



МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ. ЦИФРОВІ ДВІЙНИКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ І ЕНЕРГОУСТАТКУВАННЯ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (освітньо-науковий)
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	144 Теплоенергетика
Освітня програма	Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна (денна)/дистанційна/змішана
Рік підготовки, семестр	2 курс, осінній
Обсяг дисципліни	30 годин / 3 кредити ЄКТС (лекційні заняття – 16 год., практичні заняття – 14 год.)
Семестровий контроль/ контрольні заходи	Екзамен
Розклад занять	
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектори: д.т.н.,ст. наук. співр, Давиденко Борис Вікторович, bdavydenko@ukr.net д.т.н., проф. Круковський Павло Григорович, kruk_2@ukr.net Практичні: к.т.н.,ст. наук.співр, Кобзар Сергій
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс (Moodle, Google classroom, тощо)

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліна «Моделювання процесів тепломасоперееносу. Цифрові двійники енергетичних об'єктів і енергоустаткування» дозволить отримати теоретичні знання та практичні навички з застосування чисельних методів дослідження процесів тепломасообміну в енергетичному обладнанні та в іншому устаткуванні, в якому відбуваються процеси перенесення теплоти. Ці знання дадуть змогу аспірантам самостійно складати та застосовувати на практиці методи чисельного аналізу процесів перенесення теплоти і маси, складати розрахункові схеми та виконувати математичну обробку результатів досліджень. Програма навчальної дисципліни «Моделювання процесів тепломасоперееносу. Цифрові двійники енергетичних об'єктів і енергоустаткування» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика».

Метою навчальної дисципліни «Моделювання процесів тепломасоперееносу. Цифрові двійники енергетичних об'єктів і енергоустаткування» є ознайомлення аспірантів другого року навчання з загальними основами чисельного аналізу, методами чисельних досліджень процесів перенесення теплоти, методами розрахунку полів температури в елементах енергетичного обладнання та в іншому устаткуванні.

Предметом навчальної дисципліни є методи чисельного аналізу, моделі та алгоритми чисельного розв'язання задач гідродинаміки та тепломасообміну, методи побудови скінчено-різницевих схем для розв'язання рівнянь математичної фізики.

Компетентності: самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати задачі переносу теплоти і маси в теплоенергетичному обладнанні; складати скінчено-різницеві рівняння, що моделюють процеси перенесення теплоти в твердих тілах та в потоках теплоносія, будувати розрахункові алгоритми для розв'язання систем скінчено-різницевих рівнянь; обробляти та аналізувати результати розрахункових досліджень.

Програмні результати навчання: застосовувати чисельні методи для дослідження процесів тепломасообміну, формулювати задачі та проводити чисельні дослідження процесів перенесення в теплоенергетичному обладнанні, складати скінчено-різницеві рівняння, що моделюють процеси перенесення теплоти в твердих тілах та в потоках теплоносія, будувати розрахункові алгоритми для розв'язання систем скінчено-різницевих рівнянь, аналізувати результати розрахункових досліджень,

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

До початку вивчення дисципліни аспіранти повинні мати базові знання з вищої математики, загальної фізики, гідродинаміки, технічної термодинаміки, теорії тепломасообміну. Курс лекцій базується на таких курсах: «Механіка рідини та газу», «Теплопередача», «Чисельні методи». Компетентності та програмні результати навчання, одержані в процесі вивчення дисципліни, є необхідними для подальшого якісного виконання аспірантами індивідуальних наукових досліджень та складання дисертаційної роботи на здобуття вченого ступеня доктора філософії.

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Особливості чисельного дослідження процесів теплоперенесення і динаміки рідини в теплоенергетичному обладнанні.

Тема 2. Чисельні методи розв'язання нелінійних та трансцендентних рівнянь.

Тема 3. Чисельне розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь.

Тема 4. Методи чисельного диференціювання та інтегрування функцій.

Тема 5. Чисельне розв'язання звичайних диференціальних рівнянь першого порядку.

Тема 6. Чисельне розв'язання систем звичайних диференціальних рівнянь першого порядку та рівнянь вищого порядку.

Тема 7. Метод сіток для розв'язання диференціального рівняння теплопровідності. Явна та неявна схеми скінчено-різницевої апроксимація рівняння. Апроксимація граничних умов.

Тема 8. Методи розв'язання скінчено-різницевого рівняння теплопровідності, що складене за явною схемою. Стійкість різницевої схеми.

Тема 9. Методи розв'язання скінчено-різницевого рівняння теплопровідності, що складене за неявною схемою

Тема 10. Скінчено-різницева апроксимація рівняння збереження енергії для потоку рідкого середовища. Апроксимація перших похідних за схемою "проти потоку"

Тема 11. Чисельне розв'язання системи рівнянь динаміки в'язкої рідини у змінних «функція току - вихор».

Тема 12. Чисельне розв'язання системи рівнянь динаміки в'язкої рідини у змінних «складові швидкості - тиск». Метод штучної стисливості.

Тема 13. Алгоритм SIMPLE та SIMPLER для чисельного розв'язання системи рівнянь динаміки в'язкої рідини у змінних «складові швидкості - тиск».

Тема 14. Чисельні методи інтерполяції та апроксимації функцій. Метод найменших квадратів для апроксимації функціональної залежності у вигляді поліномів.

Тема 15. Інтерполяція функцій за допомогою кубічного сплайну.

Тема 16. Створення цифрових двійників енергетичних об'єктів і енергоустаткування.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова

1. Фельдман Л. П., Петренко А. І., Дмитрієва О. А. Чисельні методи в інформатиці – К. : Видавнича група ВНУ. – 2006, – 480 с.
2. Лященко М.Я., Головань М.С. Чисельні методи– К.: Либідь, 1996.– 288 с.
3. Краскевич В. Є., Зеленський К. Х., Гречко В. И. Численные методы в инженерных исследованиях. – К.: Высшая шк., 1986. – 263 с.
4. Никитенко Н.И. Исследование процессов тепло-и массообмена методом сеток. - Киев, Наукова думка. -1978. -212 с.
5. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. М.: Мир, 1980. — 618 с.
6. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М. : Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
7. Андерсон Д., Таннехилл Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. – М. : "Мир", 1990. Т.2. 392 с.

Допоміжна

1. Суліма І.М., Мейш В.Ф. Чисельні методи із застосуванням MATLAB– К.: Вид-во НАУ, 2003. – 320 с.

Навчальний контент

1. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Навчальна дисципліна охоплює 16 годин лекцій та 14 годин практичних занять.

Практичні заняття з дисципліни проводяться з метою закріплення теоретичних положень навчальної дисципліни і набуття аспірантами умінь і досвіду застосовувати на практиці методи чисельного аналізу, самостійно складати скінчено-різницевої схеми для розв'язання диференціальних рівнянь математичної фізики та реалізовувати їх на практиці для чисельного розв'язання задач тепломасоперенесення. Виходячи з розподілу часу на вивчення дисципліни, рекомендується чотирнадцять практичних занять.

Методи та форми навчання включають лекції та практичні заняття. Застосовуються стратегії активного навчання, які визначаються такими технологіями: візуалізація та інформаційно-комунікаційні технології, зокрема електронні презентації для лекційних занять.

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	Особливості чисельного дослідження процесів теплоперенесення і динаміки рідини в теплоенергетичному обладнанні. Література [4]
2	Чисельні методи розв'язання нелінійних та трансцендентних рівнянь Література [1, 2, 3]
3	Чисельне розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь Література [1,2]
4	Методи чисельного диференціювання та інтегрування функцій Література [1,2]

5	Чисельне розв'язання звичайних диференціальних рівнянь першого порядку. Метод Ейлера та метод Рунге-Кутта. Література [1, 2, 3]
6	Чисельне розв'язання систем звичайних диференціальних рівнянь першого порядку та рівнянь вищого порядку. Література [1, 2, 3]
7	Метод сіток для розв'язання диференціального рівняння теплопровідності. Явна та неявна схеми скінчено-різницевої апроксимація рівняння. Апроксимація граничних умов Література [4]
8	Методи розв'язання скінчено-різницевого рівняння теплопровідності, що складене за явною схемою. Стійкість різницевої схеми. Література [4, 5]
9	Методи розв'язання скінчено-різницевого рівняння теплопровідності, що складене за неявною схемою. Література [4, 5]
10	Скінчено-різницева апроксимація рівняння збереження енергії для потоку рідкого середовища. Апроксимація перших похідних за схемою "проти потоку" Література [5, 6]
11	Чисельне розв'язання системи рівнянь динаміки в'язкої рідини у змінних «функція току - вихор». Література [5]
12	Чисельне розв'язання системи рівнянь динаміки в'язкої рідини у змінних «складові швидкості - тиск». Метод штучної стисливості. Література [5, 7]
13	Алгоритм SIMPLE та SIMPLER для чисельного розв'язання системи рівнянь динаміки в'язкої рідини у змінних «складові швидкості - тиск».. Література [6]
14	Чисельні методи інтерполяції та апроксимації функцій. Метод найменших квадратів для апроксимації функціональної залежності у вигляді поліномів. Література –[1, 2, 3]
15	Інтерполяція функцій за допомогою кубічного сплайну. Література –[1, 2, 3]
16	Створення цифрових двійників енергетичних об'єктів і енергоустаткування

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	Побудова в програмі EXCEL алгоритму розв'язання нелінійних та трансцендентних рівнянь методом хорд та методом дотичних Література [1, 2, 3]
2	Складання розрахункового алгоритму для розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь методами простої ітерації та методом Зейделя. Література [1,2]
3	Знаходження чисельних значень перших і других похідних від функцій, що задані аналітично та у вигляді таблиці Література [1,2]
4	Складання в програмі EXCEL алгоритму чисельного розв'язання звичайних диференціальних рівнянь першого порядку методом Ейлера та методом Рунге-Кутта. Література [1, 2, 3]

5	Побудова схеми чисельного розв'язання диференціальних рівнянь другого і третього порядків. Застосування методу стрільби для чисельного розв'язання рівняння Блазіуса. Література [1, 2, 3]
6	Побудова прямокутної різницевої сітки та складання скінчено-різницевої апроксимації рівняння теплопровідності за явною та неявною схемами. Література [4]
8	Чисельне розв'язання рівняння теплопровідності с заданими граничними умовами за явною часовою схемою. Визначення кроку за часом, що забезпечує стійкість різницевої схеми. Література [4, 5]
9	Розрахунок коефіцієнтів для методу прогонки, що застосовується для розв'язання складеного за неявною схемою скінчено-різницевого рівняння теплопровідності. Література [4, 5]
10	Складання чисельного алгоритму для розв'язання скінчено-різницевого рівняння збереження енергії для потоку рідкого середовища. Література [5, 6]
11	Побудова алгоритму розв'язання рівняння перенесення вихору за неявною схемою апроксимації. Література [5]
12	Складання алгоритму для розрахунку коефіцієнтів різницевих рівнянь перенесення імпульсу. Література [6]
13	Застосування методу найменших квадратів для апроксимації функцій, заданих у вигляді таблиці, квадратичною параболою. Література –[1, 2, 3]
14	Розрахунок коефіцієнтів для інтерполяції функцій кубічним сплайном. Література –[1, 2, 3]

2. Самостійна робота аспіранта

Завданням самостійної роботи аспірантів є навчити аспірантів самостійно працювати з літературою, творчо сприймати навчальний матеріал і осмислювати його.

На самостійну роботу відводяться наступні види завдань:

- обробка і осмислення інформації, отриманої безпосередньо на заняттях;
- робота з відповідними підручниками та особистим конспектом лекцій;
- підготовка до складання заліку.

Політика та контроль

3. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- відвідування лекцій та практичних занять
- активність на практичних та лекційних заняттях, регулярна самостійна робота
- дотримання стандартів академічної доброчесності.
- Відвідування лекцій та практичних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, аспірантам рекомендується відвідувати усі види занять (як лекцій, так і практичних занять);
- Moodle та інші інтернет ресурси, що надає викладач, тощо.

4. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Вказуються всі види контролю та бали за кожен елемент контролю, наприклад:

Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття

Контроль на практичних заняттях: оцінка якості виконання практичних завдань

Семестровий контроль: екзамен

Поточний контроль: опитування за темою лекції. Максимальна кількість балів – 20.

Контроль на практичних заняттях.

Максимальна кількість балів – 40.

Семестровий контроль.:

Екзамен – 40 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

5. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *перелік питань, які виносяться на семестровий контроль (наприклад, як додаток до силабусу);*
- *можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою;*
- *інша інформація для аспірантів щодо особливостей опанування навчальної дисципліни.*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено

доктор технічних наук, ст. наук. співр

Б.В. Давиденко

Ухвалено Вченою радою ІТТФ НАН України _____ (протокол № ____ від _____)