



# СПЕЦІАЛЬНІ ЗАДАЧІ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Динаміка і міцність машин</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4-й курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин / 4,0 кредити (лекції – 36 год.; практичні заняття – 36 год.; самостійна робота – 48 год.)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/Модульна контрольна робота/Розрахунково-графічна робота</i>
Розклад занять	<i><a href="https://schedule.kpi.ua/?groupId=643f5371-98b5-4620-95aa-b0cb0062550e">https://schedule.kpi.ua/?groupId=643f5371-98b5-4620-95aa-b0cb0062550e</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., проф., Бабенко Андрій Єлісейович Практичні: д.т.н., проф., Бабенко Андрій Єлісейович, к.т.н., Коваль Віктор Вікторович, <a href="mailto:mdpm@ukr.net">mdpm@ukr.net</a>.</i>

### Програма навчальної дисципліни

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

У деяких випадках, при визначенні напружено-деформованого стану деталей та вузлів агрегатів, у силу деяких обставин обмежитися лише лінійною постановкою задачі теорії пружності не представляється можливим. Таким чином, для формулювання розв'язку таких задач у кінцевому вигляді необхідно володіти відповідними методами, які можуть бути використані у випадку розгляду нелінійних питань.

Вивчаючи дисципліну можна навчитися використовувати основні рівняння нелінійної теорії пружності для розв'язку задач по розрахунку напружень та деформацій у елементах конструкцій; правильно задавати граничні умови для різних типів задач; розв'язувати найпростіші задачі нелінійної теорії пружності

Розділи дисципліни, запропоновані для вивчення, дозволяють поглибити та вдосконалити знання у області класичної теорії пружності. Це, в свою чергу, сприяє підвищенню кваліфікації здобувача як майбутнього спеціаліста, дає йому змогу більш широко дивитись на питання оцінки міцності елементів конструкцій та вміти здійснювати відповідні розрахунки з урахуванням впливу нелінійної поведінки об'єкту досліджень в умовах експлуатації.

Метою вивчення курсу є оволодіння студентами методами розв'язку задач визначення напружено-деформованого стану конструкцій які використовуються у межах нелінійної теорії пружності. Після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

## **Знання**

- суті та змісту першої та другої міри деформації та зв'язку між ними
- основ афінного перетворення та його застосування при описі напруженого стану
- методів апроксимації законів стану (закон Сіньоріні, Мурнагана)
- загальних принципів розв'язку задач нелінійної теорії пружності

## **Уміння**

- аналізувати початкові умови та вибирати відповідний метод вирішення задачі
- аналізувати одержані при вирішенні задачі результати
- використовувати в роботі електронні посібники, вітчизняну та іноземну технічну літературу

## **Навички**

- застосування основних рівнянь нелінійної теорії пружності
- побудови функцій для визначення напружень та деформацій у часткових випадках задач нелінійної теорії пружності
- розрахунку напружено-деформованого стану для найпростіших задач нелінійної теорії пружності

## **Дисципліна уточнює та доповнює наступні програмні компетентності:**

1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;
2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
3. Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки;
4. Здатність оптимізувати конструкцію устаткування, машини, агрегату, вузла, тощо з точки зору її міцності, надійності та вартості;
5. Здатність реалізовувати та застосовувати на практиці основні методи та підходи теорії пружності та пластичності з точки зору оцінки граничних станів елементів конструкцій та обладнання.

## **Дисципліна уточнює та доповнює наступні програмні результати навчання:**

1. Виконувати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість деталей машин;
2. Знання теорії пружності;
3. Уміння готувати вихідні дані для обґрунтування технічних рішень, застосовувати стандартні методики розрахунків при проектуванні елементів машинобудівних конструкцій.

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

Теорія пружності базується на наступних дисциплінах: Теорія пружності. Частина 1. Напружено-деформований стан, Теорія пружності. Частина 2. Крайові задачі. Вища математика, Лінійна алгебра і аналітична геометрія, Загальна фізика, Теоретична механіка, Механіка матеріалів і конструкцій

Знання, здобуті студентами при вивченні цієї дисципліни, використовуються в подальшому при вивченні дисциплін: Теорія пластичності та повзучості, Переддипломна практика, Дипломне проектування

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

#### Розділ 1. Геометрія деформування

Тема 1.1. Деформація суцільного середовища. Тензор лінійних деформацій

Тема 1.2. Види симетрії пружних властивостей

Тема 1.3. Перша міра і перший тензор скінченної деформації

Тема 1.4. Друга міра і другий тензор скінченної деформації

Тема 1.5. Зв'язок між мірами деформації

Тема 1.6. Варіаційні принципи задачі термопружності

#### Розділ 2 Закони стану нелінійно-пружного тіла

Тема 2.1. Потенційна енергія деформування, закони стану ідеально пружного тіла

Тема 2.2. Представлення закону стану квадратичною функцією

Тема 2.3. Апроксимація законів стану

#### Розділ 3 Найпростіші задачі

Тема 3.1. Найпростіші задачі. Постановка проблеми

Тема 3.2. Деформації пружного шару

Тема 3.3. Пружний циліндр

Тема 3.4. Пружня куля

Тема 3.5. Плоска задача нелінійної теорії пружності

Тема 3.6. Пружня мембрана

Тема 3.7. Термодинаміка деформування

Тема 3.8. Стійкість та граничні умови

Тема 3.9. Реологічні рівняння стану

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

#### **Базова література**

1. Можаровський М. С. Теорія пружності, пластичності і повзучості: Підручн. - К. : Вища школа, 2002. 308 с
2. Божидарник В.В., Сулим Г.Т. Теорія пружності: Підручн у 3-х томах. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2012. — 552 с.
3. Морачковський О.К. Тензорні основи теорії пружності: Навч. посібник – К: НМК ВО, 1992. – 88 с.

#### **Додаткова література**

1. Корнілов О.А. Інженерні застосування плоскої задачі теорії пружності в розрахунках на міцність: Навч. Посібник – К: НМК ВО, 1991 – 277 с.
2. Вайсфельд Н.Д. Плоскі мішані задачі теорії пружності для півнескінченної смуги. Монографія – Одеса:ОНУ, 2019 – 159 с.
3. Петренко М.П. Ускладнені задачі теорії пружного тіла. – К:Техніка, 2011 – 160 с.
4. Бабенко А.Є. Методичні вказівки і контрольні роботи з курсу "Теорія пружності" Для студентів спец. "Динаміка, міцність машин"– К: КПІ, 1993 – 44 с.
5. Бабенко А.Є. Методичні вказівки та завдання до теми «Термодинамічні основи, загальні рівняння та варіаційні методи теорії пружності» Для студентів спец. "Динаміка, міцність машин"– К: КПІ, 1994 – 42 с.

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

**Лекція 1.** Деформація суцільного середовища. Визначення тензору лінійної деформації. Визначення вектора переміщення по тензору деформації

**Лекція 2.** Види симетрії пружних властивостей

**Лекція 3.** Перша міра і перший тензор скінченної деформації. Геометричний зміст компонент першої міри деформації

**Лекція 4.** Друга міра скінченної деформації. Тензор Альмансі.

**Лекція 5.** Зв'язок між мірами деформації. Зв'язок між інваріантами. Перетворення подібності початкового стану.

**Лекція 6.** Варіаційні принципи задачі термопружності

**Лекція 7.** Потенційна енергія деформування, закони стану ідеально пружного тіла

**Лекція 8.** Представлення закону стану квадратичною функцією. Енергетичний тензор напружень. Логарифмічна міра деформації.

**Лекція 9.** Апроксимація законів стану

**Лекція 10.** Найпростіші задачі. Постановка проблеми

**Лекція 11.** Деформації пружного шару. Циліндричний згин. Розтяг-стиск полоси

**Лекція 12.** Пружний циліндр. Кручення, внутрішній тиск.

**Лекція 13.** Пружня куля.

**Лекція 14** Плоска задача нелінійної теорії пружності. Геометричні співвідношення. Функція напружень.

**Лекція 15** Пружня мембрана

**Лекція 16.** Термодинаміка деформування

**Лекція 17.** Стійкість та граничні умови

**Лекція 18.** Реологічні рівняння стану

**Практичні заняття**

**Практичне заняття №1.** Тензор лінійної деформації. Вектор переміщення.

**Практичне заняття №2.** Вектор переміщення. Температурне поле.

**Практичне заняття №3.** Перший тензор скінченної деформації. Головні деформації. Вектор повороту.

**Практичне заняття №4.** Тензор Альмансі.

**Практичне заняття №5.** Визначення переміщень через міри деформації

**Практичне заняття №6.** Модульна контрольна робота №1

**Практичне заняття №7.** Головні напруження.

**Практичне заняття №8.** Логарифмічна міра деформації. Одновісний розтяг.

**Практичне заняття №9.** Простий зсув. Матеріали під високим тиском.

**Практичне заняття №10.** Афіне перетворення. Всесторонній стиск. Одновісний розтяг.

**Практичне заняття №11.** Розтяг/стиск пружної полоси

**Практичне заняття №12.** Циліндр під внутрішнім тиском.

**Практичне заняття №13.** Кручення та розтяг циліндра

**Практичне заняття №14.** Пружня куля

**Практичне заняття №15.** Напівлінійний матеріал. Вісесиметрична деформація циліндра

**Практичне заняття №16.** Напівлінійний матеріал. Радіально-симетрична деформація сфери

**Практичне заняття №17.** Стійкість та граничні умови

**Практичне заняття №18.** Залікове заняття.

## 6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Перша міра та перший тензор скінченної деформації <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача</i>	10
2	Друга міра та другий тензор скінченної деформації <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача</i>	10
3	Афінне перетворення <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача</i>	6
4	Розтяг/стиск пружної полоси <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача</i>	6
5	Кручення та розтяг циліндра <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача</i>	10
6	Напівлінійний матеріал. Задачі <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача</i>	6

### Політика та контроль

## 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

### Правила відвідування занять

Відвідування всіх видів навчальних занять з дисципліни є для студентів бажаним, оскільки дозволяє більш детально ознайомитися з навчальним матеріалом та отримати консультації і роз'яснення за його змістом.

Якщо заняття проводяться в дистанційному режимі, зокрема в мережі ZOOM, студент свою присутність має засвідчити, ввімкнувши мікрофон і камеру на вимогу викладача.

Контроль присутності студентів на заняттях здійснюється викладачем наприкінці заняття.

Матеріали пропущених занять мають бути відпрацьованими самостійно.

### Правила поведінки на заняттях

Студенти на заняття мають з'являтися своєчасно, без запізнь.

На лекційних заняттях студенти повинні мати конспекти. Під час проведення лекційних занять та на практичних заняттях не допускаються сторонні розмови, користування комп'ютерами, смартфонами, мобільними телефонами без дозволу викладача.

### Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Ці правила відображені в рейтинговій системі оцінювання (див. п. 8)

## Політика дедлайнів та перескладань

Модульна контрольна робота виконується студентом 1 раз на парі у присутності викладача. Перескладання контрольної роботи на вищу оцінку не допускається. Оцінювання ступені та якості виконання завдання відбувається відповідно до вимог п.8. Якщо студент був відсутній на модульній контрольній роботі з поважних причин і у нього є про це підтвердження – то він має право, за попередньою домовленістю з викладачем, написати пропущену модульну контрольну роботу у інший час.

Виконання розрахунково-графічної роботи у повному обсязі є обов'язковим для допуску до заліку з дисципліни незалежно від загальної кількості балів, набраної студентом. Оцінювання ступені та якості виконання РГР відбувається відповідно до вимог п.8.

## Політика щодо академічної доброчесності

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

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

Протягом семестру виконуються такі види контролю успішності студентів у вивченні дисципліни:

- **Поточний контроль.** Включає оцінювання виконання модульних контрольних робіт
- **Календарний контроль.** Проводиться двічі на семестр, як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
- **Семестровий контроль.** Екзамен.

**Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:**

- 1) написання модульної контрольної роботи;
- 2) виконання розрахунково-графічної роботи;
- 3) штрафних та заохочувальних балів.

#### 8.1. Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

##### 8.1.1. Модульна контрольна робота

Модульна контрольна робота містить одне практичне завдання та одне теоретичне питання за пройденими на момент її написання матеріалами курсу. Час виконання модульної контрольної роботи становить 90 хвилин. У разі здачі студентом роботи пізніше ніж через 90 хвилин після видачі завдання або у разі виявлення факту списування, бали за модульну контрольну роботу не виставляються. Перездача модульної контрольної роботи з метою підвищення балів не передбачена. Максимальні бали за виконання завдань модульної контрольної роботи становлять:

Практичне завдання – 30 балів

Теоретичне питання – 10 балів

Разом – 40 балів

Величина коригувального коефіцієнта  $K_{кр}$ , що враховує точність відповідей на питання модульної контрольної роботи наведено у таблиці

*Критерії оцінювання правильності відповідей на завдання*

<i>Критерій</i>	<i>Коригувальний коефіцієнт <math>K_{кр}</math></i>
Вірна відповідь на питання	1
Відповідь містить деякі неточності або несуттєві помилки	0,85-0,94
Відповідь неповна, відсутні основні або базові моменти, що стосуються суті питання	0,75-0,84
Відповідь на питання лише частково торкається суті питання	0,6-0,74
Невірна відповідь на питання	0

### **8.1.2 Виконання розрахунково-графічної роботи**

Розрахунково-графічна робота складається з однієї задачі, тематика якої визначається викладачем індивідуально для кожного студента. Оцінювання якості виконання завдання розрахунково-графічної роботи та ступені опанування теоретичного матеріалу, необхідного для його виконання, здійснюється шляхом аналізу правильності виконання розрахунків та опитування по тематиці виконаного завдання.

Максимальна кількість балів за виконання розрахунково-графічної роботи становить 60 балів. Критерії оцінювання виконання РГР наведені у таблиці нижче.

*Критерії оцінювання правильності виконання РГР*

<i>Критерій</i>	<i>Кількість балів</i>
Завдання розрахунково-графічної роботи виконане вірно, студент повною мірою володіє теоретичним матеріалом	60
Завдання розрахунково-графічної роботи виконане вірно/має несуттєві помилки, студент має незначні пробіли у теоретичному матеріалі	51-59
Завдання розрахунково-графічної роботи виконане вірно/має несуттєві помилки, студент не може чітко відповісти на питання по теоретичному матеріалу	45-50
Завдання розрахунково-графічної має несуттєві помилки, студент зовсім не може відповісти на більшість питань по теоретичному матеріалу	36-44
Завдання розрахунково-графічної має суттєві помилки/виконане невірно	0-35

### **8.1.3. Заохочувальні бали нараховуються за:**

Участь в оформленні нових завдань для практичних занять, допомозі у підготовці наочного лекційного матеріалу, допомозі у створенні електронного методичного матеріалу (за умови виконання навчальної програми з дисципліни) - від +1 до +10 балів.

## 8.2. Розрахунок шкали (R) рейтингу

Сума набраних рейтингових балів може бути розрахована як:

$$R = \sum_1^2 (MKP_i \times K_{крi}) + PGP + ЗБ$$

Де  $MKP_i$  – бали, набрані за виконання  $i$ -го завдання модульної контрольної роботи;

РГР – бали за виконання розрахунково-графічної роботи;

ЗБ – сума заохочувальних балів.

## 8.3. Атестації

Умовою позитивної першої атестації є отримання не менше 24 балів за модульну контрольну роботу. Умовою позитивної другої атестації є отримання не менше 36 балів за виконання розрахунково-графічної роботи.

## 8.4. Критерії оцінювання:

Набрані протягом навчального семестру бали переводяться до залікової оцінки згідно таблиці:

Бали	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно (виконується залікова робота за умови допуску до заліку)
Не виконане завдання РГР, загальна кількість рейтингових балів менша за 30	Не допущено

У разі, якщо кількість набраних балів складає менше 60 або студент бажає отримати вищу оцінку за отриману залікову оцінку – виконується залікова робота. При цьому всі набрані бали протягом семестру анулюються і кількість рейтингових балів стає рівною 0. Залікова робота складається з теоретичного питання та однієї практичної задачі.

Теоретичне питання максимально оцінюється в 50 балів за наступними критеріями:

- повна відповідь на запитання – 50 балів;
- відповідь, що містить незначні неточності – 43-49 балів;
- неповна відповідь – 31-42 бали;
- відповідь відсутня, містить значні неточності – 0-30 балів.

Практичне завдання оцінюється максимально в 50 балів з урахуванням співбесіди з викладачем за наступними критеріями:

- повністю правильно виконане завдання – 50 балів;



- завдання виконане з незначними помилками, студент може пояснити хід розв'язку завдання та основні моменти на які він спирався та використовував при його розв'язанні – 43-49 балів;
- завдання виконане з незначними або суттєвими помилками, студент не може повною мірою пояснити хід розв'язку завдання, не може впевнено пояснити та обґрунтувати основні моменти на які він спирався при його розв'язанні – 31-42 бали;
- завдання не виконане або містить суттєві помилки, студент не може пояснити хід розв'язку, не володіє теоретичним матеріалом по завданню.– 0-30 балів.

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

### **ТЕОРЕТИЧНІ ПИТАННЯ З ДИСЦИПЛІНИ «СПЕЦІАЛЬНІ ЗАДАЧІ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ», ЩО ВІНОСЯТЬСЯ НА ЗАЛІК**

- 1) Деформація суцільного середовища. Визначення тензору лінійної деформації.
- 2) Визначення вектора переміщення по тензору деформації
- 3) Види симетрії пружних властивостей
- 4) Перша міра і перший тензор скінченної деформації. Геометричний зміст компонент першої міри деформації
- 5) Друга міра скінченної деформації. Тензор Альмансі.
- 6) Зв'язок між мірами деформації. Зв'язок між інваріантами.
- 7) Перетворення подібності початкового стану.
- 8) Варіаційні принципи задачі термопружності
- 9) Потенційна енергія деформування, закони стану ідеально пружного тіла
- 10) Представлення закону стану квадратичною функцією.
- 11) Енергетичний тензор напружень.
- 12) Логарифмічна міра деформації.
- 13) Апроксимація законів стану
- 14) Найпростіші задачі. Постановка проблеми
- 15) Деформації пружного шару. Циліндричний згин.
- 16) Деформації пружного шару. Розтяг-стиск полоси
- 17) Пружний циліндр. Кручення, внутрішній тиск.
- 18) Пружня куля.
- 19) Плоска задача нелінійної теорії пружності. Геометричні співвідношення. Функція напружень.
- 20) Пружня мембрана
- 21) Термодинаміка деформування
- 22) Стійкість та граничні умови
- 23) Реологічні рівняння стану

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

**Складено:** д.т.н., проф., проф. кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів Бабенко А.Є.

к.т.н. Коваль В.В.

**Ухвалено:** кафедрою ДММ та ОМ (протокол № 14 від 12 грудня 2023 р.)

**Погоджено:** Методичною комісією НН ММІ (протокол № 4 від 22 грудня 2023 р.)