

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

Кафедра міцності літальних апаратів (№ 102)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Віталій МІРОШНИКОВ
(підпис) (ім'я та ПРИЗВИЩЕ)

« 19 » 08 2025 р.

СИЛАБУС ОBOB'ЯЗKОВОЇ HABЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Застосування МСЄ в нелінійних задачах механіки
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: G Інженерія, виробництво та будівництво
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: G9 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма: Динаміка і міцність машин
(найменування освітньої програми)

Рівень вищої освіти: *другий (магістерський)*

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 АРУТЮНЯН
(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>2</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Тип дисципліни	<i>Обов'язкова</i>
Обсяг дисципліни: кредити ЄКТС/ кількість годин	<i>Денна: 6 кредитів ЄКТС / 180 годин (64 аудиторних, з яких: лекції – 32, практичні – 32; СРЗ – 116);</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 і Вища математика</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 «Застосування МСЄ в нелінійних задачах механіки» є ознайомлення із уявленнями щодо сутності чисельних методів розрахунків конструкцій, наявності сучасних комп'ютерних програм, які реалізують метод скінчених елементів в нелінійних задачах механіки. Складання розрахункових схем. Аналіз отриманих даних розрахунків.

Завдання – вивчення теорії та практики застосування методу скінчених елементів у задачах деформованого твердого тіла.

Компетентності, які набуваються:

Інтегральна компетентність:

Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми у прикладній механіці або у процесі навчання, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог.

Загальні компетентності (ЗК)

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми.

Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

Спеціальні компетентності (СК або ФК)

Після закінчення цієї програми здобувач освіти буде здатен:

Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.

Здатність описати, класифікувати та змодельовувати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук.

Здатність до самостійної роботи і ефективного функціонування в якості керівника групи.

Здатність зрозуміло і недвозначно доносити власні висновки, знання та пояснення до фахівців і нефахівців, зокрема і в процесі викладацької діяльності.

Програмні результати навчання (ПРН або РН):

Самостійно ставити та розв'язувати задачі інноваційного характеру, аргументувати і захищати отримані результати та прийняті рішення;

Розробляти, виконувати та оцінювати інноваційні проекти з урахуванням інженерних, правових, екологічних, економічних та соціальних аспектів;

Зрозуміло і недвозначно презентувати результати досліджень та проектів, доносити власні висновки, аргументи та пояснення державною та іноземною мовами усно і письмово колегам, здобувачам освіти та представникам інших професійних груп різного рівня;

Оволодівати сучасними знаннями, технологіями, інструментами і методами, зокрема через самостійне опрацювання фахової літератури, участь у науково-технічних та освітніх заходах;

Вести пошук необхідної інформації в науково-технічній літературі, електронних базах та інших джерелах, засвоювати, оцінювати та аналізувати цю інформацію.

4. Зміст навчальної дисципліни

МОДУЛЬ 1

Змістовний модуль 1. Теоретичні основи МСЕ і лінеаризація нелінійних співвідношень

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.

Практичне заняття 02. 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 04-05. Визначення зусиль, Розв'язання СЛАР.

Практичне заняття 03. Розв'язання СЛАР.

Практичне заняття 04-05. 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 06. Граничні умови; точність результатів; стійкість рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Лекція 07. Довільне розташування СЕ на площині; перетворення переміщень; матриця жорсткості скінченного елемента; напруги; довільне розташування СЕ в просторі.

Практичне заняття 06. Граничні умови; точність результатів.

Практичне заняття 07. 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 08. Лінійний плоский трикутний елемент; квадратичний трикутний елемент.

Лекція 09-10. Лінійний чотирикутний елемент; квадратичний чотирикутний елемент.

Практичне заняття 08. Матриця жорсткості скінченного елемента.

Практичне заняття 09-10. 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. МСЕ в нелінійних задачах механіки

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

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

Лекція 11. Довільне розташування СЕ у тривимірному тілі.

Лекція 12. Перетворення переміщень у тривимірному тілі; матриця жорсткості скінченного елемента.

Практичне заняття 11. Отримання матриці жорсткості тривимірного скінченного елемента.

Практичне заняття 12. 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 13. Лінійний плоский трикутний елемент; квадратичний трикутний елемент;

Лекція 14. Лінійний багатокутний елемент;

Лекція 15-16. Криволінійний багатокутний елемент.

Практичне заняття 13. Матриця жорсткості лінійного скінченного елемента.

Практичне заняття 14. Матриця жорсткості криволінійного скінченного елемента.

Практичне заняття 15-16. 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 балів. 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, залік у письмової 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 пропорційно 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 самостійну 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: