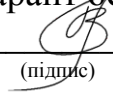


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

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: другий (магістерський)

Силабус введено в дію з 01.09.2021 року

Харків – 2021

(підпис)

(назва кафедри)

В. о. зав. кафедри: К. Т. Н., доц.  Г. М. Колоскова
(наукова ступінь та вчене звання) (підпис) (ініціали та прізвище)



(підпис)

Ремезок М.В.

(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 – 1 семестр.

Обсяг дисципліни – 5 кредитів ЄКТС (150 годин), у тому числі аудиторних – 40 годин, самостійної роботи здобувачів – 110 години.

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 (5 семестр – залік, 6 семестр – іспит).

Мова викладання – українська.

Необхідні обов'язкові попередні дисципліни (пререквізити) – інженерне матеріалознавство, хімія, деталі машин.

Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити) – теорія ракетних двигунів, палива та робочі тіла ракетних двигунів.

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета

надати професійні знання та привити навички використання сучасних систем автоматизованого проектування, що дозволяють створювати геометричні 3D-моделі, готувати до виробництва та проводити математичні розрахунки елементів рідинних ракетних двигунів; формування знань та умінь у галузі чисельних методів моделювання при вирішенні задач аеро- і газодинаміки.

Завдання

Надати студентам знання про методи застосування сучасного інструментарію у вигляді прикладних програм для проектування рідинних ракетних двигунів, а також вироблення у студентів навичок чисельного рішення складних завдань аеро- і газодинаміки для потреб аерокосмічної техніки.

Компетентності, які набуваються:

- здатність застосовувати отримані знання з питань проектування ракетних двигунів та енергетичних установок літальних апаратів;
- здатність застосовувати комп'ютерне моделювання при проведенні досліджень аеро- і газодинамічних процесів у ракетних двигунах;
- здатність застосувати отримані знання для постановки і вирішення нових завдань, що виникають у галузі ракетно-космічної техніки;
- здатність рішення стандартних завдань аеро- і газодинаміки засобами сучасних комерційних пакетів, включаючи препроцесінг, рішення, постпроцесінг.

Очікувані результати навчання:

- чисельні методи розв'язання аеро- і газодинамічних процесів та орієнтуватися в основних моделях турбулентності;;
- знати методи вирішення інженерних задач з використанням сучасних пакетів прикладних програм чисельного моделювання;
- знати принципи використання програмних комплексів для інженерного аналізу, включаючи теплопередачу, аеро- і газодинаміку;
- володіти методами комп'ютерного моделювання аеро- та термо-газодинамічних процесів, що відбуваються у ракетних двигунах;
- основними методами аналізу і чисельними методами вирішення завдань аеро- і газодинаміки в ракетобудуванні.

4. Зміст навчальної дисципліни

Змістовний модуль № 1. Основні чисельні методи для розв'язання задач тепломасобміну

Тема № 1. Класифікація рівнянь математичної фізики та методів їх розв'язання

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 8-12 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: відсутні.

Практична робота: «Виведення рівняння перенесення тепла в полярній системі координат. Розрахункова схема для внутрішніх вузлів», «Різницеві аналоги для зовнішніх вузлів розрахункової сітки. Складання різницевих схем у єдину систему рівнянь», «Використання методу прогонки для отримання температури в кожному просторовому шарі. Умови, що накладаються на шаг інтегрування за часом», «Написання на мові C++ алгоритму розв'язання СЛАУ методом Гауса та методом LU-розкладання».

Самостійна робота: «ANSYS Fluent Theory Guide. Release 14.0».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 26-28 годин.

Основні поняття. Звичайні диференційні рівняння. Рівняння з частинними похідними. Види рівнянь з частинними похідними. Постановка крайової задачі для рівнянь математичної фізики. Початкові і граничні умови для розв'язання задач тепломасообміну. Сучасні обчислювальні методи дослідження фізичних процесів. Відмінності та особливості МКР, МКО, МКЕ. Пакети програм, які побудовані на цих методах. Приклади і класифікація рівнянь в приватних похідних: еліптичний, гіперболічний і параболічний тип рівнянь.

Тема № 2. Основи МСР та розв'язання задачі теплопровідності

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 8-12 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: відсутні.

Практична робота: «Написання алгоритму апроксимації функцій теплоємності та теплопровідності залежно від температури тіла», «Елементи язику програмування C++». Змінні та типи даних у C++. Конструкція розгалужування. Цикли у C++», «Динамічні та статичні масиви різноманітних типів у C++. Функції та процедури у C++. Показники у C++», «Ознайомлення з функціями генератору розрахункової сітки gMsh. Створення геометрії досліджуваного об'єкта та генерування трикутної сітки».

Самостійна робота: «ANSYS Fluent User Guide. Release 14.0».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 26-28 годин.

Різницеві оператори. Сітки та сіткові функції. Апроксимація рівнянь з частинними похідними. Шаблон різницевої схеми. Похибка чисельного диференціювання. Збіжність, апроксимація, стійкість. Коректність різницевої схеми. Явні та неявні різницеві схеми. Метод Гауса для вирішення систем рівнянь з тридіагональною матрицею. Метод прогонки. Отримання рівнянь у інтегральному вигляді.

Змістовний модуль № 2. Особливості найбільш уживаних чисельних методів

Тема № 3. Основи МСО та розв'язання задачі теплопровідності

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 8-12 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: відсутні.

Практична робота: «Розробка на мові C++ алгоритму зчитування трикутної сітки та граничних умов з файлу формату su2», «Визначення геометричних характеристик сітки: координат центроїдів, площин трикутників, нормалей до граней, довжин граней, відстаней між центроїдами», «Розробка на мові C++ алгоритму візуалізації результатів розрахунку у вигляді кольорових карт у Open Source додатку VisIT», «Розв'язання стаціонарної двовимірної задачі теплопровідності методом скінчених об'ємів».

Самостійна робота: «ANSYS Fluent Tutorial Guide. Release 14».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 26-28 годин.

Метод скінчених об'ємів на структурованій трикутній сітці. Метод скінчених об'ємів на неструктурованій трикутній сітці. Пряма градієнтна форма. Крос-дифузійний терм. Визначення потоків через грані елементів, запис дискретизаційних рівнянь. Формування матриці коефіцієнтів та її розв'язання. Метод скінчених елементів у теплових розрахунках. Основні поняття варіаційного числення. Функціонал – «функція від функції».

Тема № 4. Основи МСЕ та розв'язання задачі теплопровідності

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 8-12 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: відсутні.

Практична робота: «Ознайомлення з Open Source мовою програмування високого рівня GNU Octave. Способи формування, об'єднання, генерування векторів та матриць», «Складання функції форми для трикутного елемента. Завдання матриці, що описує розрахункову сітку задачі теплопровідності в GNU Octave», «Складання системи рівнянь МСЕ способом перебору вузлів та способом перебору елементів», «Розв'язання системи рівнянь МСЕ для 2D задачі теплопровідності. Побудова розрахункової сітки та кольорової карти температури».

Самостійна робота: «ANSYS Fluent UDF Manual. Release 14.0».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 26-28 годин.

Типи елементів, що використовуються у 2D та 3D розрахунках. Функції форми 2-симплекс та 3-симплекс елементів. Локальна матриця теплопровідності та локальний вектор теплового навантаження елементів. Система рівнянь МСЕ. Основні способи складання системи МСЕ – перебором вузлів та перебором елементів. Місцева система координат. L-координати. Перетворення координат. Точкові джерела у вузлах елементів. Елементи високого порядку. Квадратичні та кубічні елементи.

5. Індивідуальні завдання

Створити розрахункову трикутну неструктуровану сітку за допомогою додатку GMsh. Створити розрахункову гексаедральну структуровану сітку за допомогою додатку GMsh. Написати код на мові Fortran для зчитування сіток, які створені у додатку GMsh. Написати код на мові Fortran для розрахунку зверненої матриці методом Гауса-Жордана. Написати код на мові Fortran для імпорту результатів розрахунку у додаток VisIt. Створити кольорові карти у додаток VisIt.

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 враховується робота на лекційних та практичних заняттях, усне опитування при їх проведенні, виконання та захист усіх лабораторних робіт, виконання та захист РГР, проведення поточних контрольних тестів і фінальний контроль у вигляді іспиту у разі відмови студента від зароблених балів протягом семестру.

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	8	0...4
Виконання і захист практичних робіт	2...4	4	8...16
Модульний контроль	15...19	1	15...19
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	15...19	1	15...19
Виконання і захист РГР	14...22	1	14...22
Усього за семестр			60...100

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

Білет для іспиту складається з 10 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. Основні етапи математичного моделювання і чисельного вирішення задач: запис системи рівнянь, запис граничних крайової задачі, вибір методу вирішення задачі, генерування розрахункової сітки, виконання розрахунків.
2. Знати основні складові елементи програмного комплексу обчислювальної гідродинаміки ANSYS Fluent та їх призначення: модуль побудови геометрії Geometry, модуль генерування сітки Mesh, модуль налаштувань Setup.
3. Знати методи завдання початкових та граничних умов для рівнянь аеро- і газодинаміки: задача взаємодії газу з перешкодою, витікання з розрахункової області за характеристикою, втікання у область за інтегралом Ейлера.
4. Знати визначення інтенсивностей особливостей типу джерел-стоків, що імітують різноманітні фізичні фактори робочого процесу: пов'язані з масопереносом та не пов'язані – «вільні».
5. Знати основні складові схеми С. К. Годунова – методу інтегро-інтерполяції: запис різницевої схеми, знаходження потоків між комірками, вирішення задачі вільного розриву.
6. Знати основні моделі турбулентності, що використовуються в пакеті ANSYS Fluent, метод усереднення за часом рівнянь Нав'є-Стокса по Рейнольдсу, методи моделювання турбулентної в'язкості.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

1. Вміти будувати геометричну модель об'єкта дослідження потужностями додатку ANSYS DesignModeler, або вміти імпортувати з інших CAD-додатків, наприклад SolidWorks.

2. Вміти задавати параметри розрахункової області, будувати структуровані, неструктуровані і гібридні сітки в ANSYS Meshing в залежності від умов задачі що розглядається.
3. Вміти робити локальне подрібнення сітки, перевіряти її, давати назву граничним поверхням, кромкам та ребрам для подальшого визначення початкових та граничних умов.
4. Вміти вибирати вирішувач залежно від типу використаної різницевої схеми (явної чи неявної), вміти задавати відповідні налаштування вирішувача при розв'язанні стаціонарних та нестаціонарних задач.
5. Вміти задавати початкові та граничні умови для моделювання течії нестисливої рідини, газових течій з хімічними реакціями, двофазних течій газу з твердими частками.
6. Вміти обирати оптимальну модель турбулентності, що використовуються в пакеті ANSYS Fluent, вміти обирати обчислювальні ресурси при використанні різних моделей.
7. Вміти виконувати обробку та візуалізацію розрахункових полів течій в ANSYS CFD-POST: будувати кольорові карти фізичних полів, лінії струму, вектори швидкості, графіки інтегральних характеристик.
8. Вміти писати макроси на алгоритмічній мові програмування C++ і сумісно використовувати UDF-функції та ANSYS Fluent, використовувати UDF-функції для розпаралелювання обчислень.

8.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Знати відмінності похідної від апроксимації похідної. Вміти виконувати стаціонарні розрахунки внутрішнього та зовнішнього обтікання з визначенням інтегральних параметрів. Знати синтаксис мови програмування C++, орієнтуватися в коді нескладної програми. Знати класифікацію диференціальних рівнянь математичної фізики. Знати про поняття збіжності, стійкості та апроксимації різницевої схеми.

Добре (75-89). Твердо знати мінімум знань. Захистити всі практичні роботи в обумовлений викладачем строк. Орієнтуватися у інформаційних ресурсах та мануалах. Знати відмінності різницевих схем (явні-неявні, різницями вперед-назад). Вміти моделювати нестаціонарні робочі процеси з урахуванням горіння палива та динамічних сіток. Створювати нескладні процедури та на мові програмування C++. Орієнтуватися у основних моделях турбулентності та знати їх особливості використання. Знати основні методи вирішення системи диференціальних рівнянь патетичної фізики. Знати про поняття транспортності різницевої схеми.

Відмінно (90-100). Повно знати основний та додатковий матеріал. При виконанні практичних робіт докладно обґрунтувати запропоновані заходи. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Вміти власноручно записувати різницеву схему системи диференціальних рівнянь. Вміти виконувати нестаціонарні розрахунки з додаванням UDF-функцій та розпаралелюванням обчислень. Рационально обирати моделі турбулентності та метод обчислення залежно від умов задачі, що вирішується.

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. Расчет теплового состояния стволлов импульсных тепловых машин [Текст] : учеб. пособие / А. В. Амброжевич, А. И. Биленко, А. М. Грушенко, И. М. Приходько и др. // Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2002. – 19 с.
2. Бирюк В. В. Использование программного пакета Fluent для решения задач по газодинамике [Электронный ресурс] : электрон. метод. указания к лаб. работам / Бирюк В. В., Горшкалев А. А., Угланов Д. А. – Самара : Сам. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ин-т), 2012. – 161 с.
3. Денисов, М. А. Компьютерное проектирование. ANSYS [Текст] : учеб. пособие / М. А. Денисов. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 77 с.
4. Приходько И. М. Определение теплового состояния вставки в сопле двигателя [Текст] : учеб. пособие / И. М. Приходько, А. П. Шевченко, В. Ф. Максименко // Харьков : Харьк. авиац. ин-т, 1989. – 36 с.
5. CAE-моделирование рабочего процесса газогенератора ГТД в программном комплексе ANSYS CFX [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / М. Ю. Орлов, О. В. Батулин, Л. С. Шаблій, А. В. Кривцов и др. – Самара : Сам. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ин-т), 2012. – 91 с.
6. Меньшиков, В. И. Основы кинематики жидкости и газа [Текст] : учеб. пособие / В. И. Меньшиков. – Харьков : Харьк. авиац. ин-т, 1977. – 46 с.

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

11. Рекомендована література

Базова

1. Ковеня, В. М. Метод расщепления в задачах газовой динамики [Текст] / В. М. Ковеня, Н. Н. Яненко. – Новосибирск : Наука, 1981. – 304 с.
2. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа [Текст] / Л. Г. Лойцянский. – М.-Л. : Гос. изд.-во технико-теорет. лит-ры. – 1950. – 676 с.
3. Ландау, Л. Д. Гидродинамика [Текст] / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука, 1986. – 736 с.
4. ANSYS Fluent UDF Manual. Release 15.0 / Canonsburg: ANSYS Inc., November 2013, 564 p.

Допоміжна

1. Поттер, Д. Вычислительные методы в физике [Текст] / Д. Поттер. – М. : Мир, 1975. – 256 с.
2. Седов, Л. И. Механика сплошной среды [Текст] / Л. И. Седов. – М. : Наука, 1964. – 265 с.

3. Versteeg, H. K. An Introduction to Computational Fluid Dynamics. The Finite Volume Method. Second Edition [Text] / H. K. Versteeg, W. Malalasekera // Pearson Education Limited, 2007. – 517 p.
4. Moukalled, F. The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics. An Advanced Introduction with OpenFOAM [Text] / F. Moukalled, L. Mangani, M. Darwish // Springer International Publishing Switzerland, 2016. – 817 p.
5. Hirsch, C. Numerical Computation of Internal and External Flows. Vol. 1. Fundamentals of Computational Fluid Dynamics Second Edition [Text] / C. Hirsch // Springer International Publishing Switzerland, 2007. – 696 p.
6. Segerlind, L. J. Applied Finite Element Analysis. Second Edition [Text] / Larry J. Segerlind // John Wiley & Sons, 1984. – 448 p.
7. Ferziger, J. H. Computational Methods for Fluid Dynamics [Text] / J. H. Ferziger, M. Petric // Springer, 2002. – 423 p.

12. Інформаційні ресурси

1. <https://cae-expert.ru/product/ANSYS-fluent>
2. <https://www.ANSYS.com/products/fluids/ANSYS-fluent>
3. Посилання на курс у системі Mentor KhAI:
<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1412>