичне заняття 9. Динамічний аналіз. Modal: визначити власні частоти та форми коливань балки, провести їх аналіз. Harmonic Response: Побудувати амплітудно-частотні залежності для еквівалентних напружень та переміщень. Визначити власні частоти та порівняти з результатом модального розрахунку. Transient Structural: прикласти імпульсне навантаження та побудувати графіки переміщень та напружень в заданих точках від часу.

Практичне заняття 10. Основні можливості та сфера застосування Random Vibration, Response Spectrum, Coupled Fields, Steady-State Thermal, Rigid Dynamics.

Індивідуальні завдання Розрахунково-графічна робота №1.

Задача 1. Розрахунок прокатної балки

Задано: відомі розміри прокатної балки, навантаженням, матеріал.

Потрібно: побудувати геометричну модель тіла, скінченно-елементну модель, задати умови закріплення та навантаження, виконати розрахунок. Проаналізувати отриманий напружено-деформований стан та порівняти з аналітичним розв'язком по одновимірній моделі.

Задача 2. Стійкість стержневих елементів конструкції.

Задано: розміри стержня, умови закріплення, навантаження, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона.

Потрібно: побудувати геометричну модель тіла, скінченно-елементну модель, задати умови закріплення та навантаження, виконати розрахунок на стійкість, проаналізувати критичні сили та форми втрати стійкості. Порівняти отримані результати з знайденими аналітично.

Задача 3. Розрахунок балки-стілки.

Задано: розміри прямокутної пластини, умови закріплення, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона. Пластина в стані плоского напруженого стану.

Потрібно: побудувати геометричну двовимірну та тривимірну модель тіла, скінченно-елементну модель, задати умови закріплення та навантаження, виконати розрахунок. Проаналізувати отриманий напружено-деформований стан. Побудувати графіки нормальних та дотичних напружень. Порівняти з аналітичним розв'язком. Створити автоматичний звіт програми по задачі.

Задача 4. Розрахунок кільцевої пластини

Задано: схема кільцевої пластини, внутрішній та зовнішній радіуси, умови закріплення, навантаження модуль пружності, коефіцієнт Пуассона. Пластина навантажена вісесиметричним зовнішнім навантаженням.

Потрібно: побудувати геометричну тривимірну та вісесиметричну модель тіла, скінченно-елементну моделі, задати умови закріплення та навантаження, виконати розрахунок. Проаналізувати отримані напружено-деформовані стани. Порівняти отримані результати між собою та з аналітичним розв'язком.

Задача 5. Динамічні задачі механіки.

Задано: розміри стержня, умови закріплення, навантаження у вигляді приєднаної маси та динамічної сили, матеріал.

Потрібно: побудувати геометричну модель тіла, скінченно-елементну модель, задати умови закріплення та навантаження, виконати розрахунок на: 1) **вільні коливання:** визначити власні частоти та форми коливань, провести їх аналіз.

2) **гармонічні коливання:** Побудувати амплітудно-частотні залежності для еквівалентних напружень та переміщень. Визначити власні частоти та порівняти з результатом модального розрахунку.

3) **нестаціонарне збурення:** прикласти імпульсне навантаження та побудувати графіки переміщень та напружень в заданих точках від часу.

Методи контролю та оцінювання знань студентів

Розподіл балів для дисципліни з формою контролю залік

2 семестр магістратури (денна форма навчання):

Поточне оцінювання					Підсумковий тест (залік)	Сума балів
Номери задач						
1	2	3	4	5		
15	15	15	15	15	25	100

Рекомендована література

Підручники та навчальні посібники:

1. Григор'єва Л.О., Левківський Д.В., Кошевий О.П. Опір матеріалів з основами теорії пружності: курс лекцій . – Київ: Видавництво Ліра-К, 2021. – 270 с. ISBN 978-617-520-044-5
2. Сучасні методи теорії пружності (курс лекцій): навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів фізико-математичних спеціальностей. Укладачі: Дудик М.В., Діхтяренко Ю.В. – Умань: ПП «Жовтий», 2015. – 108 с.
3. Основи лінійної теорії пружності, пластичності та повзучості: Навч. посібник / Е.Д. Чихладзе, М.А. Веревічева, Є.І. Галагура та ін. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 149 с.
4. Лазарева Д.В., Сорока М.М., Шиляєв О.С. Прийоми роботи з ПК ANSYS при розв'язанні задач механіки: монографія / Під ред. М.Г. Сур'янінова. – Одеса: ОДАБА, 2020. – 432 с. ISBN 978-617-7900-08-4.
5. Опір матеріалів з основами теорії пружності й пластичності: Навч. посібник у 2 ч., 5 кн. / За ред. В.Г. Піскунова. – К.: Вища школа. – 1995.

Методичне забезпечення дисципліни:

6. Інженерні задачі теорії пружності в ПК «ANSYS» Частина 1. Дослідження напружено-деформованого стану балки при згині. Buckling Analysis.: методичні рекомендації, завдання та приклади до виконання розрахунково-графічних робіт / уклад: Д. В. Левківський, Л. О. Григор'єва, – К.: КНУБА, 2023. – 37 с
7. Інженерні задачі теорії пружності в ПК ANSYS: методичні рекомендації, завдання та приклади до виконання розрахунково-графічних робіт / уклад: Д. В. Левківський, Л. О. Григор'єва, – К.: КНУБА, 2023. – 73 с.

Додаткові джерела:

1. <https://courses.ansys.com/>
2. <https://learning.edx.org/course/course-v1: CornellX+ENGR2000X+1T2018/home>
3. <https://www.youtube.com/c/SimuTechGroup>
4. <https://www.youtube.com/c/drdalyo>
5. <https://www.youtube.com/c/AnsysLearning>
6. https://www.youtube.com/watch?v=9okytX7YT4&ab_channel=G-NEWS
7. <https://www.youtube.com/c/ANSOL>
8. <https://www.ansys.com/academic/students#tab3>