



Подібність та моделювання

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другій (магістерський)
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	144 Теплоенергетика
Освітня програма	ОНП Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження
Статус дисципліни	Нормативна
Форма навчання	Очна/денна
Рік підготовки, семестр	2-й курс, осінній семестр
Обсяг дисципліни	4 кредити; 120 годин (з них 45 аудиторних годин та 75 годин самостійної роботи студентів)
Семестровий контроль	Екзамен
Розклад занять	Лекційні заняття – півтора рази на тиждень (один тиждень – два рази, другий тиждень – один раз); практичні заняття – один раз на два тижні, http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцент Серед Володимир Володимирович, email: sereda.volodymyr@lil.kpi.ua
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/u/1/c/MTU4ODQ0NTg5Njk2

Програма навчальної дисципліни

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

Знання і розуміння теорії подібності на сучасному етапі розвитку комп'ютерного моделювання дуже важливі через велику кількість інформації, яка підлягає обробці. Використання безрозмірних величин під час комп'ютерного моделювання дає змогу не тільки значно зменшити кількість змінних та узагальнень результатів, але й присвоїти масштабний коефіцієнт комп'ютерній моделі досліджуваного об'єкту або процесу. Також особливе значення має застосування безрозмірних величин у разі формування феноменологічних математичних моделей, де асимптотичні математичні моделі не можуть бути використані або невідомі. Результати теорії подібності та застосування феноменологічних математичних моделей, або, іншими словами, експериментальних математичних моделей, відкривають нові можливості для вирішення складних процесів у різноманітних теплоенергетичних системах.

Метою дисципліни «Подібність та моделювання» є формування у студентів загального уявлення про різні типи моделей, методи моделювання та основні інструменти моделювання. Серед цих інструментів є теорія подібності, яка супроводжує всі види моделювання. Важливим є аналіз розмірностей та методи подібності, які впливають із аналізів фізичних, феноменологічних

та асимптотичних математичних моделей. Під час вивчення дисципліни основна увага звертається на якомога більшу інтерпретацію моделювання у всій його широті та різноманітності. Також розглядаються відмінні риси різноманітних форм моделювання.

Предметом вивчення дисципліни є: методологія моделювання, аналіз розмірностей та інші методи теорії подібності, практичні кейси застосування теорії подібності під час моделювання, методи та засоби моделювання теплових процесів та гідродинаміки у різних теплоенергетичних об'єктах.

Вивчення дисципліни формує такі **компетентності**:

- ЗК2 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ФК1 Здатність застосовувати та удосконалювати математичні та комп'ютерні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для розв'язання складних інженерних задач в теплоенергетиці.
- ФК4 Здатність розуміти і адекватно застосовувати відомі та сучасні математичні принципи і методи, необхідні для розв'язання задач в теплоенергетиці.
- ФК14 Здатність здійснювати наукові та прикладні дослідження в теплоенергетиці.
- ФК16 Здатність аналізувати і розробляти заходи з підвищення ефективності систем і їх компонентів на основі використання аналітичних методів і методів моделювання (математичних, фізичних, комп'ютерних) в теплоенергетичній галузі.
- ФК17 Здатність розробляти, застосовувати та удосконалювати математичні, фізичні і комп'ютерні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для розв'язання інженерних задач в теплоенергетичній галузі.

В результаті вивчення дисципліни студент навчиться:

- ПРН 6 Аналізувати, застосовувати та створювати складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання теплоенергетики відповідно до спеціалізації; обирати, аналізувати і розробляти ефективні аналітичні, розрахункові та експериментальні методи.
- ПРН 12 Розробляти і досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів теплоенергетики, перевіряти адекватність моделей, порівнювати результати моделювання з іншими даними та оцінювати їх точність і надійність.
- ПРН 19 Планувати і виконувати наукові дослідження, використовуючи сучасні методи та інструменти, аналізувати, обробляти, оцінювати та презентувати результати досліджень, аргументувати висновки.
- ПРН 22 Знати і розуміти сучасні теорії і методи для розв'язання складних інженерних задач в теплоенергетиці.
- ПРН 23 Використовуючи сучасні комп'ютерні методи і спеціалізовані пакети програм та засобів досліджувати та проектувати оптимальні конструкції і експлуатаційні режими роботи теплоенергетичного і теплотехнологічного обладнання.
- ПРН 25 Застосовувати сучасні програмні засоби, створювати бази даних і використовувати internet-ресурси для розв'язання поставлених інженерних задач.

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

Освоєння матеріалу дисципліни базується на попередньому вивченні теоретичних дисциплін бакалаврського рівня «Вища математика», «Фізика», «Гідрогазодинаміка» та «Тепломасообмін». Отримані знання використовуються під час вивчення дисципліни «Наукова робота над темою магістерської дисертації» та роботи над магістерською дисертацією, а також в подальшій

професійній діяльності у разі розробки або дослідження фізичних, математичних і комп'ютерних моделей різних теплоенергетичних об'єктів та процесів.

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Ідентифікація, моделювання та імітація.

Ідентифікація та симуляція. Кібернетика та моделювання. Фізична подібність та моделювання. Принципи інформаційної теорії моделювання. Історія розвитку моделювання.

Тема 2. Класифікація та властивості моделей.

Створення, розробка та трансформація моделей. Різноманітні категорії моделей. Класифікація моделей за ступенем абстракції. Спрощення та надійність моделей. Види завдань та алгоритмів розв'язку моделей.

Тема 3. Величини, матриця розмірностей та критерії подібності.

Величини та розмірності. Основні теореми аналізу розмірностей. Матриця розмірностей. Критерії подібності.

Тема 4. Визначення кількості та форм критеріїв подібності.

Пі-теорема. Матриця розв'язків критеріїв подібності. Групи критеріїв подібності. Перетворення одиниць та величин.

Тема 5. Застосування теорії подібності.

Механіка рідини, протікання в'язкої рідини через трубопровід. Механіка рідини, вільне падіння краплі. Теплопровідність, температурне поле. Фізика, теплопровідність газу. Вимушена конвекція, теплопередача. Конденсація, теплопередача.

Тема 6. Моделювання теплових процесів та гідродинаміки в середовищі SolidWorks Flow Simulation.

Дослідження теплового пограничного шару. Моделювання процесу вільної конвекції. Дослідження процесу теплопровідності у теплоізоляційних матеріалах. Дослідження систем опалення та вентиляції. Дослідження процесу обтікання гарячим потоком пучка труб у корпусі теплообмінного апарату. Дослідження процесу радіаційного та конвективного теплообміну в топці котла. Дослідження процесу нагріву води у плоскому сонячному колекторі.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базовими матеріалами для вивчення дисципліни є навчальні посібники і монографії:

1. Josef Kuneš. Similarity and Modeling in Science and Engineering. Cambridge International Science Publishing Ltd., **2012**. 442 P. DOI: 10.1007/978-1-907343-78-0.
2. John Matsson. An Introduction to SOLIDWORKS Flow Simulation 2020. SDC Publications, **2020**. 350 P.
3. Paul Kurowski. Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2021. SDC Publications, **2021**. 600 P.
4. Дослідження теплового пограничного шару [Електронний ресурс]: методичні вказівки для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика», спеціалізації «Промислова та муніципальна теплоенергетика та енергозбереження» / А.С. Соломаха, В.В. Середа; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,2 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, **2020**. – 26 с.

Допоміжні джерела:

1. Fang S., Mu L. Heat and mass transfer analysis during gas-liquid separation in an evaporator device for desalination. Desalination. **2020**. Vol. 486. P. 114430. DOI: 10.1016/j.desal.2020.114430.

2. Кепич Т. Ю. Основи теорії подібності й аналізу розмірностей та їх застосування в задачах механіки: навч. посіб. КНУ ім. Т. Шевченка. – Київ: ВПЦ «Київський університет», **2000**. – 78 с.
3. Теория подобия и тепловое моделирование: Сборник. Посвящен 100-летию со дня рождения М. В. Кирпичева. АН СССР, Отд-ние физ. -техн. пробл. энергетики; Отв. ред. Г.Н. Кружилин. – М.: Наука, **1987**. – 165 с.
4. Кутателадзе С. С. Анализ подобия и физические модели. АН СССР, Институт теплофизики. – Новосибирск: Наука, **1986**. – 295 с.
5. Минаковский В. М. Обобщенные переменные теории переноса (основы теории и справочные таблицы). – Киев: Выща школа, **1978**. – 183 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Опанування навчальної дисципліни базується на попередньому опрацюванню матеріалу кожної лекції, що надсилається викладачем заздалегідь, з подальшим опитуванням і детальним розглядом окремих питань під час проведення лекції або зустрічі при дистанційному режимі навчання. Крім того, в рамках проведення практичних занять, студентам видаються індивідуальні завдання для попереднього їх вирішення і обговорення в рамках часу, передбаченого розкладом практичних занять.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента передбачена під час попереднього опрацювання матеріалу лекцій, що надсилається викладачем, а також при самостійному вирішенні індивідуальних завдань, що видаються в рамках програми практичних занять.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог до студентів:

- обов'язкова присутність на лекціях і практичних заняттях за розкладом;
- попереднє опрацювання матеріалу лекцій;
- самостійне вирішення індивідуальних завдань;
- доопрацювання завдань з урахуванням результатів перевірки і зроблених зауважень;

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

Види контролю знань студентів з дисципліни:

- відповіді на лекційних заняттях;
- відповіді на практичних заняттях;
- виконання завдань СРС;
- виконання МКР (дві частини);
- відповідь на екзамені – максимально 40 балів.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- 1) три відповіді в середньому кожного студента на лекційних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 3 студенти; при середній чисельності групи 10 осіб і тринадцяти лекційних заняттях (26 годин) отримуємо: $3 \cdot 13 / 10 \approx 3$ відповіді);

- 2) три відповіді в середньому кожного студента на практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 3 студенти; при середній чисельності групи 10 осіб і дев'яти практичних заняттях (18 годин) отримуємо: $3 \cdot 9 / 10 \approx 3$ відповіді);
- 3) виконання завдань СРС;
- 4) виконання МКР;
- 5) відповідь на екзамені – максимально 40 балів.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на лекційних заняттях

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_1 = 2 \text{ бали} \times 3 = 6 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

2 бали – повна вірна відповідь на поставлене запитання; 1 бал – відповідь має несуттєві помилки; 0 балів – наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

2. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_2 = 2 \text{ бали} \times 2 = 4 \text{ бали}$.

Критерії оцінювання:

2 бали – повна вірна відповідь на поставлене запитання; 1 бал – відповідь має несуттєві помилки; 0 балів – наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

3. Виконання завдань СРС

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів студента – 18 (завдання СРС видаються після кожного практичного заняття, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_3 = 2 \text{ бал} \times 9 = 18 \text{ балів}$. Виконане завдання надається викладачу у вигляді оформлених розрахунків, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

2 бали – в повному об'ємі і вчасно надана відповідь; 1 бал – відповідь має несуттєві помилки; 0 балів – не вчасно надана відповідь.

Штрафні бали:

несвоєчасне виконання завдання СРС без поважної причини (хвороба) – мінус 1 бал за кожне невиконане завдання.

Заохочувальні бали:

участь у наукових та/або науково-практичних конференціях, семінарах, симпозіумах – 5 балів.

4. Модульна контрольна робота (МКР)

Проводиться дві частини МКР. Кожна частина МКР складається із восьми тестових завдань. Ваговий бал кожної частини – 16. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_4 = 16 \times 2 = 32$ бали.

Критерії оцінювання:

16 балів – повна вірна відповідь на всі тестові завдання; 16...1 бали – наявність неповних та/або невірних відповідей на тестові завдання; 0 балів – відсутність відповіді, МКР не зараховано.

6. Відповіді на екзамені

Екзамен проводиться у письмово-усній формі і складається із двох частин. Теоретична частина включає комп'ютерне тестування за змістом навчальної дисципліни (завдання – 30 тестів закритої форми з однією правильною відповіддю з 5-и запропонованих) і оцінюється у 30 балів. Практична частина містить одну задачу, розв'язок якої оцінюється у 10 балів. Тобто, максимальна кількість балів за екзамен $30 + 10 = 40$ балів.

Критерії оцінювання комп'ютерного тестування:

1 бал – повна вірна відповідь на одне тестове завдання; 0 балів – відповідь невірна або відсутня.

Критерії оцінювання розв'язку практичного завдання:

правильне раціональне рішення (не менше 90% потрібної інформації) – 9...10 балів;
 правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 7...8 балів;
 рішення з помилками (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки) – 5...6 балів;
 відсутність рішення (менше 50% потрібної інформації та помилки) – менше 5 балів.

Штрафні бали:

додаткове питання з тем лекційного курсу отримують студенти, які не брали участі у роботі певного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на 3 бали.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_d):

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:

$$R_i = r_1 + r_2 + r_3 + r_4.$$

де r_i — рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни.

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 6+4+18+32 = 60$ балів.

Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, захист ДКР та стартовий рейтинг не менше $0,4 \times R_c = 24$ балів.

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 24 бали, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Екзаменаційна складова шкали дорівнює: $R_E = 40$ балів.

Таким чином, максимальна кількість балів за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = R_c + R_E = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
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

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100-бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену. Студентам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливого (тобто $R_c \geq 54$), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 60 + \frac{40 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де R – оцінка за 100-бальною шкалою;

R_i – сума балів, набраних студентом продовж семестру;

R_c – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

R_D – бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку з кредитного модуля, виконують екзаменаційну роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент кафедри, к.т.н., доц. Серeda Володимир Володимирович

Ухвалено кафедрою ТПТ (протокол № 16 від 24.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією ТЕФ (протокол № 11 від 24.06.2021 р.)