



# ЗАДАЧІ ПРИКЛАДНОЇ 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

Більшість відповідальних елементів конструкцій сучасної техніки та обладнання працює в умовах складного термосилового навантаження, що потребує врахування впливу температури на поведінку конструкції з точки зору оцінки її загальної міцності. Оскільки у результаті дії температурних напружень може виникати суттєва пластична деформація, що може призвести до руйнування конструкції. Це питання розглядається у відповідних розділах дисципліни присвячених термопружності. Оцінка міцності вісесиметричних об'єктів також є дуже важливою темою для фахівця, зважаючи на велику кількість таких елементів у будь-якій конструкції техніки та обладнання. Розділ присвячений застосуванню операційного методу в задачах теорії пружності, в свою чергу, дозволяє розширити уявлення про можливі методи вирішення плоскої задачі теорії пружності.

В результаті вивчення дисципліни можна навчитися практичному застосуванню операційного методу, використанню основних рівнянь термопружності для розв'язання плоскої та об'ємної задач та вмінню визначати напружено-деформований стан для найпростіших вісесиметричних задач теорії пружності.

Розглянутий під час вивчення дисципліни широкий спектр задач дозволяє здобувачу розширити свої знання у області теорії пружності та дає можливість кваліфіковано та впевнено проводити розрахунки на міцність та жорсткість відповідальних елементів конструкцій техніки та обладнання, що працюють у межах пружних деформацій з ймовірним впливом температурного градієнту.

Метою вивчення курсу є оволодіння студентами методами розв'язку задач визначення напружено-деформованого стану конструкцій з урахуванням впливу температурного градієнту, або конструкцій, що можуть бути задовільно апроксимовані вісесиметричною схемою. Після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

### **Знання**

- методів вирішення задач термопружності
- суті та особливостей застосування операційного методу в задачах теорії пружності
- методів вирішення вісесиметричної задачі теорії пружності
- визначальної системи рівнянь термопружності

### **Уміння**

- визначати граничні умови для вісесиметричної задачі та для задач термопружності
- визначати систему рівнянь для вирішення конкретної задачі
- аналізувати одержані при вирішенні задачі результати
- використовувати в роботі електронні посібники, вітчизняну та іноземну технічну літературу

### **Навички**

- застосування операційного методу для випадку поліноміального одно та двовісного навантаження
- розрахунку напружено-деформованого стану для задач термопружності та вісесиметричної задачі 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. Розв'язок задач в рядах

Тема 1.1. Постановка і суть операційного методу

Тема 1.2. Побудова функції напружень

Тема 1.3. Побудова крайових умов

Тема 1.4. Найпростіші задачі

#### Розділ 2 Задача термопружності

Тема 2.1. Термодинамічні основи задачі термопружності

Тема 2.2. Рівняння термопружності в переміщеннях

Тема 2.3. Рівняння термопружності в напруженнях

Тема 2.4. Плоска задача термопружності

Тема 2.5. Об'ємна задача термопружності

Тема 2.6. Вісесиметрична задача теорії пружності

#### Розділ 3 Спеціальні задачі теорії пружності

Тема 3.1. Об'ємне необмежене тіло

Тема 3.2. Напівпросторове тіло

Тема 3.3. Задача для кулі

Тема 3.4. Вісесиметрична задача

Тема 3.5. Плоска задача

Тема 3.6. Стержні з отвором

Тема 3.7. Згин стержнів

Тема 3.8. Кручення стержнів

### **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.** Постановка і суть операційного методу
- Лекція 2.** Побудова функції напружень для випадку розтягу та згину.
- Лекція 3.** Граничні умови. Використання принципу суперпозиції
- Лекція 4.** Найпростіші задачі комбінованого навантаження.
- Лекція 5.** Термодинамічні основи задачі термопружності. Основні положення термодинаміки незворотніх процесів. Термодинамічні функції та рівняння стану.
- Лекція 6.** Рівняння термопружності в переміщеннях
- Лекція 7.** Рівняння термопружності в напруженнях
- Лекція 8.** Плоска задача термопружності. Плоска задача термопружності для багатозв'язних тіл.
- Лекція 9.** Об'ємна задача термопружності
- Лекція 10.** Вісесиметрична задача теорії пружності
- Лекція 11.** Об'ємне необмежене тіло. Зосереджена сила у нескінченному тілі
- Лекція 12.** Напівпросторове тіло. Задача Бусінеска.
- Лекція 13.** Задача для кулі. Рівновага пружної кулі. Перша та друга крайова задача.
- Лекція 14.** Вісесиметрична задача. Потенціал пружних переміщень. Найпростіші задачі.
- Лекція 15.** Плоска задача. Функція напружень. Узагальнений плоский напружений стан.
- Лекція 16.** Стержні з отвором. Багатозв'язні перерізи.
- Лекція 17.** Згин стержнів. Функція напружень.
- Лекція 18.** Кручення стержнів. Постановка задачі. Жорсткість при крученні. Функція напружень при крученні.

**Практичні заняття**

- Практичне заняття №1.** Операційний метод в задачах теорії пружності.
- Практичне заняття №2.** Елементарна теорія балки.
- Практичне заняття №3.** Визначення напружено-деформованого стану у випадку одновісного навантаження прямокутної полоси
- Практичне заняття №4.** Визначення напружено-деформованого стану у випадку комбінованого навантаження прямокутної полоси
- Практичне заняття №5.** Круговий брус навантажений на торцях
- Практичне заняття №6.** Круговий брус навантажений на бічній поверхні
- Практичне заняття №7.** Модульна контрольна робота №1
- Практичне заняття №8.** Плоска вісесиметрична температурна задача
- Практичне заняття №9.** Плоска невісесиметрична температурна задача
- Практичне заняття №10.** Теплові напруження у конічній оболонці
- Практичне заняття №11.** Теплові напруження у сферичній оболонці
- Практичне заняття №12.** Задача Бусінеска
- Практичне заняття №13.** Задача Черутті
- Практичне заняття №14.** Задача навантаження циліндра нескінченної довжини
- Практичне заняття №15.** Задача навантаження скінченного циліндра
- Практичне заняття №16.** Зовнішня задача для кулі
- Практичне заняття №17.** Внутрішня задача для кулі
- Практичне заняття №18.** Залікове заняття.

## 6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Застосування операційного методу в задачах теорії пружності <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача</i>	12
2	Температурні напруження у диску за різних випадків температурного поля <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача</i>	10
3	Температурні напруження у циліндрі за різних випадків температурного поля <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача</i>	10
4	Температурні напруження у циліндрі і сфері. Вісесиметрична задача. <i>Передбачається самостійна робота студента згідно завдання викладача</i>	10
5	Задача навантаження кулі. <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 степені 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:

$$R = \sum_{i=1}^2 (MKP_i \times K_{kp_i}) + РГР + ЗБ$$

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 «ЗАДАЧІ ПРИКЛАДНОЇ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ», ЩО ВІНОСЯТЬСЯ НА ЗАЛІК

- 1) Постановка і суть операційного методу
- 2) Побудова функції напружень для випадку розтягу та згину.
- 3) Граничні умови. Використання принципу суперпозиції
- 4) Найпростіші задачі комбінованого навантаження.
- 5) Термодинамічні основи задачі термопружності.
- 6) Основні положення термодинаміки незворотніх процесів.
- 7) Термодинамічні функції та рівняння стану.
- 8) Загальний розв'язок задачі термопружності
- 9) Рівняння термопружності в переміщеннях
- 10) Рівняння термопружності в напруженнях
- 11) Варіаційні принципи у задачі термопружності
- 12) Основні рівняння плоскої задачі термопружності.
- 13) Плоска задача термопружності для багатозв'язних тіл.
- 14) Об'ємна задача термопружності
- 15) Вісесиметрична задача теорії пружності
- 16) Об'ємне необмежене тіло. Зосереджена сила у нескінченному тілі
- 17) Напівпросторове тіло. Задача Бусінеска.
- 18) Задача для кулі. Рівновага пружної кулі. Перша та друга крайова задача.
- 19) Вісесиметрична задача. Потенціал пружних переміщень. Найпростіші задачі.
- 20) Плоска задача. Функція напружень.
- 21) Узагальнений плоский напружений стан.
- 22) Стержні з отвором. Багатозв'язні перерізи.
- 23) Згин стержнів. Функція напружень.
- 24) Кручення стержнів. Постановка задачі. Жорсткість при крученні.
- 25) Функція напружень при крученні.

#### 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.)