

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра міцності літальних апаратів (№ 102)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Олександр САВІН
(підпис) (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

« 29 » 08 2025 р.

**СИЛАБУС ОBOB'ЯЗKОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Метод скінчених елементів в задачах механіки

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 13 Механічна інженерія
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма: Комп'ютерне моделювання механічних процесів
(найменування освітньої програми)

Рівень вищої освіти: *перший (бакалаврський)*

Силабус введено в дію з 01.09.2025

Харків – 2025 р.

Розробник (и): Чупринін О. О., доцент каф. 102, к.т.н., доц
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри міцності
літальних апаратів

(назва кафедри)

Протокол № 1 від «28» серпня 2025 р.

Завідувач кафедри д.т.н., проф.
(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

Віталій МІРОШНІКОВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Погоджено з представником здобувачів освіти:


(підпис)

Олександр АРУТЮНЦЯН
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

1. Загальна інформація про викладача



ПІБ: Чупринін Олександр Олексійович

Посада: доцент кафедри Міцності літальних апаратів (102)

Науковий ступінь: кандидат технічних наук

Вчене звання: доцент

Перелік дисциплін, які викладає:

Теорія методу скінченних елементів

Застосування МСЄ в задачах механіки

Теорія пружності

Стійкість та коливання тонкостінних конструкцій

Напрями наукових досліджень:

міцність тонкостінних конструкцій,

повзучість та тривала міцність,

залізобетонні елементи конструкцій.

Контактна інформація: *a.chuprynin@khai.edu,*
+38-099-053-89-42

2. Опис навчальної дисципліни

Форма здобуття освіти	<i>Денна</i>
Семестр	<i>4</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Тип дисципліни	<i>Обов'язкова</i>
Обсяг дисципліни: кредити ЄКТС/ кількість годин	<i>Денна: 3,5 кредитів ЄКТС / 105 годин (40 аудиторних, з яких: лекції – 24, практичні – 16; СРЗ – 65);</i>
Види навчальної діяльності	<i>Лекції, практичні заняття, самостійна робота</i>
Види контролю	<i>Поточний контроль, семестровий контроль</i>
Пререквізити	<i>Опір матеріалів, Теоретична механіка, Будівельна механіка, Вища математика і Механіка матеріалів та конструкцій</i>
Кореквізити	<i>Розрахунки силових конструкцій на міцність, вирішення технологічних задач та в дослідницькій роботі для проведення числових експериментів</i>
Постреквізити	<i>При виконанні курсових та дипломних робіт (проектів) та як складова інтегральної компетентності підготовки за освітньо-професійною програмою.</i>

3. Мета та завдання навчальної дисципліни, переліки компетентностей та очікуваних результатів навчання

Мета – метою вивчення дисципліни «Теорія та застосування методу скінчених елементів» є ознайомлення із уявленнями щодо сутності чисельних методів розрахунків конструкцій, наявності сучасних комп'ютерних програм, які реалізують метод скінчених елементів розрахунку на міцність, стійкість та коливання. Складання розрахункових схем. Аналіз отриманих даних розрахунків.

Завдання – вивчення теорії та практики застосування методу скінчених елементів у задачах динаміки та міцності машин.

Компетентності, які набуваються:

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми в галузі динаміки та міцності або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів технічних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Загальні компетентності (ЗК)

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

Здатність працювати у команді.

Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

Здатність діяти соціально відповідально та свідомо.

Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

Спеціальні компетентності (СК або ФК)

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

Здатність аналізу матеріалів, конструкцій та процесів на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук і прикладної механіки.

Здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і машин в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності конструкцій і процесів, в тому числі і за наявності деякої невизначеності.

Здатність використовувати аналітичні та чисельні математичні методи для вирішення задач прикладної механіки, зокрема здійснювати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість в процесі

статичного та динамічного навантаження з метою оцінки надійності деталей і конструкцій машин.

Здатність застосовувати комп'ютеризованих систем проектування (CAO), виробництва (CAM) і інженерних досліджень (CAE) та спеціалізоване прикладне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань з прикладної механіки.

Програмні результати навчання (ПРН або РН):

Програмні результати навчання (ПРН):

Виконувати розрахунки на міцність, витривалість, стійкість, довговічність, жорсткість деталей машин.

Оцінювати надійність деталей і конструкцій машин в процесі статичного та динамічного навантаження.

Навички практичного використання комп'ютерних систем проектування (CAO), виробництва (CAM) і інженерних досліджень (CAE).

Вільно спілкуватися з професійних питань усно і письмово державною та іноземною мовою, включати знання спеціальної термінології та навички міжособистісного спілкування.

4. Зміст навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Змістовний модуль 1. Теорія використання МСЕ задачах механіки

Тема 1. Методи наближення функцій:

- Поняття апроксимації і інтерполяції;
- Апроксимація лінійною квадратичною та кубічною функціями.

Лекція 01. Загальні поняття.

Лекція 02. Лінійний елемент.

Практичне заняття 01. Подання складної функції. Подання кубічної функції.

Самостійна робота студентів полягає у:

- Підготовці та аналізі результатів практичних занять;
- Самостійному опрацюванні лекційного матеріалу.

Види контролю: Усне опитування з теоретичного матеріалу, активність та робота на практичних заняттях.

Критерії оцінювання: Оцінка рівня володіння матеріалу та його застосування.

Тема 2. Одномірний елемент і лінеаризація нелінійних співвідношень:

- Поняття апроксимації і інтерполяції;
- Апроксимація лінійною квадратичною та кубічною функціями.

Лекція 03. Матриця жорсткості системи.

Лекція 04. Визначення зусиль, розв'язання СЛАР.

Практичне заняття 02. Розв'язання СЛАР.

Практичне заняття 03. Приклад розрахунків. КР за Темою.

Самостійна робота студентів полягає у:

- Підготовці та аналізі результатів практичних занять;
- Самостійному опрацюванні лекційного матеріалу.

Види контролю: Усне опитування з теоретичного матеріалу, активність та робота на практичних заняттях.

Критерії оцінювання: Оцінка рівня володіння матеріалу та його застосування.

Модульний контроль

Контрольна робота за Змістовний модуль 1. Інтерполяція степенної функції третього порядку.

Критерії оцінювання: Максимальна оцінка за модульну контрольної роботи складає 10 бали. Неповне виконання завдання, помилки у використанні алгоритмів, некоректна зупинка алгоритму призводить до зниження оцінки на 1-6 балів.

Змістовний модуль 2. Розв'язання базових задач МСЕ

Тема 3. Отримання та вирішення вирішальних рівнянь:

- Граничні умови;
- Матриця жорсткості скінченного елемента.

Лекція 05. Граничні умови; точність результатів; стійкість рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Лекція 06. Довільне розташування СЕ на площині; перетворення переміщень; матриця жорсткості скінченного елемента; напруги; довільне розташування СЕ в просторі.

Практичне заняття 04. Граничні умови; точність результатів. Перетворення переміщень.

Самостійна робота студентів полягає у:

- Підготовці та аналізі результатів практичних занять;
- Самостійному опрацюванні лекційного матеріалу.

Види контролю: Усне опитування з теоретичного матеріалу, активність та робота на практичних заняттях.

Критерії оцінювання: Оцінка рівня володіння матеріалу та його застосування.

Тема 4. Плоский елемент:

- Трикутні елементи;
- Многокутні елементи.

Лекція 07. Лінійний плоский трикутний елемент; квадратичний трикутний елемент.

Лекція 08. Лінійний чотирикутний елемент; квадратичний чотирикутний елемент.

Практичне заняття 05. Матриця жорсткості скінченного елемента. Приклад розрахунків. КР за Темою.

Самостійна робота студентів полягає у:

- Підготовці та аналізі результатів практичних занять;
- Самостійному опрацюванні лекційного матеріалу.

Види контролю: Усне опитування з теоретичного матеріалу, активність та робота на практичних заняттях.

Критерії оцінювання: Оцінка рівня володіння матеріалу та його застосування.

Модульний контроль

Контрольна робота за Змістовний модуль 2. Отримання матриці жорсткості системи та вектора вузлових сил.

Критерії оцінювання: Максимальна оцінка за модульну контрольної роботи складає 10 бали. Неповне виконання завдання, помилки у використанні алгоритмів, некоректна зупинка алгоритму призводить до зниження оцінки на 1-6 балів.

Змістовний модуль 3. Застосування МСЕ у задачах динаміки і міцності машин

Тема 5. Розв'язуючі рівняння МСЕ у тривимірних тілах:

- Граничні умови у тривимірному тілі;
- Матриця жорсткості скінченного елемента у тривимірному тілі.

Лекція 09. Довільне розташування СЕ у тривимірному тілі.

Лекція 10. Перетворення переміщень у тривимірному тілі; матриця жорсткості скінченного елемента.

Практичне заняття 06. Отримання матриця жорсткості тривимірного скінченного елемента. Отримання вектора вузлових сил тривимірного скінченного елемента.

Самостійна робота студентів полягає у:

- Підготовці та аналізі результатів практичних;
- Самостійному опрацюванні лекційного матеріалу

Види контролю: Усне опитування з теоретичного матеріалу, активність та робота на практичних заняттях.

Критерії оцінювання: Оцінка рівня володіння матеріалу та його застосування.

Тема 6. Вирішення рівнянь у тривимірному тілі:

- Елементи з тетраедерною геометрією;
- Елементи на основі просторових багатокутників.

Лекція 11. Лінійний плоский трикутний елемент; квадратичний трикутний елемент, лінійний багатокутний елемент;

Лекція 12. Криволінійний багатокутний елемент.

Практичне заняття 07. Матриця жорсткості лінійного скінченного елемента, Матриця жорсткості криволінійного скінченного елемента.

Практичне заняття 08. Приклад розрахунків. КР за Темою.

Самостійна робота студентів полягає у:

- Самостійному опрацюванні лекційного матеріалу;
- Підготовці до Контрольної роботи за Змістовний модуль 3.

Види контролю: Усне опитування з теоретичного матеріалу, активність та робота на практичних заняттях.

Критерії оцінювання: Оцінка рівня володіння матеріалу та його застосування.

Модульний контроль

Контрольна робота за Змістовний модуль 3. Отримання матриці жорсткості системи та вектора вузлових сил. Отримання вузлових переміщень.

Критерії оцінювання: Максимальна оцінка за модульну контрольної роботи складає 20 бали. Неповне виконання завдання, помилки у використанні алгоритмів, некоректна зупинка алгоритму призводить до зниження оцінки на 1-12 балів.

5. Індивідуальні завдання

Не передбачено.

6. Методи навчання

Проведення лекцій і практичних занять, індивідуальні консультації, самостійна робота здобувачів за методичними посібниками.

7. Методи контролю

Усне опитування з теоретичного матеріалу, активність та робота на практичних заняттях, перевірка контрольних робіт, іспит у письмовій формі.

8. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі освіти

Таблиця 8.1 – Розподіл балів, які отримують здобувачі освіти

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Активність під час аудиторної роботи	0...10	10	0...10
Виконання практичних робіт	0...10	2	0...10
Контрольна робота за Змістовний модуль 1	0...10	1	0...10
Змістовний модуль 2			
Активність під час аудиторної роботи	0...10	10	0...10
Виконання практичних робіт	0...10	2	0...10
Контрольна робота за Змістовний модуль 2	0...10	1	0...10
Змістовний модуль 3			
Активність під час аудиторної роботи	0...20	10	0...20
Виконання практичних робіт	0...10	2	0...10
Контрольна робота за Змістовний модуль 3	0...10	1	0...10
Усього за семестр			0...100

Семестровий контроль (*письмовий іспит*) проводиться у разі відмови здобувача від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. Під час складання семестрового іспиту здобувач має можливість отримати максимум 100 балів.

Таблиця 8.3 – Шкали оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційний залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

Критерії оцінювання роботи здобувача освіти протягом семестру

Задовільно (60-74) – Здати всі завдання та тестування: тестове завдання відкритої форми у вигляді задачі. Виконується на практичних заняттях на кожний змістовий модуль (3 задачі за курс). Необхідно отримати рівняння заданого типу та їх вирішення методами, що вивчаються в курсі "в цілому" для кожного завдання. Підраховуються дії студента по зображенню розрахункової схеми, відображенню векторів, запису і розв'язанні рівнянь. Помилкові дії не зараховуються, а грубі помилки віднімаються, і в остаточному результаті студент отримує оцінку пропорційне своїм правильним діям до максимально можливих правильних дій у даній задачі.

Добре (75-89) – Необхідне регулярне відвідування занять та участь у проміжному контролі у вигляді участі у ході вирішення завдань на практиці та обговоренні результатів розрахунків. Крім базових вимог на оцінку «задовільно», захистити всі завдання, здати тестування та поза аудиторну самотійну роботу. Вирішення завдання не повинно містити грубих помилок, а відповіді викликати сумніви в достовірності. По кожній темі треба вміти скласти матрицю жорсткості обраного елемента та системи загалом, а також отримати вектор сил для обраної системи координат. Вміти вирішувати отримані рівняння, знаходити переміщення, деформації і напруження для кожного типу використовуваних елементів.

Відмінно (90-100) – Здати всі контрольні точки з оцінкою «відмінно». Студент отримує максимальну за елемент контролю оцінку, якщо завдання виконане у відведений строк, з використанням комп'ютерної техніки, акуратно оформлене, містить аналіз отриманих результатів.

9. Політика навчального курсу

Відвідування занять. Регуляція пропусків. Здобувачі освіти, які за певних обставин не можуть відвідувати практичні заняття регулярно, повинні протягом тижня узгодити із викладачем графік індивідуального відпрацювання пропущених занять.

Дотримання вимог академічної доброчесності здобувачами освіти під час вивчення навчальної дисципліни. Під час виконання курсового проекту здобувачі освіти мають дотримуватися загальноприйнятих морально-етичних норм і правил поведінки, вимог академічної доброчесності, передбачених Положенням про академічну доброчесність Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» (<https://khai.edu/assets/files/polozhennya/polozhennya-pro-akademichnu-dobrochesnist.pdf>).

Вирішення конфліктів. Порядок і процедури врегулювання конфліктів регламентуються Кодексом етичної поведінки в Національному

аерокосмічному університеті «Харківський авіаційний інститут» (<https://khai.edu.ua/university/normativna-baza/ustanovchi-dokumenti/kodeks-etichnoi-povedinki/>).

10. Методичне забезпечення

1. *Теорії міцності. Складний опір.* М. М. Гребенніков, В. Ю. Мірошніков, М. І. Пекельний. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2022. – 162 с.
https://mentor.khai.edu/pluginfile.php?file=%2F502626%2Fmod_folder%2Fcontent%2F0%2F%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%97%20%D0%BC%D1%96%D1%86%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96%20%D0%A1%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20%D0%BE%D0%BF%D1%96%D1%80.pdf&forcedownload=1
2. Дубенець В.Г., Хільчевський В.В., Савченко О.В. *Основи методу скінченних елементів: Навчальний посібник.* – Чернігів: ЧДТУ, 2007. – 288 с.
https://mentor.khai.edu/pluginfile.php?file=%2F502626%2Fmod_folder%2Fcontent%2F0%2F%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8%20%D0%9C%D0%A1%D0%95.pdf&forcedownload=1
3. <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=9760>

11. Рекомендована література

Базова

1. Волонтир Л. О. *Чисельні методи: Навч. посібник* / Л. О. Волонтир, О. В. Зелінська, Н. А. Потапова. : Вінниця: ВНАУ, 2019. – 322 с.
2. Бажанова А. Ю. *Інформаційні технології в проектуванні. Навчальний посібник* / А. Ю. Бажанова, Д. В. Лазарева, М. Г. Сур'янінов. : Одеса: ОДАБА, 2018. - 290с.
3. Xiaolin Chen, Yijun Lin. *Finite Element Modeling and Simulation with ANSYS Workbench.* : CRC Press, 2018. 471p.

Допоміжна

1. Ярошенко О. І. *Числові методи: Навч. посібник.* / О. І. Ярошенко, М. В. Григорків. : Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2018. – 172 с.
2. Басов К. А. *ANSYS для конструкторов* / К. А. Басов К.А. : ДМК Пресс – 2016. – 248 с.
3. Dechaumphai P., Sucharitpwatskul S. *FiniteElementAnalysiswith ANSYS Workbench.* Oxford, U.K. : AlphaScienceInternationalLtd, 2018. – 280 p.

12. Інформаційні ресурси

1. Степанов О.В. Комп'ютерне моделювання методом скінченних елементів. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. В. Степанов, Ю. І. Богомол, А. В. Мініцький. – Електронні текстові дані (1 файл 4,57 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 112 с. – Назва з екрана. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/64881>

2. Механіка суцільних середовищ в інженерних розрахунках [Електронний ресурс] ; уклад. О. С. Сахаров, А. Я. Карвацький, С. В. Лелека [та ін.]. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,23 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 125 с. - Назва з екрана.

3. <https://k102.khai.edu> - Сайт кафедри міцності літальних апаратів

4. <http://library.khai.edu> - Електронна бібліотека ХАІ: