

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

ХЕРСОНСЬКИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра теплотехніки

T7556



ЗАТВЕРДЖЕНО

Заступник директора
з навчальної роботи
к.т.н., професор О.М. Дудченко

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

**ОСНОВИ CFD-МОДЕЛЮВАННЯ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ ТА
ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННІ**

**Fundamentals of CFD Modeling in Thermal Power Engineering
and Power machinery**

рівень вищої освіти *перший бакалаврський*

тип дисципліни *вибіркова*

мова викладання *українська*

Робоча програма навчальної дисципліни «Основи CFD-моделювання в теплоенергетиці та енергомашинобудуванні» є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань 13 «Механічна інженерія», спеціальність 135 «Суднобудування», освітньо-професійна програма «Суднові енергетичні установки та устаткування», галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальність 142 «Енергетичне машинобудування», освітньо-професійні програми «Двигуни внутрішнього згоряння» та «Холодильні машини і установки», спеціальність 144 «Теплоенергетика» освітньо-професійні програми «Енергетичний менеджмент» та «Теплоенергетика».


«25» червня 2024 року – 24 с.

Розробник: Кобалава Г.О., к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри теплотехніки ХННІ НУК

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Основи CFD-моделювання в теплоенергетиці та енергомашинобудуванні» розглянуто на засіданні кафедри теплотехніки

Протокол № 13 від «01» липня 2024 р.


В.о. завідувача кафедри теплотехніки

 Г.О. Кобалава

Робоча програма навчальної дисципліни «Основи CFD-моделювання в теплоенергетиці та енергомашинобудуванні» затверджена методичною радою ХННІ НУК

Протокол № 12 від «01» липня 2024 р.

Голова МР ХННІ НУК

 О.М. Дудченко

© Кобалава Г.О., 2024
© ХННІ НУК, 2024

ЗМІСТ

Вступ	
1. Опис навчальної дисципліни.....	5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни	6
3. Передумови для вивчення дисципліни.....	6
4. Очікувані результати навчання.....	7
5. Програма навчальної дисципліни.....	8
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування.....	17
7. Форми поточного та підсумкового контролю	17
8. Критерії оцінювання результатів навчання	19
9. Засоби навчання	19
10. Рекомендовані джерела інформації	20
Додатки.....	22

ВСТУП

Анотація

Дисципліною «Основи CFD-моделювання в теплоенергетиці та енергомашинобудуванні» передбачено набуття здобувачами знань щодо основ обчислювальної гідродинаміки (CFD) та її застосування у сфері теплоенергетики та енергомашинобудування. Курс охоплює теоретичні знання та практичні аспекти CFD-моделювання.

Для успішного вивчення дисципліни «Основи CFD-моделювання в теплоенергетиці та енергомашинобудуванні» студент повинен володіти: теоретичною та практичною базою дисциплін Технічна термодинаміка, Математичні методи та моделі, Вища математика, Гідрогазодинаміка, а також Іноземна мова за професійним спрямуванням для якісного опрацювання джерел, які написані англійською мовою.

Здобувачі отримають практичні навички створення CFD-моделей, проведення розрахунків та аналізу результатів для типових задач теплоенергетики та енергомашинобудування. Курс також передбачає ознайомлення з сучасними тенденціями та перспективами розвитку CFD-технологій в енергетичній галузі.

Набуті знання та вміння дозволять майбутнім фахівцям ефективно застосовувати CFD-моделювання для вирішення складних інженерних задач, оптимізації конструкцій та процесів в теплоенергетиці та енергомашинобудуванні.

Ключові слова: CFD-моделювання, інженерна задача, сітка, твердотільна модель, препроцесинг, вирішення, постпроцесинг.

Annotation

The course "Fundamentals of CFD Modeling in Thermal Power Engineering and Power machinery" aims to provide students with knowledge of the basics of Computational Fluid Dynamics (CFD) and its application in the field of thermal power engineering and power machinery. The course covers theoretical knowledge and practical aspects of CFD modeling.

For successful study of the discipline "Fundamentals of CFD Modeling in Thermal Power Engineering and Power machinery", the student should have a theoretical and practical foundation in the following subjects: Technical Thermodynamics, Mathematical Methods and Models, Higher Mathematics, Fluid Dynamics, as well as Professional English for quality processing of sources written in English.

Students will gain practical skills in creating CFD models, performing calculations, and analyzing results for typical problems in thermal power engineering and power machine building. The course also includes an introduction to current trends and prospects for the development of CFD technologies in the energy sector.

The acquired knowledge and skills will allow future specialists to effectively apply CFD modeling to solve complex engineering problems, optimize structures and processes in thermal power engineering and power machine building.

Keywords: CFD modeling, engineering problem, mesh, solid model, preprocessing, solving, postprocessing.

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів: 5,0	Галузь знань: 13 «Механічна інженерія» 14 «Електрична інженерія»	<i>Вибіркова</i>	
Модулів – 2		Рік підготовки	
Змістовних модулів – 3		4-й	4-й
Електронна адреса на сайті ХННІ НУК: http://kb.nuos.edu.ua/Licensing%20and%20accreditation%20specialties/tehermal-power-b.html	Спеціальність: 135 «Суднобудування», 142 «Енергетичне машинобудування», 144 «Теплоенергетика» Освітні програми: «Суднові енергетичні установки та устаткування», «Двигуни внутрішнього згорання», «Холодильні машини і установки», «Теплоенергетика», «Енергетичний менеджмент»	Семестр	
Індивідуальне науково-дослідне завдання: –		7-й	7-й
Загальна кількість годин: 150		Лекції	
		30 годин	4 годин
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4; самостійної роботи здобувача – 6		Практичні роботи	
		30 годин	4 годин
		Лабораторні роботи	
	–	–	
	Самостійна робота		
	90 годин	142 годин	
	Індивідуальні завдання		
	–	–	
	Вид контролю: залік		
	Форма контролю: комбінована (письмовий контроль, тестовий контроль)		

2. Мета вивчення навчальної дисципліни

Метою вивчення навчальної дисципліни «Основи CFD-моделювання в теплоенергетиці та енергомашинобудуванні» є набуття знань щодо концепцій, методології, підходів і критеріїв застосування обчислювальної гідродинаміки (CFD) для моделювання та аналізу процесів у теплоенергетичних установках та енергетичних машинах, включаючи освоєння методів дискретизації, чисельних алгоритмів, техніки створення розрахункових сіток, роботи з сучасними CFD-пакетами, а також розвиток навичок інтерпретації результатів та оптимізації конструкцій на основі CFD-аналізу, що дозволить підготувати фахівців, здатних ефективно використовувати CFD-технології для інноваційного розвитку та вдосконалення об'єктів теплоенергетики та енергомашинобудування.

Загальні компетентності:

Здатність розв'язувати складні загальні, спеціалізовані задачі та практичні проблеми у сфері теплоенергетики та енергетичного машинобудування або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів електричної інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.

Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

Здатність застосовувати фундаментальні знання з гідрогазодинаміки та теплообміну для формулювання та розв'язання інженерних задач методами CFD.

Вміння створювати та оптимізувати розрахункові сітки для складних геометрій енергетичного обладнання.

Здатність обґрунтовано обирати та налаштовувати моделі турбулентності для різних типів течій в теплоенергетичних установках.

Навички використання спеціалізованого програмного забезпечення для CFD-моделювання, зокрема ANSYS Fluent.

Вміння аналізувати та інтерпретувати результати CFD-розрахунків, включаючи візуалізацію потоків та теплових полів.

Здатність оцінювати достовірність результатів CFD-моделювання та проводити їх валідацію.

3. Передумови для вивчення дисципліни

Передумовами для вивчення даної дисципліни є дисципліни: Технічна термодинаміка, Математичні методи та моделі, Вища математика, Гідрогазодинаміка, Іноземна мова.

4. Очікувані результати навчання

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів таких результатів навчання:

Знання та розуміння фундаментальних принципів CFD-моделювання та їх застосування в теплоенергетиці та енергетичному машинобудуванні.

Вміння створювати геометричні моделі та генерувати якісні розрахункові сітки для CFD-аналізу енергетичного обладнання.

Здатність обґрунтовано обирати та налаштовувати фізичні моделі для CFD-розрахунків теплоенергетичних процесів.

Навички використання спеціалізованого програмного забезпечення (ANSYS Fluent) для проведення CFD-моделювання.

Вміння аналізувати та інтерпретувати результати CFD-розрахунків, включаючи візуалізацію потоків та теплових полів.

Здатність оцінювати достовірність результатів CFD-моделювання та проводити їх валідацію.

Розуміння сучасних тенденцій та перспектив розвитку CFD-технологій в енергетичній галузі.

5. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовний модуль 1. Вступ до CFD-моделювання.

Тема 1. Знайомство з курсом. Основні поняття та принципи обчислювальної гідродинаміки (CFD). Визначення CFD та його місце в інженерному аналізі. Основні етапи CFD-моделювання: препроцесинг, вирішення, постпроцесинг. Поняття про дискретизацію, сітки та граничні умови. Типи течій: ламінарні та турбулентні. Базові фізичні закони, що лежать в основі CFD (закони збереження маси, імпульсу, енергії).

Джерела інформації: [1], с. 1-9; [5], с. 9-17.

Тема 2. Історія розвитку CFD та його застосування в теплоенергетиці. Ранні етапи розвитку обчислювальної гідродинаміки. Ключові досягнення та відкриття в галузі CFD. Еволюція комп'ютерних технологій та їх вплив на розвиток CFD. Сучасні тенденції та перспективи розвитку CFD.

Джерела інформації: [4], с. 1-4; [5], с. 8-9.

Тема 3. Математичні моделі для CFD: рівняння Нав'є-Стокса та енергії. Рівняння нерозривності. Рівняння збереження імпульсу. Рівняння енергії. Моделі турбулентності (k - ϵ , k - ω , SST та інші).

Джерела інформації: [1], с. 9-38; [4], с. 5-28.

Тема 4. Методи дискретизації та чисельні схеми. Метод скінченних різниць. Метод скінченних об'ємів. Метод скінченних елементів. Явні та неявні схеми. Стійкість та збіжність чисельних методів.

Джерела інформації: [1], с. 115-134; [4], с. 75-128; [6], с. 4-5.

Тема 5. Огляд сучасних CFD-пакетів та їх можливостей. Комерційні CFD-пакети (ANSYS Fluent, COMSOL Multiphysics, SolidWorks). Порівняння можливостей різних CFD-пакетів. Інтеграція CFD з іншими інженерними інструментами (CAD, оптимізація).

Джерела інформації: [7], с. 14-26; [8], с. 7-11.

Модуль 2.

Змістовний модуль 2. CFD-моделювання в теплоенергетиці із застосуванням пакету ANSYS Fluent.

Тема 6. Вступ до ANSYS Fluent: інтерфейс, робочий процес та базові налаштування для задач теплоенергетики.

Джерела інформації: [3], с. 5-19; [5], с. 9-14.

Тема 7. Створення та імпорт геометрії. Генерація сітки для типових теплоенергетичних задач. Налаштування фізичних моделей та граничних умов.
Джерела інформації: [3], с. 20-27; [5], с. 19-71.

Тема 8. Моделювання теплообмінних процесів у енергетичному обладнанні з використанням ANSYS Fluent. Налаштування моделей теплопередачі (конвекція, теплопровідність).
Джерела інформації: [2], с. 57-68; [3], с. 191-215.

Тема 9. Моделювання теплообмінників різних типів. Аналіз розподілу температур в простих теплообмінниках.
Джерела інформації: [2], с. 24-42; [5], с. 157-168.

Тема 10. Аналіз розподілу температур та теплових потоків. Симуляція руху димових газів та теплоносія.
Джерела інформації: [2], с. 78-91; [3], с. 655-704.

Змістовний модуль 3. CFD-моделювання в енергомашинобудуванні із застосуванням пакету ANSYS Fluent.

Тема 11. Налаштування граничних умов для вхідних та вихідних потоків. Аналіз ламінарних та турбулентних течій у трубах. Розрахунок втрат тиску та коефіцієнтів тертя.
Джерела інформації: [3], с. 121-190; [4], с. 225-255; [5], с. 190-197.

Тема 12. Моделювання двофазних потоків. Налаштування граничних умов для вхідних та вихідних потоків.
Джерела інформації: [3], с. 783-835; [8], с. 241-252.

Тема 13. Моделювання багатофазних потоків у енергетичному обладнанні за допомогою ANSYS Fluent. Вибір та налаштування моделей багатофазної течії (VOF, Mixture, Eulerian).
Джерела інформації: [2], с. 93-111; [3], с. 837-870.

Тема 14. Візуалізація та аналіз результатів CFD-розрахунків. Методи візуалізації потоків в ANSYS Fluent.
Джерела інформації: [5], с. 183-190.

Тема 15. Побудова графіків та діаграм для аналізу результатів. Інтерпретація результатів CFD-моделювання для типових задач енергомашинобудування.
Джерела інформації: [5], с. 197-199; [7], с. 625-686.

Тематичний план навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	денна форма					заочна форма				
	усього	у тому числі				усього	у тому числі			
		л.	лаб.	пр.	с.р.		л.	лаб.	пр.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Модуль 1										
Змістовний модуль 1. Вступ до CFD-моделювання.										
Тема 1. Знайомство з курсом. Основні поняття та принципи обчислювальної гідродинаміки (CFD). Визначення CFD та його місце в інженерному аналізі. Основні етапи CFD-моделювання: препроцесинг, вирішення, постпроцесинг. Поняття про дискретизацію, сітки та граничні умови. Типи течій: ламінарні та турбулентні. Базові фізичні закони, що лежать в основі CFD (закони збереження маси, імпульсу, енергії).	10	2	–	–	8	10	1	–	–	9

Тема 2. Історія розвитку CFD та його застосування в теплоенергетиці. Ранні етапи розвитку обчислювальної гідродинаміки. Ключові досягнення та відкриття в галузі CFD. Еволюція комп'ютерних технологій та їх вплив на розвиток CFD. Сучасні тенденції та перспективи розвитку CFD.	10	2	–	–	8	10	1	–	–	9
Тема 3. Математичні моделі для CFD: рівняння Нав'є-Стокса та енергії. Рівняння нерозривності. Рівняння збереження імпульсу. Рівняння енергії. Моделі турбулентності (k-ε, k-ω, SST та інші).	10	2	–	–	8	10	1	–	–	9
Тема 4. Методи дискретизації та чисельні схеми. Метод скінченних різниць. Метод скінченних об'ємів. Метод скінченних елементів. Явні та неявні схеми. Стійкість та збіжність чисельних методів.	10	2	–	–	8	10	–	–	–	10
Тема 5. Огляд сучасних CFD-пакетів та їх можливостей. Комерційні CFD-пакети (ANSYS Fluent, COMSOL Multiphysics, SolidWorks). Порівняння можливостей різних CFD-пакетів. Інтеграція CFD з іншими інженерними інструментами (CAD, оптимізація).	10	2	–	–	8	10	1	–	–	9
Разом за змістовим модулем 1	50	10	–	–	40	50	4	–	–	46

Модуль 2

Змістовний модуль 2. CFD-моделювання в теплоенергетиці із застосуванням пакету ANSYS Fluent.

Тема 6. Вступ до ANSYS Fluent: інтерфейс, робочий процес та базові налаштування для задач теплоенергетики.	10	2	–	4	4	10	–	–	–	10
Тема 7. Створення та імпорт геометрії. Генерація сітки для типових теплоенергетичних задач. Налаштування фізичних моделей та граничних умов.	10	2	–	2	6	10	–	–	2	8
Тема 8. Моделювання теплообмінних процесів у енергетичному обладнанні з використанням ANSYS Fluent. Налаштування моделей теплопередачі (конвекція, теплопровідність).	10	2	–	4	4	10	–	–	2	8
Тема 9. Моделювання теплообмінників різних типів. Аналіз розподілу температур в простих теплообмінниках.	10	2	–	2	6	10	–	–	–	10
Тема 10. Аналіз розподілу температур та теплових потоків. Симуляція руху димових газів та теплоносія.	10	2	–	3	5	10	–	–	–	10
Разом за змістовим модулем 2	50	10	–	15	25	50	–	–	4	46

Змістовний модуль 3. CFD-моделювання в енергомашинобудуванні із застосуванням пакету ANSYS Fluent.										
Тема 11. Налаштування граничних умов для вхідних та вихідних потоків. Аналіз ламінарних та турбулентних течій у трубах. Розрахунок втрат тиску та коефіцієнтів тертя.	10	2	–	4	4	10	–	–	–	10
Тема 12. Моделювання двофазних потоків. Налаштування граничних умов для вхідних та вихідних потоків.	10	2	–	2	6	10	–	–	–	10
Тема 13. Моделювання багатофазних потоків у енергетичному обладнанні за допомогою ANSYS Fluent. Вибір та налаштування моделей багатофазної течії (VOF, Mixture, Eulerian).	10	2	–	4	4	10	–	–	–	10
Тема 14. Візуалізація та аналіз результатів CFD-розрахунків. Методи візуалізації потоків в ANSYS Fluent.	10	2	–	2	6	10	–	–	–	10
Тема 15. Побудова графіків та діаграм для аналізу результатів. Інтерпретація результатів CFD-моделювання для типових задач енергомашинобудування.	10	2	–	3	5	10	–	–	–	10
Разом за змістовим модулем 3	50	10	–	15	25	50	–	–	–	50
Разом	150	30	–	30	90	150	4	–	4	142

Примітка: л. – лекції; лаб. – лабораторні заняття; пр. – практичні заняття; с.р. – самостійна робота здобувача

Теми практичних робіт

Метою практичних занять є доповнення лекційного матеріалу. На практичних заняттях здобувачі вищої освіти знайомляться з теоретичним матеріалом (відповідно до складу змістових модулів), що наводяться науково-педагогічним працівником (НПП), та практичним його застосуванням.

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Практична робота №1. ANSYS Fluent: інтерфейс, робочий процес та базові налаштування для задач теплоенергетики.	4	–
2	Практична робота №2. Створення та імпорт геометрії. Генерація сітки для типових теплоенергетичних задач. Налаштування фізичних моделей та граничних умов.	2	2
3	Практична робота №3. Моделювання теплообмінних процесів у енергетичному обладнанні з використанням ANSYS Fluent. Налаштування моделей теплопередачі (конвекція, теплопровідність).	4	2
4	Практична робота №4. Моделювання теплообмінників різних типів. Аналіз розподілу температур в простих теплообмінниках.	2	–
5	Практична робота №5. Аналіз розподілу температур та теплових потоків. Симуляція руху димових газів та теплоносія.	3	–
6	Практична робота №6. Налаштування граничних умов для вхідних та вихідних потоків. Аналіз ламінарних та турбулентних течій у трубах. Розрахунок втрат тиску та коефіцієнтів тертя.	4	–
7	Практична робота №7. Моделювання двофазних потоків. Налаштування граничних умов для вхідних та вихідних потоків.	2	–
8	Практична робота №8. Моделювання багатофазних потоків у енергетичному обладнанні за допомогою ANSYS Fluent. Вибір та налаштування моделей багатофазної течії (VOF, Mixture, Eulerian).	4	–
9	Практична робота №9. Візуалізація та аналіз результатів CFD-розрахунків. Методи візуалізації потоків в ANSYS Fluent.	2	–
10	Практична робота №10. Побудова графіків та діаграм для аналізу результатів. Інтерпретація результатів CFD-моделювання для типових задач енергомашинобудування.	3	–
Разом		30	4

Самостійна робота

Самостійна робота здобувача вищої освіти передбачає проробку ним лекційного матеріалу, підготовку до проведення та захисту практичних робіт, опрацювання окремих питань тем змістових модулів, підготовку до модульних контролів знань, а також виконання модульних контрольних робіт.

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна форма	заочна форма
1	Порівняльний аналіз різних типів сіток для CFD-моделювання: структуровані, неструктуровані та гібридні сітки.	9	15
2	Дослідження впливу якості сітки на точність CFD-розрахунків на прикладі простого теплообмінника.	9	15
3	Аналіз збіжності рішення при використанні різних моделей турбулентності для течії в трубі.	9	15
4	Моделювання природної конвекції в замкненому просторі та порівняння результатів з теоретичними даними.	9	15
5	CFD-аналіз ефективності різних типів оребрення теплообмінних поверхонь.	9	15
6	Дослідження впливу граничних умов на результати моделювання потоку в каналі змінного перерізу.	9	15
7	Порівняльний аналіз ламінарного та турбулентного режимів течії в кільцевому каналі.	9	8
8	Моделювання процесу змішування гарячого та холодного потоків у T-подібному з'єднанні.	9	15
9	CFD-аналіз аеродинамічних характеристик простого профілю лопатки при різних кутах атаки.	9	15
10	Дослідження теплообміну при обтіканні циліндра потоком рідини при різних числах Рейнольдса.	9	14
Разом		90	142

Виконання модульних контрольних робіт.

Виконання контрольної роботи (для здобувачів заочної форми навчання)

Під час поточного модульного контролю здобувачі вищої освіти денної форми навчання виконують дві модульні контрольні роботи, які представляють собою письмові відповіді на одне питання із кожного модуля. Здобувачі заочної форми навчання виконують одну контрольну роботу, яка складається з відповідей на чотири питання. Контрольна робота виконується у години самостійної роботи ЗВО після пророблення і засвоєння всього навчального матеріалу дисципліни.

Варіант питань обирається здобувачами із табл. 5 або задається НПП індивідуально. У відповідях мають бути продемонстровані знання здобувачі з навчальної дисципліни, його вміння відбирати і узагальнювати матеріал, супроводжуючи його необхідними схемами, графіками, формулами і

поясненнями, обґрунтовувати свої висновки і пропозиції, логічно викладати думки, грамотно, ясно і дохідливо оформлювати текстовий матеріал.

№ варіанту	Модуль 1		Модуль 2	
	Запитання 1	Запитання 2	Запитання 3	Запитання 4
1	1	31	1	10
2	2	32	2	11
3	3	33	3	12
4	4	34	4	13
5	5	35	5	14
6	6	36	6	15
7	7	37	7	16
8	8	38	8	17
9	9	39	9	18
10	10	40	10	3
11	11	39	11	4
12	12	38	12	5
13	13	37	13	6
14	14	36	14	3
15	15	35	15	4
16	16	34	16	5
17	17	33	17	6
18	18	32	18	7
19	19	31	19	8
20	20	1	20	9
21	21	2	21	19
22	22	3	22	18
23	23	4	23	17
24	24	5	24	16
25	25	6	25	15
26	26	7	26	14
27	27	8	27	13
28	28	9	28	12
29	29	10	1	11
30	30	11	2	10

6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування

Методи навчання:

для всіх видів занять:

- робота з літературою – опрацювання різних видів джерел, спрямоване на формування нових знань, їх закріплення, вироблення вмінь і навичок та реалізацію контрольної-корекційної функції в умовах формальної освіти;

- пояснення – словесне розкриття причинно-наслідкових зв'язків і закономірностей у розвитку природи, людського суспільства і людського мислення;

- дискусія - обмін поглядами щодо конкретної проблеми з метою набуття нових знань, зміцнення власної думки, формування вміння її обстоювати;

для лекційних занять:

- відеометод – використання відеоматеріалів для активізації наочно-чуттєвого сприймання; забезпечує більш легке і міцне засвоєння знань в їх образно-понятійній цілісності та емоційній забарвленості;

для практичних занять:

- практична робота – метод поглиблення і закріплення теоретичних знань шляхом виконання вимірювань та досліджень при виконанні практичних завдань;

- інструктаж – ознайомлення зі способами виконання завдань, інструментами, матеріалами, технікою безпеки, показ операцій та організацію робочого місця.

Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання є:

- звіти з виконання практичної роботи та письмовий контроль результатів;
- усні відповіді на практичних заняттях;
- поточні модульні контрольні роботи у формі тестування (тестовий контроль);

- залік.

7. Форми поточного та підсумкового контролю

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною системою Університету.

Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе оцінки з поточного контролю і оцінки заключного іспиту.

Питома вага заключного іспиту в загальній системі оцінок – **40 балів**. Право здавати заключний іспит надається студенту, який з урахуванням максимальних балів проміжних оцінок набирає не менше **60 балів**. Підсумкова оцінка навчального курсу є сумою проміжних оцінок і оцінки заключного іспиту.

Поточний контроль проводиться на кожному практичному занятті та за результатами виконання завдань самостійної роботи. Він передбачає оцінювання теоретичної підготовки здобувачів вищої освіти із зазначеної теми (у тому числі, самостійно опрацьованого матеріалу) під час виконання завдань практичних робіт та надання відповідей по тематичним тестам.

Зарахування кредитів навчального курсу можливо тільки після досягнення результатів, запланованих РПНД, що виражається в одній з позитивних оцінок, передбачених чинним законодавством.

Форми контролю результатів навчальної діяльності студентів та їх оцінювання

Критерії оцінювання практичних робіт

Бал	Критерії оцінювання
5	Робота виконана у встановлений термін. Виконана самостійно, розв'язано всі задачі для самостійного опрацювання за варіантом без помилок.
4	Студент розв'язує задачі після консультації викладача; відповідає на запитання; в цілому правильно вирішує задачі для самостійного опрацювання за варіантом.
3	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує практичну роботу згідно з інструкцією, відповідає на запитання; виконує графічні завдання з незначними помилками.
2	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує практичну роботу під керівництвом викладача; дає відповіді не на всі запитання.
0	Робота не виконувалася.

Критерії оцінювання поточного модульного контролю знань у формі тестування

Правильних відповідей, %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Бал	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Критерії оцінювання підсумкового контролю та заліку

Бал	Критерії оцінювання
40	Студент вільно володіє теоретичним матеріалом дисципліни, самостійно розв'язує задачі без помилок.
30	Студент добре володіє теоретичним матеріалом дисципліни, за допомогою викладача розв'язує задачі.
20	Студент володіє теоретичним матеріалом дисципліни, за допомогою викладача розв'язує задачі, допускає незначні помилки.
10	Студент достатньо володіє теоретичним матеріалом дисципліни, за допомогою викладача розв'язує задачі, допускає помилки.
0	Студент не володіє теоретичним матеріалом дисципліни, не розв'язує задачі.

Узагальнюючі результати поточного контролю знань

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	Денна форма	Заочна форма
Виконання практичних робіт	10 роб. × 5 бали = 50 балів	2 роб. × 5 бали = 10 балів
Поточний модульний контроль	2 МКР × 5 бали = 10 балів	2 МКР × 5 бали = 10 балів
Виконання контрольних робіт	–	2 КР × 20 бали = 40 балів
Всього	60	60

8. Критерії оцінювання результатів навчання

№ змістового модуля і теми		Вид роботи	Кількість балів	
			денна форма	заочна форма
ЗМ 1	T1-T5			
ЗМ 2	T6	Практична робота № 1	5	
	T7	Практична робота № 2	5	5
	T8	Практична робота № 3	5	5
	T9	Практична робота № 4	5	
	T10	Практична робота № 5	5	
	T1-T10	Поточний модульний контроль №1	5	5
ЗМ 3	T11	Практична робота № 6	6	
	T12	Практична робота № 7	6	
	T13	Практична робота № 8	6	
	T14	Практична робота № 9	6	
	T15	Практична робота № 10	6	
	T11-T15	Поточний модульний контроль №2	5	5
		Контрольні роботи	–	40
Підсумковий контроль		Залік	40	
Разом			100	

9. Засоби навчання

Засобами навчання є бібліотечні фонди (підручники, навчальні посібники, в т.ч. електронні з електронної бібліотеки кафедри), а також мультимедійні засоби (персональні комп'ютери, апаратура звуковідтворення, підсилювачі звуку).

При проведенні занять за дистанційною формою навчання (у період карантину) використовуються дистанційні платформи й інформаційно-

комунікаційні технології (Google Classroom, Google Meet, ZOOM Cloud Meetings, Skype, Viber тощо). Технічні засоби навчання: мультимедійний проектор, персональні комп'ютери з підключенням до мережі Інтернет.

Програмне забезпечення для CFD-моделювання.

10. Рекомендовані джерела інформації

1. Versteeg H. K., Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: Pearson Education Limited, 2007.
2. Баранюк О. В. CFD-моделювання процесів теплообміну і гідродинаміки засобами програмного комплексу: монографія / О. В. Баранюк, М. В. Воробйов, А. Ю. Рачинський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. 164 с.
3. ANSYS Fluent Tutorial Guide Release 17.0.: ANSYS, Inc. Canonsburg, 2016.
4. Blazek J. Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications: Elsevier, 2001. 470 p.
5. Федорова Н. Н., Вальгер С. А., Данилов М. Н., Захарова Ю. В. Основы работы в ANSYS 17. ДМК Прес, 2017. 210 с.
6. Грищенко В. М., Свіргун О. А., Калінін Є. І., Савченко В. Б. Основы ANSYS. Лабораторний практикум: навч. посіб. Харків: ХНТУСГ, 2020. 168 с.
7. ANSYS Fluent Theory Guide Release 15.0.: ANSYS, Inc. Canonsburg, 2014.
8. Kobalava, H., Konovalov, D., Kalinichenko, I., Pyrysunko, M. (2024). Study of Thermophysical Processes in the Thermopressor for Contact Cooling Systems. In: Ivanov, V., Pavlenko, I., Edl, M., Machado, J., Xu, J. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing VII. DSMIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-63720-9_21
9. Bergman, T.L., et al.: Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7th Edition. John Wiley & Sons, New Jersey, 2011.
10. Sirignano, W.A.: Fluid dynamics and transport of droplets and sprays. 2nd edn. Cambridge University Press, New York, 2010.
11. Brennen C. Fundamentals of Multiphase Flow, 2005. 410 p.
12. Долинский А. А., Иваницкий, Г. К. Тепломассообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах // Киев: Наукова думка, 2008. 382 с.
13. Ranz W. E., Marshal W. R. Evaporation of Water From Drops // J. Chem. Eng. Prog. 1952. No. 48(3), P. 141–146.
- 14.
15. Fluent Manual. Chap. 19: Discrete Phase Models. 2013. [Онлайн] <http://www.fluent.com>

16. Korkodinov, Y.A.: An Overview of the k - ε Family of Models for Modeling Turbulence. Mechanical Engineering, Materials Science 5(2), 5–16, 2013.

17. Xu, Zh., Han, Zh., Qu, H.: Comparison between Lagrangian and Eulerian approaches for prediction of particle deposition in turbulent flows. Powder Technology 360, 141-150, 2020. DOI: 10.1016/j.powtec.2019.09.084.

18. Deng, S. Y.: Comparing Simulation for Turbulent Dispersion and Coalescence of Droplets within a Spray with Two Models. Applied Mechanics and Materials, 2473-2476, 2013. DOI: 10.4028/www.scientific.net/amm.353-356.2473.

19. Євдокимов Д.В. Математичні моделі та чисельні методи теорії потенціалу для задач гідродинаміка і тепломасообміну при малих числах Рейнольдса. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, 2021. 298 с.

Інформаційні ресурси

1. Сайт ХННІ НУК: <http://kb.nuos.edu.ua>
2. Репозиторій НУК: <http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/>
3. Електронні інформаційні ресурси НБУВ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>.
4. Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua>.
5. Херсонська обласна універсальна наукова бібліотека ім. Олеся Гончара [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.lib.kherson.ua>.
6. Теплофізичні властивості води і водяної пари [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vseosvita.ua/library/navcalnij-posibnik-teplofizicni-vlastivosti-vodi-i-vodanoi-pari-543267.html>

Розробник:

к.т.н., доцент, в.о. завідувача

кафедри теплотехніки ХННІ НУК



Кобалава Г.О.

**Перелік питання до поточного модульного контролю
з дисципліни «Основи CFD-моделювання в теплоенергетиці та
енергомашинобудуванні»**

Змістовий модуль 1

1. Що таке CFD-моделювання і яке його місце в сучасній інженерії?
2. Які основні етапи CFD-моделювання?
3. Назвіть основні рівняння, що використовуються в CFD-моделюванні.
4. Що таке дискретизація і які методи дискретизації використовуються в CFD?
5. Які типи сіток використовуються в CFD і в чому їх особливості?
6. Що таке граничні умови в CFD і які типи граничних умов ви знаєте?
7. Які моделі турбулентності використовуються в CFD і в чому їх відмінності?
8. Що таке збіжність розв'язку і як вона оцінюється в CFD?
9. Які критерії використовуються для оцінки якості сітки в CFD?
10. Що таке метод скінченних об'ємів і як він застосовується в CFD?
11. Які переваги та обмеження має CFD-моделювання порівняно з фізичним експериментом?
12. Що таке верифікація та валідація в контексті CFD-моделювання?
13. Які основні джерела похибок у CFD-моделюванні?
14. Як впливає вибір часового кроку на результати нестационарного CFD-моделювання?
15. Що таке паралельні обчислення і як вони застосовуються в CFD?
16. Які основні етапи препроцесингу в CFD-моделюванні?
17. Що таке постпроцесинг і які інструменти використовуються для візуалізації результатів CFD?
18. Як враховується теплообмін у CFD-моделюванні?
19. Що таке багатофазні течії і як вони моделюються в CFD?
20. Які сучасні тенденції розвитку CFD-технологій ви знаєте?

Змістовий модуль 2

21. Які основні компоненти включає в себе пакет ANSYS Fluent?
22. Як створити геометричну модель в ANSYS DesignModeler для задач теплоенергетики?
23. Які типи сіток можна генерувати в ANSYS Meshing і які з них найбільш підходять для теплоенергетичних задач?
24. Як налаштувати граничні умови для моделювання теплообмінника в ANSYS Fluent?
25. Які моделі турбулентності доступні в ANSYS Fluent і як вибрати відповідну для конкретної задачі теплоенергетики?

26. Як налаштувати модель променевого теплообміну в ANSYS Fluent?
27. Які методи вирішення рівнянь пропонує ANSYS Fluent і в яких випадках їх слід застосовувати?
28. Як налаштувати багатофазну модель для моделювання процесів кипіння або конденсації в ANSYS Fluent?
29. Які критерії збіжності використовуються в ANSYS Fluent і як їх налаштувати?
30. Як провести параметричне дослідження в ANSYS Fluent?
31. Які інструменти постпроцесингу доступні в ANSYS Fluent для аналізу результатів теплоенергетичних задач?
32. Як налаштувати модель горіння в ANSYS Fluent для моделювання процесів в котельних установках?
33. Які методи адаптації сітки доступні в ANSYS Fluent і коли їх слід застосовувати?
34. Як моделювати обертові частини (наприклад, турбіни) в ANSYS Fluent?
35. Які моделі для розрахунку природної конвекції пропонує ANSYS Fluent?
36. Як налаштувати модель пористого середовища в ANSYS Fluent для моделювання теплообмінників?
37. Які методи прискорення збіжності доступні в ANSYS Fluent і коли їх слід застосовувати?
38. Як провести оптимізацію конструкції теплоенергетичного обладнання за допомогою ANSYS Fluent?
39. Які інструменти для моделювання хімічних реакцій пропонує ANSYS Fluent?
40. Як налаштувати динамічну сітку для моделювання рухомих частин в ANSYS Fluent?

Змістовий модуль 3

41. Що таке CFD-моделювання і які його основні переваги у енергомашинобудуванні?
42. Які основні етапи процесу CFD-моделювання в ANSYS Fluent?
43. Що таке сітка (mesh) у CFD-моделюванні, і які види сіток підтримує ANSYS Fluent?
44. Які основні типи сіток використовуються для моделювання в ANSYS Fluent, і в яких випадках кожен з них є найбільш ефективним?
45. Як визначити правильний розмір елемента сітки для досягнення точних результатів моделювання?
46. Які ключові фізичні моделі можна використовувати в ANSYS Fluent для моделювання турбулентності?
47. Як у ANSYS Fluent задаються початкові і граничні умови для симуляцій?

48. Які основні типи граничних умов підтримуються ANSYS Fluent, і коли їх слід використовувати?
49. Які є основні методи вирішення диференціальних рівнянь в ANSYS Fluent?
50. Як використовуються чисельні схеми (numerical schemes) в ANSYS Fluent для розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса?
51. Які фактори слід враховувати при виборі чисельної схеми для конкретного типу симуляції?
52. Як у ANSYS Fluent проводиться перевірка та валідація моделі?
53. Які методи постобробки результатів симуляції використовуються в ANSYS Fluent для отримання фізичних результатів?
54. Як в ANSYS Fluent здійснюється аналіз конвергенції розв'язків?
55. Які параметри можуть бути змінені для покращення конвергенції розв'язків у ANSYS Fluent?
56. Як у ANSYS Fluent можна налаштувати симуляцію для обробки хімічних реакцій?
57. Які аспекти моделювання з урахуванням теплопередачі в ANSYS Fluent?
58. Які є основні типи розрахункових ресурсів (ресурсів обчислювальної потужності) у ANSYS Fluent, і як їх оптимально використовувати?
59. Як в ANSYS Fluent можна виконати аналіз чутливості до параметрів моделі?
60. Які основні помилки можуть виникнути під час моделювання в ANSYS Fluent, і як їх уникнути?