

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

Кафедра аерогідродинаміки (№ 101)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



Ігор БИЧКОВ

(ініціали та прізвище)

«___» _____ 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОBOB'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Моделювання та розрахунок процесів в АРКТ

(назва навчальної дисципліни)

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

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

Освітня програма: «Технології виробництва та ремонту літальних апаратів»
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень,
третій (освітньо-науковий)

Харків 2021 рік

Розробник: Дмитро БРЕГА, доцент каф. 101, к.т.н., доцент
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)



(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри аерогідродинаміки

(назва кафедри)

Протокол № 21/22-02 _____ від «28» 08 2021 р.

Завідувач кафедри к.т.н. _____

(науковий ступінь і вчене звання)



(підпис)

Сергій СРЬОМЕНКО

(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 6(4)	<p style="text-align: center;">Галузь знань <u>13 «Механічна інженерія»</u> (шифр і найменування)</p> <p style="text-align: center;">Спеціальність <u>134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u> (код і найменування)</p> <p style="text-align: center;">Освітня програма <u>«Технології виробництва та ремонту літальних апаратів»</u> (найменування)</p> <p style="text-align: center;">Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень, третій (освітньо-науковий)</p>	Цикл професійної підготовки
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2		2021/2022
Індивідуальне завдання: не передбачено ОП («Розрахунок аеродинамічної ефективності профілю крила літака транспортного типу»)		Семестр 2-й
Загальна кількість годин – 64(48)/180(120)		Лекції* 32 (24) години
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 (3) самостійної роботи студента – 7,25 (4,5)		Практичні, семінарські*
		32 (24) години
		Лабораторні*
		-
		Самостійна робота 116 (72) годин
Вид контролю модульний контроль, іспит		

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: викладення основних методів чисельних розрахунків, опрацювання методики створення математичних моделей фізичних процесів.

Завдання: ознайомити студентів з основними можливостями програмного комплексу ANSYS, а саме з модулями розрахунку гідро-газодинаміки ANSYS CFX та ANSYS Fluent.

Результати навчання: у результаті вивчення даного курсу студент повинен знати:

- принципи створення розрахункових моделей,
- алгоритм визначення крайових умов,
- основні особливості побудови та редагування геометрії об'єктів АРКТ для створення розрахункових кінцево-елементних сіток,
- основні підходи для опису турбулентних та ламінарних течій,
- особливості моделювання зовнішніх та внутрішніх течій,
- основні етапи створення математичної моделі для моделювання надзвукових течій

На підставі отриманих теоретичних знань студент повинен уміти:

- практично використовувати програмний комплекс для розрахунку фізичних процесів в АРКТ;
- використовувати сукупність можливостей програмного забезпечення для створення математичних моделей;
- володіти навиками щодо редагування геометрії та розрахункової сітки моделі;

Крім того студент повинен мати представлення:

- про алгоритми розрахунку аеродинамічних характеристик ЛА на дозвукових і надзвукових режимах польоту;
- про перспективу застосування програмного комплексу ANSYS для дослідження аеродинамічних характеристик суміжних з АРКТ об'єктів.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей**:

- Здатність до проведення досліджень для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності.
- Навички використання новітніх інформаційних технологій.

- Здатність до подальшого автономного та самостійного навчання на основі новітніх науково-технічних досягнень.
- Усвідомлення робочих процесів у системах та елементах авіаційної та ракетно-космічної техніки, необхідних для розуміння, опису, вдосконалення об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки та оптимізації їх параметрів.
- Здатність ставити та вирішувати професійні задачі на основі знань та розуміння гідравлічних, пневматичних, електричних та електронних систем.
- Здатність здійснювати математичне моделювання явищ та поведінки об'єктів у професійній діяльності за спеціалізацією на основі знань з гідравліки, аеро- та газодинаміки.
- Здатність створювати та удосконалювати математичні моделі для аналізу характеристик стану агрегатів авіаційної та ракетно-космічної техніки, використовуючи знання у галузі механіки та міцності матеріалів та конструкцій.

Пререквізити: «Гідравліка», «Аерогідродинаміка», «Динаміка польоту», «Фізика», «Вища математика».

Кореквізити: «Системний аналіз», «Системне програмування й операційні системи» та ін.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовний модуль 1. Основні можливості програмного модуля ANSYS

Тема 1. Вступ до навчальної дисципліни “ Моделювання та розрахунок процесів в АРКТ ”.

Предмет вивчення і задачі дисципліни. Створення и опрацювання геометрії в ANSYS Design Modeler. Основні можливості програми, інтерфейс та основи CAD моделювання.

Тема 2. Сучасні підходи до створення розрахункових сіток.

Використання модулів ANSYS Mesher та Icem CFD для створення сіток з різними типами елементів. Кількісні та якісні показники для кінцево-елементних моделей.

Тема 3. Метод скінченних елементів.

Числові методи розв'язання системи рівнянь Нав'є – Стокса для описання руху в'язкої ньютонівської рідини.

Тема 4. Основні налаштування системи числового аналізу.

Алгоритм SIMPLE - на пів неявний метод для розв'язку рівнянь зі зв'язком по тиску.

Тема 5. Міждисциплінарний аналіз. Особливості налаштувань.

Статичний розрахунок на міцність конструкції ЛА з попередньо розрахованим розподіленням тиску від аеродинамічних навантажень.

Тема 6. Параметризація геометрії та вхідних даних для розрахунків.

Створення таблиць вхідних та вихідних параметрів. Планування числового експерименту. Принцип Парето, створення цільових функцій для оптимізації.

Змістовний модуль 2. Основні можливості програмних модулів ANSYS Fluent та ANSYS CFX

Тема 1. Математичні моделі в'язких течій.

Визначення області використання RANS моделей турбулентності, їх основні недоліки та переваги.

Тема 2. Особливості моделювання пристінкового шару.

Вимоги до розмірів и кількості елементів розрахункової сітки моделі. Безрозмірний параметр Y^+ . Стаціонарні та нестаціонарні задачі. Відривні течії.

Тема 3. Задачі з рухомими границями.

Налаштування алгоритмів деформації та автоматичного перестроювання розрахункових сіток. Стабільність ітераційної процедури. Графіки невязок системи диференційних рівнянь.

Тема 4. Моделювання мультикомпонентних течій. Фазові переходи.

Гомогенні та гетерогенні суміші. Моделювання хімічних реакцій.

Тема 5. Опрацювання результатів.

Принцип роботи програми CFD Post, створення графіків, таблиць результатів, карти відображень змінних. Візуалізація ліній току, створення ізоповерхонь по обраній змінній.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	усього	денна форма			
		у тому числі			
	л	п	лаб	с.р.	
Модуль 1					
Змістовий модуль 1.					
Тема 1. Вступ до навчальної дисципліни «Моделювання та розрахунків процесів в АРКТ»	10 (7)	2 (1)	2	-	6 (4)
Тема 2. Сучасні підходи до створення розрахункових сіток.	14 (9)	2 (1)	2	-	10 (6)
Тема 3. Метод скінченних елементів.	14 (10)	2	2	-	10 (6)
Тема 4. Основні налаштування системи числового аналізу.	14 (10)	2	2	-	10 (6)
Тема 5. Міждисциплінарний аналіз. Особливості налаштувань.	18 (10)	4 (2)	4(2)	-	10 (6)
Тема 6. Параметризація геометрії та вхідних даних для розрахунків.	16 (10)	2	4(2)	-	10 (6)
Модульний контроль №1	2	2	-	-	-
Усього годин	88 (58)	16 (12)	16 (12)	-	56 (34)
Модуль 2					
Змістовий модуль 2.					
Тема 7. Математичні моделі в'язких течій.	20 (12)	4 (2)	4 (2)	-	12 (8)
Тема 8. Особливості моделювання пристінкового шару.	19 (12)	2	2	-	15 (8)
Тема 9. Задачі з рухомими границями.	21 (12)	2	4(2)	-	15 (8)
Тема 10. Моделювання мультикомпонентних течій. Фазові переходи	20 (14)	4 (2)	4	-	12 (8)
Тема 11. Опрацювання результатів.	10	2	2	-	6
Модульний контроль №2	2	2	-	-	-
Усього годин	92 (62)	16 (12)	16 (12)	-	60 (38)
Індивідуальне завдання					20
Усього з дисципліни	180 (120)	32 (24)	32 (24)	-	116 (72)

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
1	Не передбачено навчальним планом		

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Побудова блочної структури и створення двомірної розрахункової сітки для профілю крила в середовищі Icem CFD	2
2	Створення математичної моделі обтікання профілю крила дозвуковим потоком газу	4
3	Обчислення аеродинамічних коефіцієнтів, створення вхідних параметрів (швидкість та кут установки крила) та вихідних параметрів (аеродинамічна якість крила)	2
4	Розрахунок розподілення тиску по поверхні крила з наступним експортом значень до модуля розрахунків на міцність	4(2)
5	Гібридні моделі турбулентності. (LES, DES, SAS) Переваги, недоліки, сфера застосування.	4(2)
6	Вирішення задач оптимізації (Оптимізація форми профілю крила за цільовою функцією максимальної аеродинамічної якості для заданої висоти та швидкості польоту). Адаптивне крило.	4(2)
7	Обчислення параметрів крила на критичних кутах атаки. Відривні зони. Особливості моделювання пристінкового шару.	4(2)
8	Випаровування та конденсація рідини.	2
9	Кавітація. Моделювання роботи гребного гвинта	4
10	Автоматична генерація звітів для виконаних розрахунків	2
Усього		32 (24)

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Не передбачено навчальним планом	

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Тема 1. Вступ до навчальної дисципліни «Моделювання та розрахунок процесів в АРКТ»	6 (4)
2	Тема 2. Сучасні підходи до створення розрахункових сіток.	10 (6)
3	Тема 3. Метод скінченних елементів.	10 (6)
4	Тема 4. Основні налаштування системи числового аналізу.	10 (6)
5	Тема 5. Міждисциплінарний аналіз. Особливості налаштувань.	10 (6)
6	Тема 6. Параметризація геометрії та вхідних даних для розрахунків.	10 (6)
7	Тема 7. Математичні моделі в'язких течій.	12 (8)
8	Тема 8. Особливості моделювання пристінкового шару.	15 (8)
9	Тема 9. Задачі з рухомими границями.	15 (8)
10	Тема 10. Моделювання мультикомпонентних течій. Фазові переходи	12 (8)
11	Тема 11. Опрацювання результатів.	6
	Разом	116 (72)

9. Індивідуальні завдання

Для третього (освітньо-наукового) рівня передбачено роботу за темою «Розрахунок аеродинамічної ефективності профілю крила літака транспортного типу», для другого (освітньо-професійного) рівня не передбачено навчальним планом.

10. Методи навчання

Проведення лекцій, практичних робіт, індивідуальні консультації з питань нового матеріалу, самостійна робота студентів.

11. Методи контролю

Здача практичних робіт, модульний контроль, іспит.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття	Кількість занять	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...1	6	0...6
Виконання практичних робіт	0...9	4	0...36
Модульний контроль	0...14	1	0...14
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	4	0...4
Виконання практичних робіт	0...9	3	0...27
Модульний контроль	0...14	1	0...14
Усього за семестр			0...100

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

Білет для іспиту складається з 3 теоретичних запитань. За повну правильну відповідь на два перших запитання студент отримує по 30 балів. За повну правильну відповідь на останнє запитання – 40 балів.

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- основні етапи налаштування математичної моделі фізичного явища;
- алгоритм призначення граничних умов;
- основні типи розрахункових сіток, їх переваги, недоліки, а також алгоритми визначення їх кількісних та якісних показників;
- принципи вибору моделей турбулентності ;
- основні етапи вирішення завдань оптимізації;
- створення параметричних зв'язків для вхідних та вихідних даних.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- практично використовувати методологію системного підходу при проектуванні архітектур ККС;
- застосовувати методи синтезу й аналізу архітектури комп'ютерів, способи розрахунків тактико-технічних характеристик при проектуванні й експлуатації ККС;
- практично володіти методологічною основою – теорією систем, у якій у якості об'єктів розглядаються елементи й підсистеми мікропроцесорної техніки.

12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати мінімум знань та умінь. Відпрацювати усі практичні заняття. Мати загальну уяву про програмне забезпечення ANSYS, орієнтуватися у темах лекційного матеріалу.

Добре (75-89). Вільно володіти лекційним матеріалом. Мати навички самостійного виконання чисельних розрахунків. Вміти опрацювати отримані результати. Виконати та належним чином оформити усі практичні завдання.

Відмінно (90-100). В повному обсязі володіти лекційним та додатковим матеріалом. Виконати та належно оформити усі практичні завдання. Вміти аналізувати та робити висновки з отриманих результатів. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Безпомилково виконати індивідуальне практичне завдання.

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

13. Методичне забезпечення

14. Рекомендована література

Spalart, P.R. “Strategies for turbulence modeling and simulation” [Текст] / P.R. Spalart, Int. J. Heat Fluid Flow, 2000, v.21, p. 252-263.

2. Ландау, Л.Д. Гидродинамика [Текст]/ Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц – М., 1980. – 535 с.

3. Jones, W.P. The prediction of laminarization with a two-equation model of turbulence [Текст] / W.P. Jones, B.E. Launder // Int. J. Heat and Mass Transfer. – 1972. – V.15. – P.301 – 314.
4. Алямовский, А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / под ред. А.А. Алямовского. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 800 с.
5. Волков, Э.П. Моделирование горения твердого топлива [Текст] / Э.П. Волков, Л.И. Зайчик, В.А. Першуков. – М.: Наука, 1994. – 320 с.
6. Menter, F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications [Текст] / F.R. Menter // AIAA-Journal – 1994. – № 32(8). – P. 269 – 289.
7. Menter, F.R. A scale-adaptive simulation model for turbulent flow predictions [Текст] / F.R. Menter, M. Kuntz, R. Bender. – AIAA Paper 2003-0767, 2003. – 40 p.
8. Bradshaw, P. “Effects of Streamwise Curvature on turbulent Flow” [Текст] / P. Bradshaw. AGARD-AG-169, 1973.
9. Spalart, P.R. “On the sensitization of simple turbulence models to rotation and curvature” [Текст] / P.R. Spalart, M.L. Shur // Aerospace Science and Technology, 1997, v. 1, No. 5, pp 297-302.
10. Piomelli, U. “Wall-layer models for large-eddy simulations” [Текст] / U. Piomelli, E. Balaras // Annual Rev. Fluid Mech., 2002, v.34, pp. 349-374.
11. Comments on the feasibility of LES for wings, and on a hybrid RANS/LES approach [Текст] / P.R. Spalart, W.H. Jou, M. Strelets, S.R. Allmaras // Proceedings of first AFOSR international conference on DND/LES, 1997.
12. Physical and numerical upgrades in the detached-eddy simulation of complex turbulent flows [Текст] / A. Travin, M. Shur, M. Strelets, P.R. Spalart // Proceedings of Euromech Coll. “LES of complex transitional and turbulent flows”, Munich, Germany, 2002. Fluid Mechanics and Its Applications, 2004, v. 65, No. 5, pp. 239-254.
13. Cantwell B., Coles D. “An experimental study of entrainment and transport in the turbulent near wake of a circular cylinder”, J. Fluid Mechanics, 1983, v.136, pp.321-374.