

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковський
"Харківський авіаційний інститут"

Кафедра технології виробництва літальних апаратів (№ 104)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова НМК 1

 Сергій НИЖНИК
« 29 » 08 2023 рік

**СИЛАБУС
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
"ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ"**

**ВИБІРКОВА ДИСЦИПЛІНА 2
МІНОРА "ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АВІАБУДУВАННІ"**

Галузь знань: 13 «Машинобудування»
(код і назва галузі знань)

Спеціальність: 134 «Авіаційно-космічна техніка»
(шифр та назва спеціальності)

Освітня програма: Усі

Рівень вищої освіти: перший (бакалавр)

Впроваджено з 01.09.2023

Харків – 2023

Розробник: Ольга ШИПУЛЬ, к.т.н., доцент _____

Силабус розглянуто на засіданні кафедри технології виробництва літальних апаратів (№ 104)

Протокол № 1 від "29" _____08____2023_ р.

Завідувач кафедри 104, к.т.н., доцент _____ Катерина МАЙОРОВА

Погоджено з представником здобувачів освіти: _____

ВИКЛАДАЧ БЛОКУ

Ольга ШИПУЛЬ, к.т.н., доцент, старший науковий співробітник кафедри технології виробництва літальних апаратів (№ 104) з 2003 року.

e-mail: o.shipul@khai.edu

Викладання курсів: Технології виробництва літальних апаратів, Моделювання фізичних процесів, Експериментальні методи дослідження в технологіях виробництва літальних апаратів, CAD/CAM/CAE системи та моделювання технологічних процесів.

Напрямки досліджень: фінішне оброблення деталей інтенсивними тепловими потоками горючих газів у закритих камерах. Дослідження міцнісних характеристик матеріалів під дією термоімпульсних навантажень. Дослідження електричних параметрів вдосконаленої високоенергетичної системи запалювання. Задача балансного компонування з оптимізованими відстанями між об'єктами. Чисельне та експериментальне дослідження викиду відпрацьованих газів при термоімпульсному обробленні. Дослідження процесу генерації газових сумішей зі забезпеченням потрібної якості компонентного складу. Розробка цифрових двійників систем генерації газових сумішей.



ІНФОРМАЦІЯ ПРО ДИСЦИПЛІНУ

Семестр – 6.

Загальна кількість кредитів ЄКТС – 5.

Загальна кількість годин – 150, включаючи всі заходи, пов'язані з викладанням, навчанням та оцінюванням навчальних одиниць.

Заплановані види навчальної діяльності – лекційні заняття (32 години), практичні заняття (32 години), самостійна робота (86 годин), поточні та семестрові заліки. Кожен компонент - це час, який студент проводить у контакті з викладацьким складом, що включає такі заходи, як лекції, лабораторні та практичні роботи, консультації. Ці заходи можуть бути проведені онлайн і бути синхронними (з використанням середовищ реального часу, таких як Google Meet і BigBlueButton) або асинхронними (з використанням інструментів системи Mentor, яка модерується викладачем).

Поза запланованими заходами очікується, що студенти продовжать власне самостійне навчання, щоб побудувати свої знання та розуміння підрозділу, який вони вивчають. Такі самостійні заходи включають перегляд лекційного матеріалу, читання літератури, роботу над прикладами, виконання самостійних робіт, написання лабораторних звітів, підготовку до тестів успішності тощо.

Форми навчання – денна, дистанційна, дуальна.

Мова викладання – українська, англійська.

Пререквізити – фізика; вища математика; методи програмування та обчислення; інженерні основи 3D-моделювання; механіка матеріалів і конструкцій.

Кореквізити – відсутні.

Мета підрозділу: надання знань та навчання навичкам розробки скінченно-елементних моделей з використанням сучасного програмного забезпечення для аналізу деяких структурних, механічних та гідротехнічних задач.

Завдання підрозділу: розвиток розуміння студентами загальних принципів та інженерних методів розробки моделювання за МКЕ, включаючи підготовку геометрії, сіток, застосування відповідних граничних та початкових умов, розрахунків та інтерпретацію результатів.

Компетентності, які набуваються:

- K01. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
- K02. Здатність спілкуватися іноземною мовою.
- K04. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
- K05. Здатність працювати у команді.
- K06. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- K08. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- K14. Здатність здійснювати розрахунки елементів авіаційної
- K15. Здатність проектувати та здійснювати випробування елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки, її обладнання, систем та підсистем.
- K17. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій та спеціалізованого програмного забезпечення при навчанні та у професійній діяльності.

Очікувані результати навчання:

- PR01. Вільно спілкуватися усно і письмово державною та іноземною мовами з професійних питань.
- PR04. Володіти засобами сучасних інформаційних та комунікаційних технологій в обсязі, достатньому для навчання та професійної діяльності.
- PR05. Пояснювати свої рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і нефакі-вцям в ясній і однозначній формі.
- PR06. Володіти навичками самостійного навчання та автономної роботи для підвищення професійної кваліфікації та вирішення проблем в новому або незнайомому середовищі.
- PR16. Застосовувати у професійній діяльності сучасні методи проектування, конструювання та виробництва елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки.
- PR17. Обчислювати напружено-деформований стан, визначати несійну здатність конструктивних елементів та надійність систем авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Навчання буде проводитися за допомогою комбінації синхронних та асинхронних сесій, які можуть включати лекції, практичні заходи, що підтримуються сеансами, проблемними листами та самостійними вправами.

Оцінювання за тестами та результатами комп'ютерних практичних робіт, де студенти будуватимуть та аналізуватимуть результати МКЕ моделювання. Підсумковий контроль – залік.

Успіх як студента бакалаврату залежить від особистої здатності здійснити перехід до самомотивованого, самостійного навчання. Поміж переліченого вище, поточна дисципліна призначена для допомоги студентам у цьому розвитку, починаючи з уроків, на яких розклад викладання, такого як лекції та практичні заняття, забезпечує основи знань та навичок з предмета, переходячи до індивідуальної дослідницької роботи. З часом очікується, що студенти візьмуть на себе все більшу відповідальність за власне навчання, керуючись відгуками про свою роботу, які вони отримують. В основі навчання студента на кожному рівні має бути регулярне та дисципліноване індивідуальне читання, рефлексія, складання усних та письмових звітів, і саме ця навичка самостійного навчання, перш за все, буде служити студенту найкраще при виході з університету.

ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст модуля 1. Початок роботи з Ansys Mechanical

Працюючи з будь-яким комп'ютерним інженерним програмним забезпеченням, важливо розуміти його робочий процес та інтерфейс користувача, щоб ви могли бути більш продуктивними та ефективними під час виконання аналізу в програмному забезпеченні. У цьому курсі ви ознайомитеся з інтерфейсом користувача Ansys Mechanical та дізнаєтеся важливі поради та підказки, щоб бути більш продуктивним у робочому процесі моделювання.

Вивчіть практичні методи моделювання інженерії, дотримуючись практичних прикладів, які можна заповнити за допомогою ліцензії Ansys Student.

Результати навчання:

- Зрозумійте робочий процес для схеми проекту Workbench.
- Ознайомтеся з навігацією в Ansys Mechanical та за допомогою контуру дерева.
- Вивчіть поради щодо механічної продуктивності Ansys.

Тема 1. Як орієнтуватися в інтерфейсі Ansys Workbench 1. Платформа Ansys Workbench допомагає створити логічну схему різних систем аналізу. Під час цього процесу можна організувати аналіз систем і підготувати імітаційний робочий процес шляхом передачі або обміну інформацією між системами. У цій темі представлено користувацький інтерфейс Ansys Workbench. Цей урок допомагає навчитися переміщатися по макету вікна Workbench, щоб ви могли навчитися користуватися цим інструментом моделювання.

Тема 2. Як орієнтуватися в інтерфейсі Ansys Workbench 2. Ansys Mechanical виконує різноманітні симуляції в механіці. Його користувацький інтерфейс простий у виконанні та зручний, але розуміння загального макета та філософії дизайну важливо для успішного моделювання в Ansys Mechanical. У цьому уроці розглядається, як контур дерева відіграє важливу роль у робочому процесі моделювання, а також контекстні меню.

Тема 3. Як бути більш продуктивним, використовуючи Ansys Mechanical. Працюючи з Ansys Mechanical для вирішення складної інженерної проблеми, часто доводиться мати справу з великими вузлами, що мають багато взаємопов'язаних деталей. Ansys Mechanical - це дуже потужний інструмент чисельного моделювання з великою кількістю автоматизованих функцій, які допомагають працювати з великими вузлами швидше, простіше та ефективніше. У цьому уроці ми розглянемо ці функції, а також ряд порад та рекомендацій, щоб зробити роботу з Ansys Mechanical приємною та ефективною подорожжю.

Модульне контроль. *Тест – Початок роботи з Ansys Mechanical*

Індивідуальна робота. Скінченно елементний метод (МКЕ) — варіаційний метод зниженого порядку. <https://courses.ansys.com/index.php/courses/fea-the-finite-dimensional-weak-form/>

Зміст модуля 2. Інструменти підготовки геометрії в Ansys Discovery

Ansys Discovery дає інженерам можливість прискорити розробку продукту та збільшити інновації за допомогою попереднього моделювання. За допомогою можливостей інтерактивного моделювання та моделювання ви можете відповісти на критичні питання проектування на початку етапу проектування. Можливості швидкої підготовки геометрії Ansys роблять процес ще більш ефективним.

У цьому модулі розглядаються основні інструменти редагування, які використовуються для підготовки геометрії в Ansys Discovery: інструменти витягування, переміщення, заливки та комбінування, які використовуються як у 2D, так і в 3D додатках і є основою для підготовки геометрії до моделювання. А також надаються пояснення як створювати або редагувати геометрію за допомогою режиму «Ескіз».

Тема 1. Інструмент витягування. Pull Tool має кілька застосувань, включаючи, але не обмежуючись цим, зміну існуючої геометрії шляхом сполучення граней, спрощення та руйнування геометрії, видалення або додавання матеріалу, створення геометрії з нуля та багато іншого. Ви зрозумієте робочі деталі інструменту Pull Tool для підготовки геометрії для моделювання в Ansys Discovery.

Тема 2. Інструмент "Переміщення". Інструмент переміщення має кілька застосувань та застосувань, включаючи, але не обмежуючись цим, модифікацію існуючого дизайну шляхом сполучення облич разом, переміщення тіл або вузлів за призначенням. Більш того, він використовується для копіювання або виготовлення викрійки необхідних функцій і багато іншого. Ви зрозумієте робочі деталі інструменту переміщення для підготовки геометрії для моделювання в Ansys Discovery.

Тема 3. Інструмент "Заливка". Інструмент заливки має кілька застосувань. Він використовується не тільки для видалення граней, отворів і заокруглень, але і для створення поверхневих зон з країв і кривих, ви зрозумієте

робочі деталі інструменту для підготовки геометрії для моделювання в Ansys Discovery.

Тема 4. Інструмент "Об'єднати". Інструмент об'єднання має кілька застосувань, включаючи, але не обмежуючись цим, злиття тіл разом, розділення тіл, створення перетинів, відбитків тіл та багато іншого. Ви зрозумієте робочі деталі інструменту об'єднання для підготовки геометрії для моделювання в Ansys Discovery.

Тема 5. Ескізування. Ескізування має кілька застосувань, включаючи, але не обмежуючись цим, створення кривих та поверхонь для моделювання, створення еталонних зображень у 2D або 3D та багато іншого. Користувачі також можуть редагувати модель, додаючи ребра та грані до тіл. Ви зрозумієте, як створити або відредагувати геометрію для моделювання в Ansys Discovery.

Модульний контроль. *Задача розробленого проекту*

Індивідуальна робота. Скінченно елементний метод (МКЕ) — аналіз за методом скінченних елементів. <https://courses.ansys.com/index.php/courses/analysis-of-the-finite-element-method/>

Зміст модуля 3. Підготовка геометрії для моделювання конструкцій

Робочий процес структурного моделювання складається з чотирьох основних етапів: підготовка геометрії, генерація сітки, чисельне рішення та аналіз результатів. Підготовка геометрії - це етап, на якому необроблена геометрія автоматизованого проектування (CAD) обробляється і перетворюється на геометрію, що відповідає вимогам сітки, яка може належним чином представляти фізику системи. Обробка геометрії включає такі етапи, як видалення непотрібних геометричних функцій, очищення, скорочення домену для представлення необхідної області системи, яку потрібно моделювати, та багато іншого.

Тема 1. Кронштейн, частина 1. Ви дізнаєтеся, як Ansys Discovery можна використовувати для підготовки геометрії для структурного моделювання.

Тема 2. Дужка, частина 2. Ви продовжите підготовку геометрії та зосередитеся на її ремонті, виконанні деяких поразок та очищенні, щоб передати у Ansys Mechanical.

Тема 3. Дужка, частина 3. Ви продовжите підготовку геометрії для структурного моделювання, зосередитеся на створенні іменованих виділень, спільному використанні топології та перенесенні її в Ansys Workbench.

Тема 4. Інструмент для обробки середньої поверхні. Ви дізнаєтеся, як використовувати інструмент Midsurfacing в Ansys Discovery, який допоможе вам зменшити кількість вузлів та елементів для вашого структурного аналізу.

Модульний контроль. *Задача розробленого проекту*

Індивідуальна робота. Метод скінченних елементів (FEA) — матрично – векторна форма. <https://courses.ansys.com/index.php/courses/fea-the-matrix-vector-form/>

Зміст модуля 4. Структурні граничні умови для аналізу напруженого стану з використанням Ansys Mechanical

Для будь-якого аналізу скінченних елементів граничні умови є критично важливою частиною для правильного налаштування моделі. Це пояснюється тим, що граничні умови представляють ефект інших частин або структур, які безпосередньо не моделюються в аналізі. Якщо використовуються невідповідні граничні умови, результати моделювання можуть бути далеко не правильними. Можна розглянути два типи граничних умов: опори і навантаження. Опори використовуються для обмеження конструкції, в той час як навантаження використовуються для збудження конструкції.

Ви вивчите практичні методи інженерного моделювання, дотримуючись практичних прикладів, які можна виконати, використовуючи вашу ліцензію Ansys Student.

Тема 1. Визначення, яку опору використовувати. Опори використовуються для представлення деталей, які відсутні в моделі, але взаємодіють з нею. Опори допомагають скоротити предметну область, що допомагає ефективно отримувати чисельно точні результати без моделювання частин геометрії, які не представляють першочергового інтересу. Доступні різні типи опор. Це важливо, оскільки гарантує, що імітаційна модель буде належним чином представляти граничну умову. Ця тема допоможе зрозуміти різні типи опор, щоб визначити, які з них використовувати в різних ситуаціях.

Тема 2. Розуміння необхідності повного обмеження моделі. Виконуючи статичний аналіз, потрібно завжди мати на увазі необхідність повного обмеження моделі. Це не означає, що ми повинні надмірно обмежувати модель; скоріше, ми повинні мати оптимальні граничні умови, щоб успішно і точно завершити аналіз. У цій темі обговорюється важливість правильного обмеження моделі та найкращі стратегії, яких можуть дотримуватися користувачі для досягнення успіху.

Тема 3. Розуміння того, коли скористатися перевагами симетрії. У цій темі вам буде показано, коли скористатися перевагами симетрії. Якщо геометрія, орієнтація матеріалу, навантаження та очікувана реакція демонструють симетрію приблизно на одних і тих же площинах, ми можемо скористатися площинною симетрією і лише змодельовати частину фактичної структури, щоб зменшити час виконання аналізу та вимоги до пам'яті. Використання областей симетрії в Ansys Mechanical може дати більш точні та обчислювально ефективні рішення. Однак інструмент "Область симетрії" не слід використовувати, коли не виконуються всі чотири вимоги симетрії, наприклад, при модальному або лінійному аналізі, де необхідно обчислити несиметричні режими.

Тема 4. Розуміння різниці між силами і тиском. У 3D-аналізі силові та напірні навантаження пов'язані один з одним. Основна відмінність між силою і тиском полягає в тому, як вона застосовується до системи. Користувачі можуть вибрати або силу, або тиск як спосіб збудження або навантаження моделі, однак

одна з них може бути простішою у використанні та точнішою, ніж інша. Ця тема допоможе вам зрозуміти різницю між силами та тиском.

Тема 5. Розуміння інерційних навантажень. Прискорення вільного падіння може бути включено в статичний аналіз, але це може бути трохи заплутаним для нових користувачів, оскільки деталі не повинні рухатися або прискорюватися в статичному аналізі. У цій темі ми обговоримо різні типи інерційних навантажень, таких як прискорення, швидкість обертання, прискорення обертання та сила тяжіння, а також які входні дані потрібні для їх визначення в статичному аналізі. Ви будете зосереджені на визначенні належних властивостей матеріалу, оскільки це важливо для проведення аналізу кінцевих елементів, маючи на увазі інерційні навантаження. Ви вивчите деякі інерційні навантаження, які, можливо, доведеться інтерпретувати в контексті рухомої системи відліку і побачите, як змінюється рівняння руху для статичного і динамічного аналізу.

Тема 6. Проведення термічно-стресового аналізу. У багатьох інженерних додатках механічна збірка може зазнавати значних температурних змін. Такі зміни температури приводять до теплових деформацій і за певних умов також можуть генерувати напруги. Термічно-напружений аналіз необхідний для оцінки величини викривлення, викликаного тепловими деформаціями, і запобігання виходу з ладу через надмірні напруги, викликані тепловими режимами. Для оцінки теплових деформацій і напружень може знадобитися спочатку виконати тепловий аналіз, щоб отримати інформацію про розподіл температури по механічній збірці. У цій темі ви дізнаєтеся, як імпортувати температурні результати з теплового аналізу в структурний аналіз в Ansys Workbench для розрахунку деформацій, напружень та інших результатів від теплових навантажень.

Модульний контроль. У цьому модулі наведено два тести. Симуляційна вправа включає інструкції та необхідні файли для виконання моделювання. Після створення моделі складання тесту визначає, чи вірно було налаштовано та вирішено моделювання.

Індивідуальна робота. Аналіз скінченних елементів (ЗЕД) — граничні умови, базисні функції та числа. <https://courses.ansys.com/index.php/courses/fea-boundary-conditions/>

КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ТА РОЗПОДІЛ БАЛІВ

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0... 1	8	0... 8
Виконання практичних завдань	0... 1	8	0... 8
Модульний контроль	0... 9	1	0... 9
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0... 1	8	0... 8
Виконання практичних завдань	0... 1	8	0... 8
Модульний контроль	0... 9	1	0... 9
Змістовний модуль 3			
Робота на лекціях	0... 1	8	0... 8
Виконання практичних завдань	0... 1	8	0... 8
Модульний контроль	0... 9	1	0... 9
Змістовний модуль 4			
Робота на лекціях	0... 1	8	0... 8
Виконання практичних завдань	0... 1	8	0... 8
Модульний контроль	0... 9	1	0... 9
Разом за семестр			0... 100

Семестровий контроль (залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування та за наявності допуску на екзамен/залік. Під час семестрового заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів. Екзаменаційний білет складається з одного теоретичного питання і одного практичного завдання. Максимальна кількість балів за повну відповідь на теоретичне питання - 40 балів. Максимальна кількість балів за правильне виконання практичного завдання – 60 балів.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

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

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РОБОТИ СТУДЕНТА

Задовільно (60-74). Володіти мінімумом знань і навичок. Відпрацювати і захистити всі практичні роботи та індивідуальні завдання. Вміти самостійно будувати просту кінцево-елементну модель технологічного процесу, використовуючи автоматичні настройки програми аналізу кінцевих елементів Ansys Student (безкоштовна ліцензія). Вміти самостійно відображати результати розрахунку.

Добре (75 - 89). Твердо знати і вміти виконувати всі етапи комп'ютерного моделювання технологічного процесу, використовуючи автоматичні настройки програми аналізу кінцевих елементів Ansys Student (безкоштовна ліцензія). Продемонструвати можливість внесення коректив при незадовільній побудові розрахункової моделі за автоматичними налаштуваннями використовуваної програми. Вміти пояснити результати розрахунку. Відпрацювати і захистити всі практичні роботи та індивідуальні завдання в обумовлений викладачем термін.

Відмінно (90 - 100). Повністю знати основний і додатковий матеріал дисципліни. Орієнтуватися в підручниках і посібниках. Вміти самостійно будувати кінцево-елементні моделі досліджуваних процесів. Розумно прийняти рішення про дискретизацію розрахункової площі, призначення граничних і початкових умов навантаження системи. Визначте крок розрахунку. Вміти аналізувати результати і мати уявлення про способи їх оптимізації. Безпомилково виконувати і захищати всі практичні роботи та індивідуальні завдання в зазначений викладачем термін з детальним обґрунтуванням рішень і заходів, запропонованих в роботах.

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1. Інженерний аналіз елементів технологічного обладнання з використанням системи COSMOSWorks: навч. посібник до лабораторного практикуму / О.А. Павленко, V.Ye. Зайцев, В.В. Борисевич; Х.: Нац. аерокосмічний університет «Харк. авіація. Інст.», 2008. - 54 с.
2. Навчально-методичне забезпечення навчальної дисципліни "Основи моделювання технологічних процесів"
<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=4382>

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Гліненко, Л.К. Основи моделювання технічних систем: Навч. посібник/ Л.К.Гліненко, О.Г. Сухоносів. – Львів: Бескид Біт, – 2003. – 176 с.
2. Стеценко, І.В. Моделювання систем: навч. посібник/ І.В. Стеценко.– Черкаси: ЧДТУ, 2010.– 399 с.

Допоміжна

1. Зенкевич О. Конечные элементы и аппроксимация: Пер с англ./ О. Зенкевич, К. Морган. – М.: Мир, 1986. – 318 с.

2. Singiresu S. Rao. The Finite Element Method in Engineering, Butterworth-Heinemann; 4th edition, 2004, 688 p.
3. Olek C Zienkiewicz, R. L. Taylor. The Finite Element Method, Volume 1: The Basis, 5th edition, Butterworth-Heinemann, 2000, 708 p.

ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ

1. <https://courses.ansys.com/>
2. <https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student>