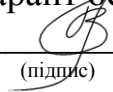


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра Конструкцій і проектування ракетної техніки (№ 401)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 В. О. Серeda
(підпис) (ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2021 р.

СИЛАБУС ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

**Інтегровані комп'ютерні
технології проектування**

(назва навчальної дисципліни)

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

Спеціальність: 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: Двигуни та енергетичні установки літальних апаратів
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Силабус введено в дію з 01.09.2021 року

Харків – 2021

(підпис)

(назва кафедри)

_____  _____ Ремезок М.В.

(підпис) (ініціали та прізвище)

1. Загальна інформація про викладача

	Середа Владислав Олександрович, д. т. н., доцент каф. № 401. З 2010 року з року викладає в університеті наступні дисципліни: – Інтегровані комп'ютерні технології проектування. – Технологія виробництва ракетних двигунів твердого палива. – Конструкція і проектування ракетних двигунів твердого палива. – Палива та робочі тіла ракетних двигунів. Напрями наукових досліджень: моделювання робочих процесів у теплових двигунах, розробка розрахункових програмних комплексів, газотермоаеродинаміка літальних апаратів інтегральних схем.
---	---

2. Опис навчальної дисципліни

Семестр, в якому викладається дисципліна – 6 семестр.

Обсяг дисципліни – 5 кредитів ЄКТС (150 годин), у тому числі аудиторних – 80 годин, самостійної роботи здобувачів – 70 годин.

Форми здобуття освіти – денна, дистанційна, дуальна.

Дисципліна – вибіркова.

Види навчальної діяльності – лекції, лабораторні роботи, самостійна робота здобувача.

Види контролю – поточний, модульний та підсумковий (семестровий) контроль (іспит).

Мова викладання – українська.

Необхідні обов'язкові попередні дисципліни (пререквізити) – нарисна геометрія, деталі машин; інформатика.

Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити) – термогазо- та аерогідродинаміка, опір матеріалів.

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета

ознайомити студентів із сутністю автоматизованого конструювання та моделювання, навчити розумінню принципів функціонування CAD, CAM та CAE систем, а також практичним навичкам їх ефективного використання в задачах створення геометричних моделей, газо термодинамічних розрахунків та розробки конструкторської та технологічної документації.

Завдання

вивчити методологію автоматизованого проектування; вміти застосовувати сучасні програмні комплекси автоматизації проектних процедур, навчити студента аналізувати результати моделювання і давати рекомендації, спрямовані на поліпшення ефективних показників об'єкта дослідження.

Компетентності, які набуваються:

– здатність проводити конструювання виробів та складань у системі Solid Works та проводити розрахунки сконструйованих виробів з використанням вивчених програмних засобів;

– здатність при виконанні виробничих функцій ефективно використовувати сучасні програмні продукти на етапі конструкторської підготовки виробництва, зокрема при проектуванні технологічних процесів, розрахунків інженерних конструкцій різного роду

Очікувані результати навчання:

- знати типові процедури конструювання і моделювання;
- знати етапи конструювання та моделювання;
- знати види CAD, CAM та CAE систем, можливості цих систем;
- знати структуру, користувацький інтерфейс Solid Works;
- знати основні команди, що реалізовані у системі Solid Works.

4. Зміст навчальної дисципліни

Змістовний модуль № 1. Математичне забезпечення CAE систем

Тема № 1. Вступ до навчальної дисципліни ІКТМ

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 13 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: відсутні.

Лабораторна робота: «Створення проекту Flow Simulation для вирішення задач зовнішнього обтікання об'єкту. Побудова поляри аеродинамічного профілю у двовимірній постановці», «Створення проекту Flow Simulation для вирішення задач з областю, що обертається. Особливості розрахунку областей, що обертаються методом несучих дисків».

Самостійна робота: «Основи роботи у додатку PhotoWorks системи SolidWorks. Вибір текстури, сцени, матеріалу, режиму рендерінгу зображення, налаштування якості зображення».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 10-13 годин.

Класифікація систем автоматичного проектування CAD/CAM/CAE. Система SolidWorks як найбільш поширена сучасна система проектування. Підходи Ейлера та Лагранжа до виведення балансних співвідношень. Основні поняття про поле швидкостей та тензор швидкостей деформації. Виведення рівнянь балансу маси, імпульсу та енергії. Загальний вигляд системи рівнянь газової динаміки. Система рівнянь Нав'є-Стокса для стиснутого теплопровідного газу. Відмінності систем рівнянь газової динаміки та Нав'є-Стокса.

Тема № 2. Класифікація чисельних методів та рівнянь матфізики

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 13-15 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: відсутні.

Лабораторна робота: «Розв'язання простого прикладу: отримання розподілення тепла в стрижні в одновимірному випадку методом скінченних елементів», «Розрахунок на міцність корпусу ракетного двигуна твердого палива на стаціонарному режимі роботи у додатку Cosmos Simulation системи SolidWorks».

Самостійна робота: «Створення анімації у додатку SolidWorks Animation. Накладання повздовжнього руху, обертання та деформації. Робота з часовими ключами».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 10-13 годин.

Класифікація рівнянь математичної фізики: гіперболічні, параболічні, еліптичні. Приклади моделей, що описуються різними типами рівнянь. Коротка характеристика чисельних методів вирішення рівнянь. Методи контрольних об'ємів, скінченних елементів, скінченних різниць. Сітки та сіткові функції. Різницева апроксимація простих диференціальних операторів. Явні та неявні різницеві схеми. Похибка чисельного диференціювання. Тріада коректності різницевих схем: збіжність, апроксимація, стійкість.

Тема № 3. Основні відомості про метод скінчених різниць

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 13-15 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: відсутні.

Лабораторна робота: «Отримання коефіцієнту гідравлічних втрат (Дарсі) для трубопроводу паливної системи при різноманітних кутах вигину у додатку Flow Simulation», «Отримання коефіцієнтів підйомної сили та опору для аеродинамічного профілю при різноманітних кутах атаки у додатку Flow Simulation».

Самостійна робота: «Створення геометричної моделі збірки на прикладі різьбового з'єднання. Аналіз маси, площини, об'єму та моментів інерції збірки. Створення рознесеного виду».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 10-13 годин.

Характеристичні поверхні. Види течій. Сильні та слабкі хвилі. Контактний розрив. Проста хвиля. Ударна хвиля. Інваріанти Рімана. Співвідношення на розривах. Умови сумісності Ренкіна-Гюгоніо. Автомодельні рішення. Задача розпаду вільного розриву. Вирішення системи рівнянь газової динаміки гідродинамічним методом - метод інтегро-інтерполяції, схема С. К. Годунова. Основи методу кінцевих елементів. Лінійні інтерполяційні поліноми. Поняття кінцевого елемента. Деякі одно-, дво- та тривимірні кінцеві елементи.

Змістовний модуль № 2. Теоретичні відомості про чисельні методи САЕ-систем

Тема № 4. Основні відомості про метод скінчених елементів

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 13-15 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: відсутні.

Лабораторна робота: «Побудова ливарної форми за допомогою стандартних засобів системи автоматичного моделювання додатку SolidWorks», «Тепловий розрахунок камери згоряння ракетного двигуна твердого палива з моделюванням гофр за допомогою пористого середовища у додатку Flow Simulation».

Самостійна робота: «Візуалізація та аналіз результатів розрахунку (Postprocessing). кольорові карти (Cut Plots), ізоповерхні (Isosurface), лінії току (Flow Trajectory), визначення інтегральних параметрів. параметри вздовж ескізу (XY Plots)».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 10-13 годин.

Одно-, дво- та тривимірні симплекси. Приклади використання одно-, дво- та тривимірних симплексів для апроксимації розподілення деяких функцій. Глобальна та локальна система координат. Місцеві координати у одно-, дво- та тривимірних випадках. L-координати. Перехід до L-координат. Турбулентність: проблеми моделювання та підходи до їх вирішення. Феномен турбулентності, явище відриву. Гіпотеза Буссінеска. Осереднений рух, рівняння Рейнольдса. Шлях змішування Прандтля, алгебраїчні моделі турбулентності: Болдуїна-Ломакса (BL) та Себісі-Сміта (SS).

Тема № 5. Основні моделі турбулентності

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 13-15 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: відсутні.

Лабораторна робота: «Дослідження можливості піролізу вуглеводневого палива при проходженні через змійовик прямооточного реактивного двигуна у додатку Flow Simulation», «Моделювання колеса компресора турбонасосного агрегату ракетного двигуна при різноманітних швидкостях обертання у додатку Flow Simulation».

Самостійна робота: «Редагування розрахункової області. Згущення сітки, зміна розмірів домену, симетричні умови, 2D-область. Налаштування граничних умов (Preprocessing)».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 10-13 годин.

Загальні поняття та відмінності диференційних моделей турбулентності: k-ε-модель, k-ω-модель, Спаларта-Аллараса (SA), Буссінеска-Прандтля (BP). Пряме чисельне інтегрування повної нестационарної системи рівнянь Нав'є-Стокса Direct Numerical Simulation (DNS) як модель турбулентності. Нормування апроксимаційної в'язкості як однопараметрична модель турбулентності. Додаткове рівняння переносу ентропії. Використання методу особливостей в механіці суцільного середовища. Основні особливості течії: джерела-стоки, вихори, диполі.

Тема № 6. Основні відомості про метод скінчених об'ємів

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 13-15 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: відсутні.

Лабораторна робота: «Створення проекту у додатку Cosmos Simulation, визначення параметрів матеріалу, типу закріплення та навантаження. Особливості побудови розрахункової сітки», «Отримання розподілу температури у багатопаровій циліндричній стінці ракетного двигуна твердого палива у додатку Cosmos Simulation системи SolidWorks».

Самостійна робота: «Історія САПР систем. Сучасні САПР системи. Переваги САПР SolidWorks. Продукти SolidWorks: CurcuitWorks, PhotoWorks, eDrawing, Feature Manager, Feature Palette».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 10-13 годин.

Основи методу контрольних об'ємів. Інтегральні закони збереження. Дискретизація інтегральних законів збереження. Апроксимація потоків через грані комірок: симетрична апроксимація та апроксимація I-го порядку. Зв'язок методу контрольних об'ємів та методу скінченних різниць. Обчислення геометричних параметрів для 2D випадку. Схема контрольних об'ємів для рівнянь Нав'є-Стокса. Розповсюдження схеми на нестационарний випадок.

5. Індивідуальні завдання

Створення складних криволінійних поверхонь у середовищі Solid Works за допомогою команди «Гранична поверхня». Створення шаблону та основного напису для роботи з кресленнями, а також їх корегування. Розрахунок конвективного теплообміну за допомогою додатку Flow Simulation. Розрахунок перетікання рідини з однієї ємності в іншу за допомогою додатку Flow Simulation. Використання у розрахунках течії середовища гравітації у додатку Flow Simulation. Аеродинамічні продувки на надзвукових швидкостях у додатку Flow Simulation.

6. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

7. Методи контролю

Для поточного контролю застосовуються усне опитування, контроль відвідувань лекційних занять, індивідуальні завдання, практичні заняття, розрахунково-графічна робота, фінальний контроль у вигляді заліку.

8. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

8.1 Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Оцінювання основних елементів навчальної роботи та контрольні заходи проводиться за наступними рекомендованими балами.

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекційних заняттях	0...0,5	12	0...6
Виконання і захист практичних робіт	2...4	3	6...12
Модульний контроль	14...18	1	14...18
Змістовний модуль 2			
Робота на лекційних заняттях	0...0,5	8	0...4
Виконання і захист практичних робіт	2...4	4	8...16

Модульний контроль	12...16	1	12...16
Виконання і захист РГР	20...28	1	20...28
Усього за семестр			60...100

Семестровий контроль (залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до заліку. Під час складання семестрового заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту/заліку складається з 20 білетів по 3 питання у кожному (з них два питання теоретичних і одне – практичне), причому кількість балів розподіляється наступним чином: по 35 балів за теоретичні питання і 30 балів – за практичне.

8.2 Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

1. Знати класифікація рівнянь математичної фізики (гіперболічні, параболічні, еліптичні), геометричну аналогію рівнянь цих типів, наводити приклади моделей, що описуються різними типами рівнянь.
2. Знати загальну характеристику чисельних методів вирішення системи нестационарних рівнянь газової динаміки з сильними нелінійними збуреннями - кінцево-різницеви методи.
3. Давати спрощену характеристику сіткових методів вирішення системи рівнянь: схема Годунова, Куранта-Ізаксона-Ріса, Мак-Кормака, Лакса Вендорфа, Білоцерковського-Давидова.
4. Знати загальну характеристику сіткових методів вирішення системи рівнянь (у тому числі газової динаміки) з неперервною апроксимацією рішень (скінчених об'ємів, скінчених елементів).
5. Знати основну концепцію методу скінчених елементів: одновимірний, двовимірний та тривимірний симплекс, лінійний інтерполяційний поліном, перехід до L-координат, стійкість, неперервність, збіжність поліному.
6. Знати вигляд системи диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса, системи рівнянь к-моделі турбулентності, спосіб моделювання теплопередачі та конвективного теплообміну, спосіб моделювання обертання у Flow Simulation.
7. Знати метод вирішення системи диференціальних рівнянь у Flow Simulation: спосіб отримання просторових похідних, спосіб отримання потоків через кордони комірок тощо.
8. Знати основну концепцію та послідовність застосування методу скінчених елементів, знати для якого типу рівнянь можна використовувати цей метод, наводити приклади таких задач.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

1. Вміти наводити приклади рівнянь математичної фізики (гіперболічні, параболічні, еліптичні) та доводити їх тип, тобто визначати знак дискримінанту за коефіцієнтами рівнянь.
2. Вміти будувати геометричні моделі об'єктів дослідження з урахуванням особливостей (скруглення та фаски, спрощення форм), які треба враховувати при генеруванні розрахункової сітки.
3. Вміти створювати проект у додатку «Flow Simulation»: обирати тип задачі (та його спеціальні різновиди), задавати тип середовища у розрахунковій області, параметри турбулентності, початкові умови.

4. Вміти користуватися функцією «Computational Domain», а саме: змінювати умови на границях та фізичні розміри розрахункової області, переходити до двовимірного розрахунку.
5. Вміти користуватися функцією «Boundary Condition», а саме: задавати джерело та стік маси, об'єму, швидкості, а також значення тиску оточуючого середовища, а також тип стінки (Real or Ideal).
6. Вміти задавати умови збіжності «Global Goals» залежно від особливостей моделі, що розглядається (наприклад, теплообміну, внутрішнього та зовнішнього обтікання тощо).
7. Вміти виконувати обробку результатів розрахунку: будувати лінії струму (Flow Trajectories), кольорові карти (Cut Plots), ізоповерхні (Isosurfaces), вектори швидкості (Vectors).
8. Вміти визначати інтегральні параметри у точці, розподілені по поверхні та об'єму, вздовж лінії ескізу, а також вміти імпортувати ці результати у середовище Excel та обробляти.

8.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Будувати геометричні моделі об'єктів дослідження. Створювати проект у додатку Flow Simulation у режимі «Wizard». Знати визначення крайової задачі газової динаміки та вміти вирішувати нескладні інженерні задачі зовнішнього та внутрішнього обтікання, задачі на міцність. Вміти виконувати експрес аналіз на міцність нескладних інженерних задач загального машинобудування.

Добре (75-89). Твердо знати мінімум знань. Захистити всі практичні роботи в обумовлений викладачем строк. Добре знати теоретичний матеріал з теорії чисельних методів. Вміти вирішувати спеціальні задачі гідродинаміки: з обертанням, конвективного теплообміну, з пористим середовищем тощо. Вміти створювати проект у додатку Cosmos Simulation та вирішувати задачі міцності. Знати основну концепцію методу скінчених елементів.

Відмінно (90-100). Повно знати основний та додатковий матеріал. При виконанні практичних робіт докладно обґрунтувати запропоновані заходи. Добре орієнтуватися у методах вирішення системи диференціальних рівнянь газової динаміки. Вміти оптимізувати розрахункову сітку. Вміти вирішувати спеціальні задачі з галузі ракетних двигунів: моделювати течію у камері, теплообмін у оболонці охолодження, надзвукове обтікання корпусу ракети тощо. Вміти імпортувати результати гідродинамічних розрахунків у середовище Cosmos Simulation для подальшого розрахунку на міцність.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

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

9. Політика навчального курсу

Відпрацювання пропущених занять відбувається відповідно до розкладу консультацій, за попереднім погодженням з викладачем. Питання, що стосуються

академічної доброчесності, розглядає викладач або за процедурою, визначеною у Положенні про академічну доброчесність.

10. Методичне забезпечення

Навчальні посібники

1. Румянцев А. В. Метод конечных элементов в задачах теплопроводности [Текст]: учеб. пособие / А. В. Румянцев. – Ка. : КГУ, 1995. – 169 с.
2. Несвіт В. Ф. Введение в SolidWorks [Текст]: учеб. пособие / В. Ф. Несвіт – Х. : Нац аэрокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2003. – 152 с.

Навчально-методичний комплекс дисципліни розміщено у методичному кабінеті кафедри «Конструкцій і проектування ракетної техніки».

11. Рекомендована література

Базова

1. Прохоренко В. П. SolidWorks: практическое руководство [Текст] / В. П. Прохоренко – М. : ООО «Бином-Пресс», 2004. – 448 с.
2. Алямовский А. А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов [Текст] / А. А. Алямовский – М. : ДМК Пресс, 2004. – 432 с.
3. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation [Текст] / А. А. Алямовский – М. : ДМК Пресс, 2010. – 464 с.

Допоміжна

1. Алямовский А. А. SolidWorks: Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, А. И. Харитонович и др. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
2. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов [Текст] / Л. Сегерлинд. – М.: Мир, 1979. – 392 с.

12. Інформаційні ресурси

1. 3D моделирование в Solid Works [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://3dtoday.ru/blogs/dagov/3d-modeling-in-solidworks-2014-part-1/>
2. Инженерный анализ в среде SolidWorks Simulation. Новое в версии 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sapr.ru/article/20924>
3. Посилання на курс у системі Mentor KhAI: <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1394>