



# МСЕ В МЕХАНИЦІ СТРИЖНЕВИХ СИСТЕМ

## 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>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЄКТС, 120 годин: лекції – 36 годин, практи. заняття – 36 год., самостійна робота – 36 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/контрольні роботи за розділами та семестрова контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>Лекція - 1 раз на тиждень, практичне заняття – 1 раз на тиждень</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>д.т.н., професор Пискунов Сергій Олегович</i> e-mail: <a href="mailto:s.piskunov@kpi.ua">s.piskunov@kpi.ua</a> , профіль: <a href="http://mmi-dmm.kpi.ua/index.php/ua/vikladachi-kafedri/212-%D0%BF%D1%96%D1%81%D0%BA%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%B2-%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B3%D1%96%D0%B9-%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87.html">http://mmi-dmm.kpi.ua/index.php/ua/vikladachi-kafedri/212-%D0%BF%D1%96%D1%81%D0%BA%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%B2-%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B3%D1%96%D0%B9-%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%87.html</a> Практичні: <i>д.т.н., професор Пискунов Сергій Олегович</i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Google classroom, тощо)</i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Серед конструкцій різного призначення важливе місце належить стрижневим системам, які широко використовуються в якості несучих елементів в машинобудуванні, будівництві інших галузях техніки. Класичні (аналітичні) методи розрахунку стержневих систем становлять важливу основу для засвоєння базових понять механіки стержневих систем, розуміння основних принципів їх утворення і механічної поведінки. В той же час трудомісткість розрахунків на міцність і жорсткість цими методами суттєво зростає при ускладненні структури і збільшенні розмірів конструкції. Особливо це проявляється у розрахунках статично-невизначуваних систем. В цьому випадку є потреба у застосуванні сучасних числових методів розрахунку, одним з яких є метод скінченних елементів (МСЕ).

**Метою вивчення дисципліни** є: вивчення теоретичних основ і практичних аспектів застосування методу скінченних елементів (МСЕ) стосовно до стержневих систем – рам, ферм, комбінованих конструкцій: побудова розрахункових схем стержневих конструкцій і їх дискретних моделей, їх опис у програмних засобах, які реалізують МСЕ, розв'язання модельних задач, оцінка адекватності отриманих результатів.

**Предмет дисципліни** – теоретичні основи методу скінченних елементів (МСЕ), програмний комплекс «ЛИРА», числові результати розрахунку стрижневих систем МСЕ при дії статичних навантажень.

**Програмні результати навчання:**

**знання :**

- основних положень МСЕ, принципів побудови дискретних моделей МСЕ;
- теоретичних положень з отримання розв'язувальних співвідношень МСЕ;
- типів скінченних елементів для дискретизації стержневих систем;
- підходів до створення дискретних моделей, розрахунку стержневих систем (ферм і рам) і аналізу результатів і у ПК «ЛИРА», .

**уміння:**

- будувати дискретних моделей МСЕ для стержневих систем у ПК «ЛИРА»;
- варіювати параметри дискретних моделей згідно до числових характеристик розрахункових схем і навантажень
- проводити розрахунки стержневих систем і аналіз результатів і у ПК «ЛИРА»;

**досвід:**

- виконання проектувальних і перевірочних розрахунків на міцність і жорсткість стержнів і стержневих систем МСЕ у ПК «ЛИРА» при дії статичних навантажень.

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

**Пререквізити:** курси (навчальні дисципліни): вища математика, теоретична механіка, механіка матеріалів і конструкцій, будівельна механіка стрижневих систем.

**Постреквізити:** вивчення дисципліни забезпечує базис для подальшого вивчення дисциплін «Числові методи», «Автоматизовані системи проектування», є складовою частиною знань і умінь для виконання кваліфікаційних бакалаврських та магістерських робіт зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» ОП «Динаміка і міцність машин».

**3. Зміст навчальної дисципліни**

**Розділ 1. Деформування тонкостінних стрижнів**

*Тема 1.* Теорія тонкостінних стрижнів. Геометричні характеристики тонкостінних стрижнів.

*Тема 2.* Вільне кручення тонкостінного стрижня замкнутого і відкритого профілю.

*Тема 3.* Обмежене кручення тонкостінного стрижня.

**Розділ 2. Теоретичні основи МСЕ**

*Тема 1.* Загальні основи і поняття МСЕ.

*Тема 2.* Стержневі скінченні елементи

*Тема 3.*

**Розділ 3. Програмний комплекс ЛИРА і його використання в розрахунках стрижневих систем.**

**4. Навчальні матеріали та ресурси**

**Основна (підручники)**

1. Баженов В.А., Перельмутер А.В., Шишов О.В. Будівельна механіка. Комп'ютерні технології і моделювання [Електронний ресурс] : Підручник для студентів вищих

навчальних закладів // Електронні текстові дані (1 файл: 34,7 Мбайт) Київ, 2018 р. – 896 с.

2. Баженов В.А., Іванченко Г.М., Шишов О.В., Пискунов С.О. Будівельна механіка. Розрахункові вправи. Задачі. Комп'ютерне тестування: Навч.посібник для студентів вищих навчальних закладів - Київ, Каравела, 2010 р. – 420 с.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. - 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 с.
4. Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин. / Для машиностроит. спец. вузов/.- М.: «Машиностроение»,1973, - 456 с.
5. Лучко, Й. Й. Будівельна механіка стержневих систем : навчальне видання / Й. Й. Лучко, О. С. Распопов : за ред. д. т. н., проф. Й. Й. Лучка. – Львів : "Каменярь", 2014. – 388 с. Наводиться фрагмент тексту.

#### Навчальні посібники і методичні вказівки

1. Беляев Н.М. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. - 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во «Наука», 1965. – 866 с.
2. Чемерис О.М., Трубачев С.І., Колодяжний В.А. Будівельна механіка машин – Навчальний посібник, Київ, КПІ, 2017 р.
3. Будівельна механіка машин. Розд. І: Стрижневі системи [Електронний ресурс] : конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.050501 «Прикладна механіка» / НТУУ «КПІ» ; уклад. О. М. Чемерис. – Електронні текстові дані (1 файл: 922,94 Кбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2012, Доступ: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/2238>
4. Будівельна механіка машин. Ч. І: Стрижневі системи [Електронний ресурс] : методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни для студентів напряму підготовки 6.050501 «Прикладна механіка» / НТУУ «КПІ»; уклад. О. М. Чемерис. – Електронні текстові дані (1 файл: 5,93 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 60 с. Доступ <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/2582>

### Навчальний контент

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

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні	СРС
1	2	3	4	5	6
<b>Розділ 1. Деформування тонкостінних стрижнів</b>					
<i>Тема 1. Теорія тонкостінних стрижнів. Геометричні характеристики перерізу тонкостінних стрижнів</i>	7	1	2	–	4
<i>Тема 2. Вільне і обмежене кручення тонкостінного стрижня відкритого профілю</i>	7	1	4	–	4
<i>Тема 3. Напружений стан тонкостінного стрижня у випадку складного опору</i>	10	2	2	–	4
<i>Контрольна робота 3</i>	2	–	–	–	2
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>–</b>	<b>12</b>
<i>Семестрова контрольна робота</i>	2	–	2	–	2
<b>Всього годин</b>	<b>90</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>–</b>	<b>36</b>

<b>№ з/п</b>	<b>Теми лекційних занять</b>	<b>Кількість годин</b>
1	Теорія тонкостінних стрижнів. Загальні поняття. Особливості механічної поведінки. стрижнів. Вільне і обмежене кручення тонкостінного стрижня відкритого профілю	2
2	Секторіальні геометричні характеристики перерізу тонкостінних стержнів	2
3	Напружений стан тонкостінного стрижня при стисненому крученні. Диференційне рівняння стисненого кручення стержня	2
4	Напружений стан тонкостінного стрижня у випадку складного опору. Визначення нормальних і дотичних напружень. Стійкість тонкостінних стержнів	2
5	Метод скінчених елементів (МСЕ) – вступ: історія, загальна ідея і принципи використання. Основні невідомі. Дискретна модель МСЕ	2
6	МСЕ для стрижневих систем. Типи стержевих скінчених елементів. Дискретна модель стержневої системи МСЕ і основні невідомі. Стежневий скінчений елемент. Матриця жорсткості і вектор вузлових реакцій СЕ	2
7	Розв'язувальні рівняння МСЕ в базисній системі координат	2
8	Розрахунок ферм із використанням МСЕ	2
9	Проведення розрахунку МСЕ і аналіз результатів	2
10	Програмний комплекс «ЛИРА» - побудова, можливості, загальний алгоритм розв'язання задач	2
11	Розрахунок ферм в ПК «ЛИРА»	2
12	Розрахунок рам в ПК «ЛИРА»	2
13	Розрахунок комбінованих систем	2
14	Варіаційне формулювання МСЕ для стержневих систем	2
15	Варіаційне формулювання МСЕ для стержневих систем (2)	
<b>№ з/п</b>	<b>Теми практичних занять</b>	<b>Кількість годин</b>
1	Напружено-деформований стан тонкостінного стрижня при вільному крученні	2
2	Обчислення геометричних характеристики перерізу тонкостінних стрижнів	2
3	Напружено-деформований стан тонкостінного стрижня при стисненому крученні.	2
4	Напружено-деформований стан тонкостінного стрижня при стисненому крученні (2)	2
5	Напружено-деформований стан тонкостінного стрижня при складному опорі	2
6	Обчислення критичних сил при втраті стійкості	2
7	Тематична контрольна робота «Деформування тонкостінних стрижнів»	

8	Розрахунок ферми МСЕ	
9	Розрахунок рами МСЕ	
10	Розрахунок простих статично-визначуваних ферм в ПК «ЛИРА»	2
11	Розрахунок статично-невизначуваних ферм в ПК «ЛИРА»	2
11	Розрахунок рам в ПК «ЛИРА»	2
12	Порівняльний розрахунок статично-невизначуваної рами	2
13	Тематична контрольна робота «Розрахунок стержневих систем МСЕ»	
14	Розрахунок стержневих систем МСЕ із використанням варіаційних підходів	2

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента складається зі:

- підготовки до аудиторних занять – повторення викладеного на попередньому занятті матеріалу;
- підготовка до теоретичної складової контрольних робіт за розділами;
- самостійне розв'язання контрольних завдань (задач) тематикою розділів та індивідуального завдання.

Самостійна робота виконується протягом семестру в межах часу, відведеного на самостійну роботу по темі.

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Правила відвідування занять

Відвідування лекцій та практичних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання.

Система оцінювання орієнтована на отримання балів за своєчасність виконання студентам практичних робіт, а також виконання завдань, які здатні розвинути практичні уміння та навички.

#### Порушення термінів виконання завдань та заохочувальні бали

Заохочувальні бали		Штрафні бали	
Критерій	Ваговий бал	Критерій	Ваговий бал
Своєчасне виконання практичної роботи (за кожне завдання)	+ 2 бали	Порушення термінів виконання практичної роботи (за кожне завдання)	- 2 бал
		Несвоєчасне написання контрольної роботи за розділом	-3 бали

## Пропущені контрольні заходи

Індивідуальне завдання, яке подається на перевірку з порушенням терміну виконання, але до терміну виставлення поточної атестації (або заліку / іспиту), оцінюється зі штрафними балами.

Індивідуальне завдання, яке подається на перевірку з порушенням терміну виконання та після терміну виставлення поточної атестації (або заліку / іспиту), не оцінюється.

## Академічна доброчесність

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>.

## Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

## Навчання іноземною мовою

Навчальна дисципліна «Метод скінченних елементів для стрижневих систем» не передбачає її вивчення англійською мовою.

## Інклюзивне навчання

Навчальна дисципліна «Метод скінченних елементів для стрижневих систем» може викладатися для більшості студентів з особливими освітніми потребами, окрім осіб з серйозними вадами зору, які не дозволяють виконувати завдання за допомогою персональних комп'ютерів, ноутбуків та/або інших технічних засобів.

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

### Контрольні роботи

#### Контрольна робота 1. «Деформування тонкостінних стрижнів»

- 1) *Теоретичні питання:* Основні положення теорії деформування тонкостінних стрижнів
- 2) *Задача 1:* Обчислення секторіальних геометричних характеристик поперечних перерізів
- 3) *Задача 2:* Напружений стан балки з тонкостінного профілю тонкостінних стрижнів

#### Контрольна робота 2. «Розрахунок стержневих систем МСЕ».

- 1) *Теоретичні питання:* Основні теоретичні положення МСЕ
- 2) *Задача 1:* Розрахунок статично-визначуваної ферми МСЕ
- 3) *Задача 2:* Розрахунок статично-невизначуваної ферми МСЕ
- 4) *Задача 3:* Розрахунок статично-невизначуваної рами МСЕ

#### Контрольна робота 3. «Варіаційне формулювання МСЕ».

## Обчислення стартового рейтингу ( Rс=60 )

**1. Контрольна робота 1** - ваговий бал 25, у т.ч. п.1 – 3 бали, п.2,3 ( задачі ) – 22 бали.

Критерії оцінювання п.1 контрольної роботи №1 (теоретичні питання):

- 75 % і більше правильних відповідей на питання ..... 3 бали;
- від 40 % до 75 % правильних відповідей на питання ..... 2 бал;
- менше 40 % правильних відповідей на питання ..... 0 балів;

Критерії оцінювання п.2,3 контрольної роботи 1 (задачі):

- задача виконана правильно ..... 11 балів;
- хід розв'язання правильний, незначні помилки в обчисленнях ..... 9 балів;
- хід розв'язання правильний, суттєві помилки в обчисленнях ..... 5 балів;
- помилки в методиці розв'язання задачі ..... 2 бал;
- відсутність розв'язання задачі ..... 0 балів

*Виправлення помилок в ході співбесіди по результатах перевірки контрольних робіт + 1-2 бали*

**2. Контрольна робота 2** - ваговий бал 24, у т.ч. п.1 – 3 бали, п.2,3,4 ( задачі ) – 21 бали.

Критерії оцінювання п.1 контрольної роботи №1 (теоретичні питання):

- 75 % і більше правильних відповідей на питання ..... 3 бали;
- від 40 % до 75 % правильних відповідей на питання ..... 2 бал;
- менше 40 % правильних відповідей на питання ..... 0 балів;

Критерії оцінювання п.2,3,4 контрольної роботи 1 (задачі):

- задача виконана правильно ..... 7 балів;
- хід розв'язання правильний, незначні помилки в обчисленнях ..... 5 балів;
- помилки в методиці розв'язання задачі ..... 2 бали;
- відсутність розв'язання задачі ..... 0 балів

**3. Контрольна робота 3** - ваговий бал 3.

Критерії оцінювання контрольної роботи №3 (теоретичні питання):

- 75 % і більше правильних відповідей на питання ..... 3 бали;
- від 40 % до 75 % правильних відповідей на питання ..... 2 бал;
- менше 40 % правильних відповідей на питання ..... 0 балів;

*Контрольна робота, виконана з оцінкою «0 балів» має бути виконана повторно.*

### **3. Інші критерії**

**Активність на лекційних і практичних заняттях - 6 балів**

90-100%	<b>8 балів</b>
70-90%	<b>4 бали</b>
50-70%	<b>2 бали</b>
Менше 50 %	<b>0 балів</b>

**3. Розрахунок шкали (Rс) стартового рейтингу**  $R = 25 + 24 + 3 + 8 = 60$  балів.

### Обчислення рейтингу екзаменаційних балів ( $R_e=40$ )

Необхідною умовою допуску до екзамену є зарахування всіх контрольних робіт, відвідування не менше **50% занять** а також стартовий рейтинг не менший 50% від **R**, тобто **30 балів**.

Екзаменаційний білет складається з двох теоретичних питань і двох задач

#### Критерії оцінювання відповідей на теоретичні питання :

Відповідь на одне питання - **8 балів** (всього два питання):

- правильна і повна відповідь – **8 балів**;
- принципово правильна відповідь – **6 бали**;
- неповна відповідь з помилками – **1-3 бали**;
- відсутність відповіді - **0 балів**.

#### Критерії оцінювання розв'язків задач :

Розв'язання однієї задачі - **12 балів** (всього дві задачі):

- правильне розв'язання задачі із наданням пояснень про хід розв'язання задачі– **12 балів**;
- правильне розв'язання задачі, помилки в наданні пояснень - **10 балів**;
- розв'язання з незначними помилками – **8 балів**;
- розв'язання зі значними помилками – **4 балів**;
- розв'язання з помилками в методиці розв'язання задач – **2 бали**;
- відсутність розв'язку - **0 балів**.

Сума екзаменаційних балів  $R = 8 + 8 + 12 + 12 = 40$  балів.

### Обчислення сумарного рейтингу ( $R= 100$ )

Для отримання студентом відповідних оцінок (ECTS та традиційних) його сумарна рейтингова оцінка (  $R = R_c + R_e$  ) переводиться згідно з таблицею:

Кількість балів	Оцінка ECTS	Традиційна оцінка
<b>95 – 100</b>	<b>A</b>	<b>зараховано</b>
<b>85 – 94</b>	<b>B</b>	
<b>75 – 84</b>	<b>C</b>	
<b>65 – 74</b>	<b>D</b>	
<b>60 - 64</b>	<b>E</b>	
<b>&lt; 60</b>	<b>Fx</b>	<b>не зараховано</b>
<b>&lt; 30 балів або не виконані інші умови допуску до заліку</b>	<b>F</b>	<b>не допущений</b>

Студенти, які отримали оцінку **<F**, до складання екзамену не допускаються і повинні підвищити свій рейтинг шляхом додаткового виконання контрольних робіт, співбесіди з індивідуальних завдань протягом додаткової сесії.

Результати контрольних заходів оголошуються кожному студенту окремо у присутності або в дистанційній формі (у системі Moodle або е-поштою).



### Умови допуску до семестрового контролю:

1. Виконання в повному складі контрольних робіт;
2. Відвідування 50% лекційних занять та 80% практичних занять.

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)

*Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:*

1. Метод скінчених елементів (МСЕ). Стержневий скінчений елемент. Дискретна модель стержневої системи.
2. Глобальна (базисна) і локальна (місцева) системи координат, зв'язок між ними (матриця перетворення). Властивості матриці перетворення.
3. Вузлові характеристики СЕ в глобальній і локальній системі координат
4. Вузлові характеристики скінченоелементної моделі стержневої системи.
5. Матриця жорсткості стержневого скінченного елемента в локальній системі координат. Отримання окремих стовпців матриці, їх зміст.
6. Матриця жорсткості стержневого скінченного елемента в глобальній системі координат.
7. Матриця жорсткості скінченоелементної моделі.
8. Побудова системи розв'язувальних рівнянь МСЕ
9. Обчислення внутрішніх зусиль в стержнях дискретної моделі стержневої системи.
10. Скінчений елемент для розрахунку ферм – основі співвідношення
11. Урахування шарнірів при розрахунку рам і комбінованих систем
12. Збіжність розв'язку МСЕ.
13. Варіаційне формулювання МСЕ.
14. Функції форми СЕ
15. Геометричні (секторіальні) характеристики тонкостінних профілів
16. Напружено-деформований стан при вільному крученні тонкостінного стрижня замкнутого профіля
17. Напружено-деформований стан при вільному крученні тонкостінного стрижня не замкнутого профіля
18. Стиснене кручення тонкостінного стрижня – умови виникнення і механічні ефекти
19. Диференційне рівняння стисненого кручення для тонкостінного стрижня і його розв'язок
20. Визначення напружень і переміщень при стисненому крученні тонкостінного стрижня не замкнутого профіля.
21. Складний напружено-деформований стан тонкостінного стрижня (урахування згину)

### Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено : зав.кафедрою ДММ і ОМ, д.т.н., професор Пискунов С.О.

Ухвалено кафедрою ДММ і ОМ (протокол № 3 від 3 листопада 2021 р.

Погоджено Методичною комісією НН ММІ (протокол №4 від 19.11.2021 р.)