

Київський національний університет  
будівництва і архітектури  
Кафедра опору матеріалів  
«Затверджую»

Шифр  
Спеціальності  
192

Назва спеціальності,  
освітньої програми  
Будівництво та  
цивільна інженерія

Сторінка 1 з 4

Завідувач кафедри  
Кошевий О.П.

«30» червня 2022 р.

Розробник силябуса  
Григор'єва Л.О.



## СИЛАБУС

### Інженерні задачі теорії пружності

(назва освітньої компоненти (дисципліни))

1) Шифр за освітньою програмою: ВК
2) Навчальний рік: 2022/2023
3) Освітній рівень: магістр
4) Форма навчання: денна
5) Галузь знань: 19 АРХІТЕКТУРА ТА БУДІВНИЦТВО
6) Спеціальність, назва освітньої програми: 192 Будівництво та цивільна інженерія ОПП «Промислове і цивільне будівництво» другого (магістерського) рівня вищої освіти
8) Статус освітньої компоненти: вибіркова
9) Семестр: 2
11) Контактні дані викладача: Григор'єва Людмила Олександрівна, доцент, к.ф.-м.н. <a href="mailto:grygorieva.lo@knuba.edu.ua">grygorieva.lo@knuba.edu.ua</a> , <a href="https://www.knuba.edu.ua/faculties/bf/kafedri-bf/kafedra-oporu-materialiv/vkladackij-sklad-4/grigoryeva-lyudmila-oleksandrivna/">https://www.knuba.edu.ua/faculties/bf/kafedri-bf/kafedra-oporu-materialiv/vkladackij-sklad-4/grigoryeva-lyudmila-oleksandrivna/</a> (зазначається посада, вчений ступінь, ПІБ викладача, корпоративна адреса електронної пошти, телефон, посилання на сторінку викладача на сайті КНУБА)
12) Мова викладання: українська
13) Пререквізити: вища математика, теоретична механіка, фізика, опір матеріалів, будівельна механіка.
14) Мета курсу: ознайомлення з основними положеннями та засобами теорії пружності, засвоєння базових навичок інженерних розрахунків елементів конструкцій в скінченно-елементних застосунках, аналіз отриманих результатів.

#### 15) Результати навчання:

№	Програмний результат навчання	Метод перевірки навчального ефекту	Форма проведення занять	Посилання компетентності
1.	Демонструвати вміння аналізувати інформацію за напрямі професійної діяльності, вміння 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.	Проміжний та підсумковий контроль (захист РГР, залік)	Лекції, практичні заняття та самостійна робота	ІК ЗК01 ФК01 ФК10

Шифр Спеціальності 192	Назва спеціальності, освітньої програми Будівництво та цивільна інженерія	Сторінка 1 з 4	
2.	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.	Проміжний та підсумковий контроль (захист РГР, залік) Лекції, практичні заняття та самостійна робота	ІК ЗК1 ЗК2 ФК1 ФК2
3	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.	Проміжний та підсумковий контроль (захист РГР, залік) Лекції, практичні заняття та самостійна робота	ІК ЗК3 ЗК4 ЗК5 ФК2 ФК3
4	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.	Проміжний та підсумковий контроль (захист РГР, залік) Лекції, практичні заняття та самостійна робота	ІК ЗК5 ЗК6 ФК3 ФК4
5	ПР7. Продемонструвати вміння проектувати конструкції будівель і споруд різної архітектурної та технічної складності, з використанням сучасних систем багатовимірною моделювання, забезпечуючи надійні та економічно обґрунтовані проектні рішення.	Проміжний та підсумковий контроль (захист РГР, залік) Лекції, практичні заняття та самостійна робота	ІК ЗК5 ЗК7 ФК4

#### 16) Структура курсу:

Лекції, год.	Практичні заняття, год.	Лабораторні заняття, год.	Курсовий проект/ курсова робота РГР/Контрольна робота	Самостійні робота здобувача, год.	Форма підсумко- вого контролю
20	20	-	1 РГР	50	2 сем залік
<b>Сума годин:</b>				90	
<b>Загальна кількість кредитів ECTS</b>				3	
<b>Кількість годин (кредитів ECTS) аудиторного навантаження:</b>				40	

#### 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 Змістовий 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, внутрішні та зовнішні 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.

## **18) Основна література:**

### **Підручники, навчальні посібники, конспекти лекцій:**

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. Шкелев Л.Т. Теория упругости: конспект лекцій / Л.Т. Шкелев, А.Н. Станкевич. – К.: КНУСА, 2013. – 152 с.
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости: пер. с англ. / Под ред. Г. С. Шапиро. – М.: Наука, 1979. – 560 с.
4. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 264 с.
5. Дашенко А.Ф., Лазарева Д.В., Сурьянинов Н.Г. ANSYS в задачах инженерной механики: монография / Под ред. Н.Г. Сурьянинова.- Харьков: «Бурун и Ко», 2011.- 504 с. ISBN 978-966-8391-17-0.
6. Лазарева Д.В., Сорока М.М., Шиляев 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.
7. Опір матеріалів з основами теорії пружності й пластичності: Навч. посібник у 2 ч., 5 кн. / За ред. В.Г. Піскунова. – К.: Вища школа. – 1995.

### **Методичні роботи:**

8. Опір матеріалів. Аналіз просторового напруженого стану : Методичні рекомендації і завдання до виконання розрахунково-графічних робіт для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 0601 «Будівництво» // Уклад.: М. О. Шульга, Л. О. Григор'єва.–К.: КНУБА, 2009. – 40 с.
9. Кільцева пластина. Методичні рекомендації до виконання розрахунково-графічної роботи/Уклад: М. О. Пеклов. – Київ : КНУБА 2003. – 64с.
10. Опір матеріалів. Плоска задача теорії пружності: Методичні рекомендації та завдання до виконання розрахунково-графічної роботи та індивідуальних завдань / Уклад.: Ю.А.Морсков, В.С.Єременко, О.П.Кошевий, А.М.Станкевич. - К.:КНУБА, 2003.-39с.

Шифр Спеціальності 192	Назва спеціальності, освітньої програми Будівництво та цивільна інженерія	Сторінка 1 з 4
------------------------------	--	----------------

19) 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=9okytKX7YT4&ab\\_channel=G-NEWS](https://www.youtube.com/watch?v=9okytKX7YT4&ab_channel=G-NEWS)
7. <https://www.youtube.com/c/ANSOL>
8. <https://www.ansys.com/academic/students#tab3>

20) Система оцінювання навчальних досягнень (розподіл балів):

	Поточне оцінювання					Підсумковий контроль	Сума
	Задача1	Задача2	Задача2	Задача3	Задача2		
2 семестр	15	15	15	15	15	25	100

21) Умови допуску до підсумкового контролю: відвідування 75% аудиторних занять, здано і захищено всі РГР та лабораторні роботи

22) Політика щодо академічної доброчесності: з метою закріплення навиків інженерних обчислень РГР виконуються самостійно та підлягають захисту (у вигляді тесту або контрольної роботи). На екзамені дозволяється користуватися лише власними записами на окремому листку

23) Посилання на сторінку електронного навчально-методичного комплексу дисципліни:  
<http://org2.knuba.edu.ua/course/view.php?id=2036>