



Математичне моделювання теплофізичних процесів у складних технічних системах

Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>142 Енергетичне машинобудування</i>
Освітня програма	<i>Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем</i>
Статус дисципліни	<i>вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>III курс, осінній</i>
Об'єм дисципліни	<i>4 кредити ЄКТС (120 годин): 45 години лекцій, 9 годин практичні заняття, 66 годин самостійна робота</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік/ модульна контрольна робота, розрахункова робота</i>
Розклад занять	http://roz.kpi.ua/
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцентка, Лебедь Наталія Леонідівна, nata.lebeddom@gmail.com Практичні заняття: к.т.н., доцентка, Лебедь Наталія Леонідівна, nata.lebeddom@gmail.com
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua , https://drive.google.com/drive/u/2/folders/1qv11D6vqvivE3j4DN5Y865CAmB49lovW , https://do.ipk.kpi.ua/

Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни *процедура математичного моделювання теплофізичних процесів в елементах енергетичного обладнання*

При проектуванні і експлуатації енергетичного обладнання необхідно знати умови протікання і розвитку процесів, які протікають в ньому. У цьому випадку, в наслідок складності постановки і проведення фізичного експерименту використовується обчислювальний експеримент, в основі якого лежить математичне моделювання. Тому в останній час обчислювальний експеримент займає домінуюче положення при виконанні досліджень, проектуванні і управлінні складними процесами і явищами. Знання основних принципів і методів математичного моделювання дозволить фахівцю вирішувати складні інженерні задачі.

Метою навчальної дисципліни є формування здатностей (компетентностей), які студент набуде після вивчення дисципліни:

ФК 2 Здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням методів електричної інженерії.

ФК 10 Здатність забезпечувати моделювання об'єктів і процесів з використанням стандартних і спеціальних пакетів програм та засобів автоматизації інженерних розрахунків, проводити експерименти за заданими методиками з обробкою й аналізом результатів.

ФК 12 Здатність брати участь у роботі над інноваційними проектами, використовуючи методи дослідницької діяльності.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

ПРН 4 Застосовувати інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до спеціальності 142 Енергетичне машинобудування; обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень.

ПРН 7 Використовувати розуміння передових досягнень при проектуванні об'єктів енергетичного машинобудування, застосувати сучасні комерційні та авторські програмні продукти.

ПРН 8 Виконувати літературний огляд, використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації, здійснювати моделювання з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань спеціальності 142 Енергетичне машинобудування відповідних спеціалізацій.

ПРН 11 Розуміння застосовуваних методик проектування і дослідження, а також їх обмежень відповідно до спеціалізацій спеціальності 142 Енергетичне машинобудування.

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

Пререквізити: Вища математика, Теорія теплообміну, Гідрогазодинаміка, Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні.

Постреквізити: дипломне проектування, дисципліни, які пов'язані з процедурами моделювання процесів в енергетичному обладнанні.

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1 Математичне моделювання і розв'язання задач теплообміну.

Загальні принципи і поняття

Тема 1.1 Сутність моделювання теплофізичних процесів

Тема 1.2 Загальні принципи і поняття математичного моделювання

Тема 1.3 Характеристика і класифікація математичних моделей процесів теплообміну

РОЗДІЛ 2 Математичне моделювання температурного режиму системи тіл і суцільних середовищ

Тема 2.1 Аналіз задачі дослідження. Вибір методу моделювання

Тема 2.2 Математична модель температурного режиму системи тіл і середовищ за методом у зосереджених параметрах

Тема 2.3 Розрахункова схема температурного режиму системи тіл і середовищ за методом у зосереджених параметрах

Тема 2.4 Моделювання температурного режиму термічно–небезпечних деталей технічних пристроїв

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. В.К.Щербаков Математичне моделювання теплофізичних процесів : підручник для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» / Щербаков В. К., Лебедь Н. Л. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 342 с.
2. С.М. Константінов Теплообмін: Підручник. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка»: Інтерс, 2005. – 304с.: іл. http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2015/Konstantinov_2005_304.pdf
3. Є.В.Шевель, М.В.Воробйов «Теплообмін випромінюванням» [Текст]: Навчальний посібник з дисципліни «Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні» [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів які навчаються за спеціальностями 142 Енергетичне машинобудування, 143 Атомна енергетика, 144 Теплоенергетика / Є.В. Шевель, М.В. Воробйов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,45 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 42 с.

Додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література.

1. Н.М.Беляев, А.А.Рядно Методы теории теплопроводности, ч.2. Москва: Высшая школа. 1982. 304с.
2. Л.Г.Блох, Л.Н.Рыжков, Ю.А.Журавлёв Теплообмен излучением (справочник). Москва: Энергоатомиздат. 1991. 432с.
3. И.Н.Бронштейн, К.А.Семендяев справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов. Москва: Наука. 1980. 975с.
4. Г.Н.Дульнев, В.Г.Парфенов, А.В.Сигалов Применение ЭВМ для решения задач теплообмена. Москва: Высшая школа. 1990. 206с.
5. Г.Н.Дульнев, А.В.Сигалов Поэтапное моделирование сложных систем. ИФЖ, т. XLV, №4. 1983. С.651-656
6. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел Л.С. Теплопередача . Москва: Энергия. 1981. 488 с.
7. А.А.Самарский, А.В.Гулин Численные методы. Москва: Наука. 1989. 432с.
8. Л.А.Каздоба Вычислительная теплофизика. Київ: Наукова думка. 1992. 224с.
9. Б.П.Демидович, И.А.Марон Основы вычислительной математики. Москва: Наука. 1966. 664с.

10. Б.П.Демидович, И.А.Марон, Э.З.Шувалова Численные методы анализа. Москва: Наука. 1967. 368с.
11. А.В.Лыков Теория теплопроводности. Москва: Высшая школа. 1976. 512с.
12. В.Е.Краскевич, К.Х.Зеленский, В.И.Гречко Численные методы в инженерных исследованиях. Київ: Вища школа. 1986. 263с.
13. А.М.Столярова, Е.С.Столярова Excel 2000. Москва: ДМК Пресс. 2002. 336с
14. А.П.Солодов, В.Ф. Очков MathCAD/Дифференциальные модели. Москва: Издательство МЭИ. 2002. 239с.
15. В.И.Крылов, А.Т.Шульгина Справочная книга по численному интегрированию. Москва: Науч-ка. 1966. 370с.
16. А.П.Солодов, В.Ф. Очков MathCAD/Дифференциальные модели. Москва: Издательство МЭИ. 2002. 239с.
17. В.Дьяконов MathCAD 8/2000: специальный справочник. Санктпетербург: Питер. 2001. 592с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено лекційні і практичні заняття

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
РОЗДІЛ 1 Моделювання температурних режимів вузлів та деталей технічних пристроїв	
1.	<p style="text-align: center;">Вступ</p> <p style="text-align: center;">Тема 1.1. Сутність моделювання теплофізичних процесів</p> <p style="text-align: center;">Тема 1.2 Загальні принципи і поняття математичного моделювання</p> <p>Лекція 1. Предмет і мета дисципліни. Місце дисципліни у підготовці інженерів-енергетиків. База дисципліни. Сучасні методи дослідження теплофізичних процесів. Обчислювальний експеримент – метод чисельного аналізу складних фізичних процесів. Обчислювальний експеримент у теплофізиці. <i>Література: (1), стор. 7–24</i></p>
2.	<p style="text-align: center;">Тема 1.3 Характеристика і класифікація математичних моделей процесів теплообміну</p> <p>Лекція 2. Моделювання та математичні моделі. Методи послідовного моделювання складних технічних об'єктів і фізичних процесів, які протікають в них (від спрощених моделей до більш досконалих і точних). Класифікація задач інженерної теплофізики. Структурна схема математичного моделювання і чисельного розв'язку моделей тепломасопереносу з використанням сучасних ЕОМ. <i>Література: (1), стор. 24-34</i></p>
РОЗДІЛ 2 Математичне моделювання температурного режиму системи тіл і суцільних середовищ	
3.	<p style="text-align: center;">Тема 2.1. Аналіз задачі дослідження. Вибір методу моделювання</p> <p>Лекція 3. Технічний пристрій (ТП) як система взаємопов'язаних тіл та потоків середовищ, що знаходяться у теплообміні. Сутність моделювання ТП у зосереджених параметрах. Побудова (як приклад) спрощеної теплової схеми (ТС) двигуна внутрішнього згорання в зосереджених параметрах. <i>Література: (1), стор. 35-45</i> СРС: Аналіз побудованої спрощеної теплової схеми двигуна внутрішнього згорання в зосереджених параметрах.</p>
4.	<p>Лекція 4. Складання теплових балансів теплової схеми. Теплові баланси твердих тіл та потоків середовищ ТС ТП на поточний момент часу. Запис теплових балансів через теплові провідності та середні температури твердих тіл і потоків середовищ. Визначення теплових потоків, які ідуть на зміну внутрішньої енергії тіл (акумуляване тепло) та ентальпії проточних середовищ. Вираз середньої температури проточного середовища з використанням коефіцієнту температурної нерівномірності. <i>Література: (1), стор. 45-52, 58–62</i></p>
5.	<p>Лекція 5. Розрахунок теплових провідностей між твердими тілами різної форми, тілами і середовищами. Визначення теплових провідностей між твердими тілами, та між твердими тілами та середовищами у загальному вигляді. Вибір місця знаходження точки зосередження параметрів тіла теплової схеми. Урахування в теплових провідностях контактного термічного опору.</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	<p><i>Література:</i> (1), стор. 62–73 СРС: Сутність контактного термічного опору та параметри від яких він залежить.</p>
6.	<p>Лекція 6. Розрахунок теплових провідностей для окремих конкретних випадків: між тілами різної форми і різних матеріалів, між розташованими коаксіально циліндричними тілами „труба в трубі”, між тілами і середовищами. <i>Література:</i> (1), стор. 73-85</p>
7.	<p>Тема 2.2 Математична модель температурного режиму системи тіл і середовищ за методом у зосереджених параметрах Лекція 7. Математична модель (ММ) температурного режиму теплової схеми. Вираження теплових балансів ТС через їх середні температури, теплові провідності і повні теплоємності. Математична модель, як система диференційних рівнянь (ДР) 1-го порядку, які відображають теплові баланси ТС. Аналіз математичної моделі, як системи ДР 1-го порядку, що відображають теплові баланси ТС. <i>Література:</i> (1), стор. 57, 85-88</p>
8.	<p>Лекція 8. Апроксимація похідних та складання розрахункової (різницевої) схеми ММ. Приведення розрахункової схеми до канонічного виду. Аналіз розрахункової схеми у канонічному виді. <i>Література:</i> (1), стор. 88-104 СРС: Вибір методу розв'язку розрахункової схеми у канонічному виді. Схема розв'язку РС методом Гауса</p>
9.	<p>Тема 2.3 Розрахункова схема температурного режиму системи тіл і середовищ за методом у зосереджених параметрах Лекція 9. Числовий розв'язок розрахункової схеми температурного режиму системи тіл і середовищ за явною схемою Ейлера. Виведення формул чисельного розв'язку розрахункових схем температурного режиму теплової схеми технічного устрою за явною схемою Ейлера. Хід розв'язку розрахункової схеми температурного режиму за явною схемою Ейлера на ЕОМ. <i>Література:</i> (1), стор. 106-114 СРС: Хід розв'язку розрахункової схеми температурного режиму за явною схемою Ейлера на ЕОМ (кроки 3 та 4).</p>
10.	<p>Лекція 10. Умови стійкості розв'язку розрахункової схеми температурного режиму ТС за явною схемою Ейлера. Залежність стійкості і похибки розв'язку розрахункової схеми, як системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), від вибору часового проміжку Δt всього інтервалу часу, на якому визначається нестационарний температурний режим ТП. <i>Література:</i> (1), стор. 114–118 СРС: Визначення похибки чисельного розрахунку за методом Рунге.</p>
11.	<p>Лекція 11. Приведення матричного рівняння РС ММ температурного режиму ТП до виду, що відповідає неявній схемі Ейлера. Стійкість розв'язку розрахункової схеми за неявною схемою Ейлера. Перетворення математичного рівняння за методом виключення Гаусса до розрахункового виду, який реалізується на ЕОМ. <i>Література:</i> (1), стор. 97–105, 122–124</p>
12.	<p>Тема 2.4 Моделювання температурного режиму термічно–небезпечних деталей технічних пристроїв Лекція 12. Фізична постановка і тепла схема задачі. Математична модель 2-во мірного температурного поля термічно-небезпечної деталі (ТНД) та метод її розщеплення за локально-одномірною схемою. <i>Література:</i> (1), стор. 125–129 СРС: підготовка до МКР, частина I Конспект лекцій</p>
13.	<p>Лекція 13. Модульна контрольна робота. Частина I Лекція 13. (продовження) Сутність методу розщиплення 2-во мірного нестационарного ДР теплопровідності на одномірні ДР по напрямках діючих осей координат. <i>Література:</i> (1), стор. 129–132</p>
14.	<p>Лекція 14. Побудова математичної моделі 2-во мірного температурного поля ТНД з граничними умовами II-го роду, визначеними у розв'язку задачі температурного режиму ТП в зосереджених</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	параметрах. Розщеплення математичної моделі температурного поля ТНД за локально-одномірною схемою. <i>Література:</i> (1), стор. 132–136 СРС: Аналіз математичної моделі температурного поля ТНД за принципом суперпозиції одномірного температурного поля у напрямку осі ОХ.
15.	Лекція 15. Розрахункова схема математичної моделі температурного поля ТНД у напрямку осі ОХ (перша задача локально-одномірної схеми (ЛОС)). Розбивка області розв'язку задачі на смуги шириною Δi з адіабатними сторонами паралельними осі ОХ, та самих смуг на одномірну сітку з кроком Δx . Математична модель температурного поля смуги в напрямку осі ОХ. <i>Література:</i> (1), стор. 132–137 СРС: Складання розрахункової схеми – СЛАР 1-ої задачі ЛОС.
16.	Лекція 16. Визначення теплових балансів і розрахункових рівнянь для граничних елементів $i = 1$ смуги у j . Визначення теплових балансів і розрахункових рівнянь для внутрішніх елементів смуги у j . <i>Література:</i> (1), стор. 137–142 СРС: Апроксимація похідних в рівняннях теплових балансів.
17.	Лекція 17. Визначення теплових балансів і розрахункових рівнянь для граничних елементів смуги у j . Розрахункова схема математичної моделі 1–ої задачі локально–одномірної схеми (розрахункова схема РС–1). <i>Література:</i> (1), стор. 142–147 СРС: Вибір методу розв'язання розрахункової схеми РС–1 (4), стор. 28–29
18.	Лекція 18. Розв'язання 1–ої задачі локально–одномірної схеми методом «прогонки». Аналіз ходу розв'язку отриманої РС <i>Література:</i> (1), стор. 147–150 СРС: Розрахункова схема за методом «прогонки».
19.	Лекція 19. Постановка 2–ої задачі локально–одномірної схеми. <i>Література:</i> (1), стор. 129–136, 150–151 СРС: Аналіз матриць канонічних коефіцієнтів та обґрунтування вибору методу прогонки для розв'язку канонічних СЛАР 1-ї та 2-ї задач ЛОС.
20.	Лекція 20. Математична модель і хід розв'язання 2–ої задачі локально–одномірної схеми. <i>Література:</i> (1), стор. 151–154
21.	Лекція 21. Аналіз отриманого температурного поля у перерізі деталі. <i>Література:</i> (4), стор. 154–156 СРС: Підготовка до МКР, частина II. Конспект лекцій
22.	Лекція 22. Модульна контрольна робота. Частина II Лекція 22. (продовження) Висновки по курсу. Обговорення рейтингових балів.
23.	ЗАЛІК

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
РОЗДІЛ 2 Математичне моделювання температурного режиму системи тіл і суцільних середовищ	
1.	Тема 2.1. Аналіз задачі дослідження. Вибір методу моделювання Побудова фізичної моделі технічного пристрою. Побудова теплової схеми (ТС) технічного пристрою. Складання теплових балансів теплової схеми. Запис теплових балансів через теплові провідності та середні температури твердих тіл і потоків середовищ. <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Побудова фізичної моделі, теплової схеми, складання теплових балансів для технічного пристрою згідно завдання до розрахункової роботи (див. п.6).

2.	Визначення теплових потоків, які витрачаються на зміну внутрішньої енергії тіл (акумуляоване тепло) та ентальпії проточних середовищ. Розрахунок теплових провідностей між твердими тілами різної форми, тілами і середовищами. Визначення теплових провідностей між твердими тілами, та між твердими тілами та середовищами у загальному вигляді. Вибір місця знаходження точки зосередження параметрів тіла теплової схеми. <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Визначення теплових провідностей і теплових потоків теплової схеми технічного пристрою згідно завдання до розрахункової роботи.
3.	Тема 2.2 Математична модель температурного режиму системи тіл і середовищ за методом у зосереджених параметрах Математична модель (ММ) температурного режиму теплової схеми. Вираження теплових балансів ТС через їх середні температури, теплові провідності і повні теплоємності. Математична модель, як система диференціальних рівнянь (ДР) 1-го порядку, які відображають теплові баланси ТС. Вибір методу і способу розв'язку математичної моделі <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Побудова і аналіз математичної моделі на основі теплової схеми технічного пристрою згідно завдання до розрахункової роботи.
4.	Виконання розв'язку математичної моделі технічного пристрою за методом Рунге–Кутта (за допомогою програмного продукту MathCad). Побудова залежностей температури елементів теплової схеми від часу. Аналіз отриманих результатів. <i>Література:</i> Конспект лекцій СРС: Виконання розрахунків, аналіз результатів, оформлення розрахункової роботи.
5.	ЗАХИСТ розрахункової роботи

6. Самостійна робота студента

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено виконання певних теоретичних завдань СРС (видається після лекцій, представлено у п.5) та у якості індивідуального завдання передбачається виконання розрахункової роботи по матеріалам практичних занять. Обсяг часу, який відводиться на виконання індивідуального завдання: 15 годин самостійної роботи.

Тема розрахункової роботи
Дослідження нестационарного температурного режиму технічного пристрою методом математичного моделювання у зосереджених параметрах

Завдання для виконання розрахункової роботи (тип технічного пристрою і його параметри) видаються викладачем на початку семестру.

№ з/п	Варіанти для виконання розрахункової роботи (технічний пристрій)
1.	Блок потужних напівпровідникових приладів.
2.	Кристалічний лазер.
3.	Плазмотрон.
4.	Кріостат з підсилювачем

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- готовність відповідей при опитуванні;
- активність, підготовка коротких доповідей чи текстів, відключення мобільних телефонів; відповідно до завдання викладача використання засобів зв'язку для пошуку інформації в Інтернеті;
- заохочувальні бали надаються у відповідності до «системи оцінювання результатів навчання», штрафні бали є засобом протидії плагіату та несвоєчасному виконанню завдань;
- політика дедлайнів та перескладань полягає у виконанні поточних модульних робіт, завдань практичних занять і СРС до початку сесії;
- політика щодо академічної доброчесності відповідає загальним положенням, прийнятим у «КПІ ім. Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>);
- політика навчальної дисципліни спрямована на розвиток індивідуальних здібностей в напрямку набуття компетентностей щодо створення та модернізації сучасних енергетичних систем, унікального

обладнання в енергетичній галузі, а також в напрямку розширення сфер застосування отриманих знань, умінь і досвіду;

- за бажанням студентів, допускається вивчення матеріалу за допомогою онлайн-курсів за тематикою, яка відповідає тематиці конкретних занять.

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

Види контролю знань студента з дисципліни:

- відповіді на лекційних та практичних заняттях;
- виконання та захист розрахункової роботи;
- виконання МКР (дві частини);
- календарний контроль (проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог PCO);
- відповідь на заліку.

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

- 1) чотири відповіді в середньому кожного студента на лекційних і практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 2 студенти; при середній чисельності групи 10 осіб, двадцять дві лекції: $2 \cdot 22 / 10 \approx 4$ відповіді);
- 2) виконання завдань СРС;
- 3) виконання і захист розрахункової роботи;
- 4) виконання однієї МКР;
- 5) відповідь на заліку при виконанні умов допуску і бажанні студента підвищити оцінку.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на заняттях

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_1 = 5 \text{ балів} \times 4 = 20 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

5 балів — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **4 бали** — відповідь має несуттєві помилки; **3 бали** — неповна відповідь; **2 бали** — наявність несуттєвих помилок в неповній відповіді, **1 бал** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді, **0 балів** — відсутність відповіді.

2. Виконання СРС

Лекційні заняття

Ваговий бал — 1. Максимальна кількість балів студента за десять завдань (завдання СРС видаються після лекції, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_2 = 1 \text{ бал} \times 20 = 20 \text{ балів}$. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

1 бал — у повному об'ємі і вчасно надане завдання; **0 балів** — не вчасно надане завдання.

Штрафні бали:

- несвоєчасне представлення виконаного завдання СРС без поважної причини (хвороба) — **1 бал**.

3. Виконання і захист розрахункової роботи

Максимальна кількість балів за виконання розрахункової роботи 25 балів і за захист 5 балів, тобто сумарна кількість балів дорівнює $r_3 = 40$. Завдання для виконання розрахункової роботи видається студенту на початку семестру, строк захисту – останнє практичне заняття. Оформлення звіту з виконання розрахункової роботи згідно вимогам ДСТУ 8302:2015. Захист розрахункової роботи на останньому практичному занятті. Виконання завдань і захист розрахункової роботи обов'язкове.

Критерії оцінювання (виконання розрахункової роботи):

35 балів — повне виконання завдання, відповідність вимогам щодо оформлення; **28...34 бали** — повне виконання завдання, незначна невідповідність вимогам щодо оформлення; **21...27 балів** — виконання завдання з деякими незначними неточностями, відповідність вимогам щодо оформлення; **10...20 балів** — виконання завдання з деякими неточностями, незначна невідповідність вимогам щодо оформлення; **0...9 балів** — виконання завдання з грубими помилками, невідповідність вимогам щодо оформлення – робота не зарахована, потребує доопрацювання.

Критерії оцінювання (захист розрахункової роботи):

5 балів — повна вірна відповідь на поставлені запитання за темою розрахункової роботи; **4 бали** — відповідь має несуттєві похибки; **3 бали** — неповна відповідь; **2 бали** — наявність несуттєвих помилок в неповній відповіді, **0...1 бали** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, захист не зараховано

Штрафні бали:

- несвоєчасне представлення та/або захист розрахункової роботи без поважної причини (хвороба) — **1 бал.**

Заохочувальні бали

- участь у наукових та/або науково-практичних конференціях, семінарах, симпозиумах — **5 балів** (при умові виконання завдань розрахункової роботи).

4. Модульна контрольна робота (МКР)

Проводиться дві частини МКР. Ваговий бал кожної частини — 10. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_4=2 \times 10 = 20$ балів.

Критерії оцінювання:

10 балів — повна вірна відповідь на завдання; **8..9 бали** — відповідь має несуттєві помилки; **5..7 бали** — неповна відповідь; **3..4 бали** — неповна відповідь з несуттєвими недоліками; **0...2 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, МКР не зараховано.

5. Залік

Залік проводиться у письмово–усній формі. Залікова робота складається з двох теоретичних питань (по 10 балів) і одного практичного завдання (20 балів). Тобто, максимальна кількість балів за виконану залікову роботу: **10+10+20 = 40 балів.**

Критерії оцінювання:

Кожне питання залікової роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

- правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) — **10 (19...20) балів;**
- достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) — **8...9 (14...18) балів;**
- неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) — **4...7 (11...13) балів;**
- незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) — менше **3 (10) балів.**

Штрафні бали:

- додаткове питання з тем лекційного курсу та практичних занять 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:

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

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

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_C = 20+20+40+20 = 100$ балів.

Необхідною умовою допуску до заліку є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, захист розрахункової роботи та стартовий рейтинг не менше $0,25 \times R_C = 25$ балів.

Якщо в продовж семестру студент отримав більше 60 балів, він має право отримати оцінку «автоматом» згідно таблиці відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою (див. нижче). Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 25 балів або не виконали умов допуску на залік, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до заліку з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Залікова складова R_3 шкали складає: **$R_3 = 40$.**

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі заліку за рейтинговою шкалою з дисципліни (у рейтингових балах не враховуються бали за відповіді на заняттях і виконання завдань МКР) складає:

$$R_D = R_C + R_3 = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

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

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають право і можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (детальніше: https://osvita.kpi.ua/2020_7-170, https://document.kpi.ua/files/2020_7-170.pdf).

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>).

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

1. Дистанційне навчання:

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі Zoom).

2. Навчання в умовах правового режиму воєнного стану:

- передбачає проведення усіх видів занять дистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;
- кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);
- у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

3. Для студентів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 20 балів):

- сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;
- сертифікатів, які підтверджують участь у науково-практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;
- публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни.

Додаток 1

Список теоретичних питань до модульної контрольної роботи ЧАСТИНА I

Перша частина МКР складається з двох теоретичних питань та одного практичного завдання.
Теоретичні питання.

1. Математичне моделювання як обчислювальний експеримент. Метод поетапного моделювання.
2. Визначення теплової провідності для тіл з лінійною залежністю площі поперечного перерізу.
3. Визначення теплового потоку, що йде на зміну внутрішньої енергії твердого тіла.
4. Визначення теплового потоку, який сприймається елементарним об'ємом рухомого середовища.
5. Визначення теплового потоку, який сприймається об'ємом рухомого середовища.
6. Коефіцієнт нерівномірності температурного поля потоку рухомого середовища. Його визначення.
7. Вибір розташування точок зосередження параметрів в тілах.
8. Визначення теплових провідностей для двох контактуючих тіл з постійними, але різними за величиною площами поперечного перерізу.
9. Визначення теплових провідностей для двох коаксіальних циліндрів, що знаходяться в тепловому контакті.
10. Визначення теплових провідностей між тілом і середовищем, що омиває його.
11. Апроксимація похідної оператором з запізненням.
12. Апроксимація похідної оператором з випередженням.
13. Апроксимація похідної "центральною" оператором.

Практичне завдання: для вузла технічного пристрою, що складається з деталей і середовищ (схема технічного пристрою задана) побудувати теплову схему і записати рівняння теплових балансів, які виражені через теплові провідності та різниці температур точок зосередження параметрів.

ЧАСТИНА II

Друга частина МКР складається з двох теоретичних питань.

1. Основні розрахункові формули для вирішення по явній схемі метода Ейлера. Хід рішення.
2. Отримання основної розрахункової формули для вирішення по неявній схемі Ейлера. Приведення РС-1 до матричного виду.
3. Сутність методу розщеплення ДУ теплопровідності при вирішенні задач температурного поля (графічне рішення).
4. Побудова сітки дискретизації області рішення задачі чисельного визначення двомірного температурного поля перетину деталі. Постановка I задачі ЛОС і складання математичної моделі температурного поля в перерізі деталі.
5. Отримання розрахункового рівняння для граничного елемента $i = 1$ полоси $y = j$ області рішення задачі температурного поля перетину деталі
6. Отримання розрахункового рівняння для внутрішніх елементів полоси $y = j$ області рішення задачі температурного поля перетину деталі
7. Отримання розрахункового рівняння для граничного елемента $i = N_i$ полоси $y = j$ області рішення задачі температурного поля перетину деталі
8. Приведення розрахунково-різницевої схеми першого завдання ЛОС до матричного виду.
9. Складання розрахункової схеми методу прогонки для рішення першої задачі ЛОС.
10. Постановка II задачі ЛОС та її математична модель. Аналіз рішення по методу ЛОС. Визначення ГУ для ММ третього рівня.

Додаток 2

Список теоретичних питань до залікової роботи

1. Математичне моделювання як обчислювальний експеримент. Метод поетапного моделювання. Сутність методу у зосереджених параметрах. Теплова схема.
2. Поняття теплової провідності. Визначення теплової провідності для тіл з лінійною залежністю площі поперечного перерізу.
3. Поняття теплової провідності. Визначення теплового потоку, що йде на зміну внутрішньої енергії твердого тіла.
4. Поняття теплової провідності. Визначення теплового потоку, який сприймається елементарним об'ємом рухомого середовища.
5. Поняття теплової провідності. Визначення теплового потоку, який сприймається об'ємом рухомого середовища.
6. Коефіцієнт нерівномірності температурного поля потоку рухомого середовища. Його визначення.
7. Поняття теплової провідності. Вибір розташування точок зосередження параметрів в тілах.
8. Поняття теплової провідності. Визначення теплових провідностей для двох контактуючих тіл з постійними, але різними за величиною площами поперечного перерізу.
9. Поняття теплової провідності. Визначення теплових провідностей для двох коаксіальних циліндрів, що знаходяться в тепловому контакті.
10. Поняття теплової провідності. Визначення теплових провідностей між тілом і середовищем, що омиває його.
11. Апроксимація похідної оператором з запізненням.
12. Апроксимація похідної оператором з випередженням.
13. Апроксимація похідної "центральною" оператором.
14. Основні розрахункові формули для розв'язання по явній і неявній схемам методів Ейлера. Сутність ходу розв'язання по даним методам.
15. Отримання основної розрахункової формули для розв'язання по неявній схемі Ейлера. Приведення РС-1 до матричного виду.
16. Сутність методу розщеплення ДУ теплопровідності при вирішенні задач температурного поля (графічне розв'язання). Принципи побудови сітки дискретизації області розв'язання задачі чисельного визначення двомірного температурного поля перетину деталі.
17. Постановка I задачі ЛОС і складання математичної моделі температурного поля в перерізі деталі.
18. Отримання розрахункового рівняння для граничного елемента $i = 1$ полоси $y = j$ області розв'язання задачі температурного поля перетину деталі

19. Отримання розрахункового рівняння для внутрішніх елементів полоси $y = j$ області розв'язання задачі температурного поля перетину деталі
20. Отримання розрахункового рівняння для граничного елемента $i = N_i$ полоси $y = j$ області розв'язання задачі температурного поля перетину деталі
21. Математична модель температурного режиму вузла технічного пристрою у виді теплових балансів. Отримання розрахункової схеми у канонічному виді для розв'язання першої задачі ЛОС. Вибір методу розв'язання РС-2. Отримання розрахункової схеми методу прогонки для розв'язання першої задачі ЛОС. Аналіз ходу розв'язання РС-3.
22. Постановка II задачі ЛОС та її математична модель. Аналіз розв'язання по методу ЛОС. Визначення ГУ для ММ третього рівня.

Практичне завдання: для вузла технічного пристрою, що складається з деталей і середовищ (схема технічного пристрою надається) побудувати теплову схему і записати рівняння теплових балансів, які виражені через теплові провідності та різниці температур точок зосередження параметрів.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено *к.т.н., доценткою, Лебедь Наталією Леонідівною*

Ухвалено: кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 15/а від 30.06. 2022 р.)

Погоджено: Методичною комісією ТЕФ (протокол № 9 від 30.06. 2022 р.)