



Теорія теплообміну

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>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, весняний семестр</i>
Об'єм дисципліни	<i>9 кредитів ЄКТС (270 годин), 72 години лекцій, 45 годин практичні заняття, 9 годин лабораторні заняття, 144 годин самостійної роботи</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен/ розрахункова робота, модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	http://roz.kpi.ua/
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н, Воробйов Микита Валерійович, vorobiov.nikv@gmail.com</i> Практичні заняття: <i>к.т.н, Лебедь Наталія Леонідівна, nata.lebeddom@gmail.com</i> Лабораторні роботи: <i>к.т.н, Воробйов Микита Валерійович, vorobiov.nikv@gmail.com</i>
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua , https://do.ipk.kpi.ua/ , Посилання на дистанційний ресурс: https://www.youtube.com/channel/UCfXYSpl_ZnE2pN5y6ioZyfg/videos

Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни *процеси теплообміну в енергетичному обладнанні*

Навчальна дисципліна є базовою у підготовці фахівців теплотехнічних спеціальностей. В результаті засвоєння матеріалу дисципліни студенти повинні оволодіти не тільки теорією теплообміну, але і методами розрахунку та дослідження основних процесів теплообміну (процесів теплопровідності та конвективного теплообміну), набути умінь і досвід самостійно і творче використовувати методи і методики розрахунку процесів теплопередачі,

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

Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності	ЗК 4
Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій	ЗК 7
Здатність продемонструвати систематичне розуміння ключових аспектів та концепції розвитку галузі енергетичного машинобудування	ФК 1
Здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням методів електричної інженерії	ФК 2
Здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при проектуванні деталей і вузлів енергетичного і технологічного обладнання	ФК 4
Здатність розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання	ФК 5
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 10
Здатність виконувати роботи з розрахунку й проектування об'єктів і систем у області енергомашинобудування відповідно до технічних завдань з використанням сучасних CAD/CAM/CAE систем	ФК 14

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

Знання і розуміння математики та тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, конструкційних матеріалів, систем автоматизованого проектування енергетичних машин на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми	ПРН 1
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 4
Розробляти і проектувати вироби в галузі енергетичного машинобудування, процеси і системи, що задовольняють встановленим вимогам, які можуть включати обізнаність про нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) аспекти; обрання і застосовування адекватної методології проектування	ПРН 6
Використовувати розуміння передових досягнень при проектуванні об'єктів енергетичного машинобудування, застосувати сучасні комерційні та авторські програмні продукти	ПРН 7
Використовувати навички та вміння планувати і виконувати експериментальні дослідження за допомогою інструментальних засобів (вимірювальних приладів), оцінювати похибки проведення досліджень, робити висновки	ПРН 10
Аналізувати розвиток науки і техніки	ПРН 21
Класифікувати теплообмінне обладнання за різними ознаками і відповідно до заданих умов роботи теплообмінного обладнання, вибирати паливо і теплоносії, використовувати стандартні методики для виконання конструкторських і повіркових розрахунків тепло- і парогенеруючих установок і теплоенергетичного обладнання	ПРН 22
Визначати та аналізувати теплогідравлічні та аеродинамічні характеристики роботи енергетичного і технологічного обладнання в умовах зміни режимних та експлуатаційних параметрів	ПРН 23
Розуміти принципи технологічних процесів виробництва, які мають негативний вплив на довкілля та застосовувати заходи, щодо зменшення цього впливу	ПРН 24

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

Пререквізити: Спеціальні розділи вищої математики, Гідрогазодинаміка, Технічна термодинаміка, Основи електротехніки та електроніки.

Постреквізити: Теплообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні, Парові і водогрійні котли.

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. Теплопровідність

Тема 1.1. Теплопровідність та тепlopередача при стаціонарному тепловому режимі

Тема 1.2. Конструктивні способи зміни інтенсивності тепlopередачі

Тема 1.3. Теплопровідність при нестационарному тепловому режимі

РОЗДІЛ 2. Конвективний теплообмін

Тема 2.1. Фізичні основи процесу тепlopередачі

Тема 2.2. Основи теорії подібності фізичних явищ

Тема 2.3. Основи теорії пограничного шару

Тема 2.4. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні тіл

Тема 2.5. Тепловіддача при примусовій течії рідини в трубах і каналах

Тема 2.6. Тепловіддача при вільній конвекції

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. Константінов С.М. Теплообмін: Підручник. - К.: ВПІ ВПК "Політехніка": Інрес, 2005. - 304 с. http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2015/Konstantinov_2005_304.pdf
2. Кулінченко В.Р., Шевченко О.Ю. Тепlopередача з елементами масообміну (теорія і практика процесу). Підручник. – К.: Фенікс, 2014.- 920 с.

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

3. Исаченко В.П. Тепlopередача/ В.П.Исаченко, В.А.Осипова, Л.С.Сукомел – М: Энергия – 1975 – 483с.
4. Михеев М.А. Основы тепlopередачи/ М.А.Михеев, И.Н.Михеева – М: Энергия – 1977 – 325с.

5. Краснощеков Е.А. Задачник по теплопередаче/ Е.А.Краснощеков, А.С.Сукомел– М: Энергия – 1980 – 288с.
6. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков Б.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам. М.; Энергоиздат, 1990. – 360 с.
7. ПетуховБ.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. М: Атомиздат, 1974 г. – 408 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

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

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	<p>ВСТУП <u>Лекція 1.</u> Предмет та задачі курсу. Теорія теплообміну і її місце в загальній системі наук. Явища теплообміну в енергетиці. Стислі відомості з історії науки про теплообмін. Огляд методів дослідження теплообміну. Основні поняття та визначення. Системи виміру теплових величин. [1], [2] СРС: Прості та складні способи переносу теплоти в просторі: теплопровідність, конвекція, радіаційний теплообмін, тепловіддача, теплопередача, радіаційно-конвективний теплообмін.</p>
РОЗДІЛ 1. Теплопровідність	
Тема 1.1. Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі	
2.	<p><u>Лекція 2.</u> Закон Фур'є і коефіцієнт теплопровідності. Поняття теплопровідності. Температурне поле. Температурний градієнт. Закон Фур'є і коефіцієнт теплопровідності. [1], [2] СРС: Вектор щільності теплового потоку.</p>
3.	<p><u>Лекція 3</u> Диференційне рівняння теплопровідності і його частинні випадки. Отримання диференційного рівняння теплопровідності. Частинні випадки диференційного рівняння теплопровідності. Математичне описання процесу теплопровідності. Закон Ньютона-Ріхмана. Коефіцієнт тепловіддачі. [1], [2] СРС: Конкретні задачі теплопровідності.</p>
4.	<p><u>Лекція 4</u> Теплопровідність плоскої стінки Контактний термічний опір. Методи боротьби з контактним опором. Теплопровідність багатозарової плоскої стінки. Теплопровідність одношарової циліндричної стінки при граничних умовах I роду. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: теплопровідність багатозарової плоскої стінки; теплопровідність одношарової циліндричної стінки при граничних умовах I роду. [1], [2] СРС: Теплопровідність багатозарової циліндричної стінки при граничних умовах I роду.</p>
5.	<p><u>Лекція 5</u> Теплопередача через плоску стінку. Коефіцієнт теплопередачі. Рівняння теплопередачі. Теплопередача через багатозарову плоску стінку. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: теплопередача через багатозарову плоску стінку при граничних умовах III роду. [1], [2] СРС: Теплопровідність циліндричної оболонки при граничних умовах I роду.</p>
6.	<p><u>Лекція 6</u> Теплопередача через циліндричну стінку. Теплопередача через одношарову циліндричну стінку. Лінійний коефіцієнт теплопередачі. Лінійний термічний опір теплопередачі. Теплопередача через багатозарову циліндричну стінку.</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	Лекція супроводжується показом слайдів по темі: теплопередача через багат шарову циліндричну стінку при граничних умовах III роду. [1], [2] СРС: Теплопровідність сферичної стінки при граничних умовах I роду.
7.	<u>Лекція 7</u> Теплопровідність при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. Теплопровідність пластини при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: теплопровідність пластини при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. [1], [2] СРС: Температурне поле пластини при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти.
8.	<u>Лекція 8</u> Теплопровідність при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. Теплопровідність циліндра при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: теплопровідність циліндра при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. [1], [2] СРС: Температурне поле циліндра при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти.
Тема 1.2. Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі.	
9.	<u>Лекція 9</u> Способи зміни інтенсивності теплопередачі. Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі. Плоска стінка. Критичний діаметр циліндричної стінки. Вибір матеріалу ізоляції. Шляхи інтенсифікації теплопередачі. Термічний опір теплопередачі. Можливості зниження термічного опору теплопередачі. [1], [2] СРС: Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі. Плоска стінка.
10.	<u>Лекція 10</u> Інтенсифікація теплообміну за рахунок оребрення. Диференційне рівняння теплопровідності прямого ребра довільного профілю. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі. Показ макетів типів оребрення. [1], [2] СРС: Типи оребрення. Пряме ребро прямокутного профілю.
11.	<u>Лекція 11</u> Теплопровідність прямого ребра прямокутного профілю. Коефіцієнт ефективності ребра. [1] СРС: Число Біо.
12.	<u>Лекція 12</u> Диференційне рівняння теплопровідності прямого ребра довільного профілю. [1] СРС: Ребриста плоска стінка.
13.	<u>Лекція 13</u> Теплопередача через ребристу плоску стінку. Умови вигідності оребрення. Теплопровідність кільцевого або шайбового ребра постійної товщини. [1] СРС: Метод приблизного розрахунку коефіцієнта ефективності ребра круглого профілю.
Тема 1.3. Теплопровідність при нестационарному тепловому режимі	
14.	<u>Лекція 14</u> Нестационарна теплопровідність пластини. Фізичні основи процесу нестационарної теплопровідності. Нестационарна теплопровідність пласти-

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	ни без внутрішніх джерел тепла. [1], [2]
15.	<p><u>Лекція 15</u> Диференційне рівняння, яке описує температурне поле при нестационарній теплопровідності пластини без внутрішніх джерел тепла. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: температурне поле при нестационарній теплопровідності пластини без внутрішніх джерел тепла. [1], [2] СРС: Аналіз рішення диференційного рівняння, яке описує температурне поле при нестационарній теплопровідності пластини без внутрішніх джерел тепла.</p>
РОЗДІЛ 2. Конвективний теплообмін	
Тема 2.1. Фізичні основи процесу теплопередачі	
16.	<p><u>Лекція 16</u> Фізичні основи процесу теплопередачі. Конвективний теплообмін. Закон Ньютона і коефіцієнт тепловіддачі. Поняття про пограничний шар. [1], [2] СРС: Ламінарна та турбулентна течія.</p>
17.	<p><u>Лекція 17</u> Фізичні основи процесу теплопередачі. Поняття про пограничний шар. Ламінарна та турбулентна течія. Механізм переносу теплоти від газу до стінки при ламінарній та турбулентній течії. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: поняття про пограничний шар; ламінарна та турбулентна течія. [1], [2] СРС: Вплив різноманітних факторів на величину коефіцієнта тепловіддачі.</p>
18.	<p><u>Лекція 18</u> Математичне описання процесів конвективного теплообміну. Диференційне рівняння енергії. Диференційні рівняння руху. [1], [2] СРС: Умови однозначності при описанні процесів конвективного теплообміну (теплові).</p>
19.	<p><u>Лекція 19</u> Математичне описання процесів конвективного теплообміну. Диференційні рівняння руху. Рівняння нерозривності. Рівняння руху та енергії для турбулентного режиму течії рідини. [1], [2] СРС: Умови однозначності при описанні процесів конвективного теплообміну (гідродинамічні). Способи отримання розрахункових формул для визначення коефіцієнта тепловіддачі.</p>
Тема 2.2. Основи теорії подібності фізичних явищ	
20.	<p><u>Лекція 20</u> Основні поняття та визначення теорії подібності. Фізична основа теорії подібності. Інваріант подібності. Однойменні величини. Константи подібності. Теореми подібності. [1], [2] СРС: Аналогічні явища. Властивість констант подібності.</p>
21.	<p><u>Лекція 21</u> Перша теорема подібності. Друга теорема подібності. Третя теорема подібності Фізичний зміст чисел подібності. Число Нусельда. Число Пекле. Число Грасгофа. Число Ейлера. Число Прандтля. Число Стентона. [1], [2] СРС: Використання теорії подібності до явища тепловіддачі. Рівняння подібності.</p>
Тема 2.3. Основи теорії пограничного шару	

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
22.	<p><u>Лекція 22</u></p> <p>Вступ в теорію пограничного шару. Визначення та терміни теорії пограничного шару. Диференційні рівняння, що описують рас поділ теплоти у потоці рідини. Диференційні рівняння пограничного шару. Диференційні рівняння динамічного пограничного шару. [1], [2] СРС: Методи теорії пограничного шару. Оцінка порядку членів, що входять до рівняння.</p>
23.	<p><u>Лекція 23</u></p> <p>Диференційні рівняння пограничного шару. Рішення диференційних рівнянь динамічного пограничного шару. [1], [2] СРС: Аналіз рішення диференційних рівнянь динамічного пограничного шару.</p>
24.	<p><u>Лекція 24</u></p> <p>Диференційні рівняння пограничного шару. Диференційні рівняння теплового пограничного шару. Рішення диференційних рівнянь теплового пограничного шару. Аналіз отриманого рішення. [1] СРС: Оцінка порядку членів, що входять до рівняння.</p>
Тема 2.4. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні тіл.	
25.	<p><u>Лекція 25</u></p> <p>Тепловіддача при течії на пластині. Вплив “зовнішньої” турбулентності, неізотермічності, поздовжнього градієнту тиску на пластині на перехід ламінарної течії у турбулентне. Тепловіддача пластини при ламінарній течії потоку. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: тепловіддача при течії на пластині. [1], [2] СРС: Перехід ламінарної течії у турбулентну на пластині. Методика визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі на пластині при ламінарній течії потоку.</p>
26.	<p><u>Лекція 26</u></p> <p>Тепловіддача при течії на пластині. Тепловіддача пластини при турбулентній течії потоку. Визначення середнього коефіцієнту тепловіддачі на пластині при турбулентній течії теплоносія. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: тепловіддача при течії на пластині. [1], [2] СРС: Методика визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі на пластині при турбулентній течії теплоносія.</p>
27.	<p><u>Лекція 27</u></p> <p>Тепловіддача при зовнішньому обтіканні тіл різноманітної форми. Тепловіддача при поперечному обтіканні циліндру ламінарним потоком. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: тепловіддача при поперечному обтіканні циліндру. [1], [2] СРС: Методика визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі при поперечному обтіканні циліндру ламінарним потоком.</p>
28.	<p><u>Лекція 28</u></p> <p>Тепловіддача при зовнішньому обтіканні тіл різноманітної форми. Тепловіддача при поперечному обтіканні циліндру турбулентним потоком. Вплив на інтенсивність тепловіддачі кута атаки. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні тіл різноманітної форми. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні пучків гладких труб. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: тепловіддача при поперечному обтіканні циліндру. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні пучків гладких труб. [1], [2] СРС: Методика визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі при поперечному обтіканні циліндру турбулентним потоком. Вплив на інтенсивність тепловіддачі при зовнішньому обтіканні пучків гладких труб кута атаки.</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Тема 2.5. Тепловіддача при примусовій течії рідини в трубах і каналах	
29.	<p><u>Лекція 29</u> Особливості течії та теплообміну в трубах. Особливості течії рідини з постійними фізичними властивостями. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: течія та теплообмін в трубах. [1], [2]</p>
30.	<p><u>Лекція 30</u> Особливості течії та теплообміну в трубах. Особливості течії рідини з постійними фізичними властивостями. Особливості теплообміну. Теплообмін при різних режимах течії рідини в трубах. В'язкісно-гравітаційний режим течії рідини в трубах. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: течія та теплообмін в трубах. [1], [2] СРС: Особливості ламінарної неізотермічної течії. Особливості течії при в'язкісно-гравітаційному режимі руху рідини в трубах.</p>
31.	<p><u>Лекція 31</u> Теплообмін при різних режимах течії рідини в трубах. В'язкістний режим течії рідини в трубах. Тепловіддача при ламінарному режимі течії рідини в трубах. Тепловіддача при турбулентному режимі течії рідини в трубах. [1], СРС: Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі при ламінарному режимі течії рідини в трубах. Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі при турбулентному режимі течії рідини в трубах.</p>
32.	<p><u>Лекція 32</u> Тепловіддача при перехідному режимі течії рідини в трубах. Тепловіддача при течії рідини в трубах некруглого поперечного розрізу. [1], СРС: Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі в трубах некруглого поперечного розрізу.</p>
Тема 2.6. Тепловіддача при вільній конвекції	
33.	<p><u>Лекція 33</u> Тепловіддача при вільній конвекції в необмеженому просторі. Фізичні основи тепловіддачі при вільній конвекції. Тепловіддача вертикальної поверхні. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: тепловіддача при вільній конвекції. [1] СРС: Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі на вертикальній поверхні. Тепловіддача при вільній конвекції в необмеженому просторі. Тепловіддача при вільній конвекції біля горизонтальної труби.</p>
34.	<p><u>Лекція 34</u> Тепловіддача при вільній конвекції біля горизонтальної плоскої поверхні. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: тепловіддача при вільній конвекції. Тепловіддача при вільній конвекції в необмеженому просторі. Наближений метод розрахунку тепловіддачі при вільній конвекції в обмеженому просторі. [1] СРС: Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі біля горизонтальної плоскої поверхні. Рівняння подібності для визначення середнього коефіцієнту тепловіддачі при вільній конвекції в обмеженому просторі.</p>
35.	<p><u>Лекція 35</u> Тепловіддача при вільній конвекції в обмеженому просторі. Фізичні основи тепловіддачі при вільній конвекції в обмеженому просторі. Наближений метод розрахунку тепловіддачі при вільній конвекції в необмеженому просторі. Лекція супроводжується показом слайдів по темі: тепловіддача при вільній конвекції. [1] СРС: Рівняння подібності для визначення середнього коефіцієнту тепловіддачі.</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
36.	<u>Лекція 36</u> Тепловіддача при вільній конвекції в горизонтальних щілинах. Тепловіддача при вільній конвекції в вертикальних щілинах. Еквівалентний процес теплопровідності. Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності. [1] СРС: Тепловіддача при вільній конвекції у незамкненому зазорі.

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
РОЗДІЛ 1. Теплопровідність	
Тема 1.1. Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі	
1.	<u>Практичне заняття 1.</u> Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі одношарової плоскої стінки. [5], СРС: [5], № 1-8, 1-9, 1-10
2.	<u>Практичне заняття 2.</u> Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі багатшарової плоскої стінки. Термічний опір. [5], СРС: [5], 1-16, 1-19
3.	<u>Практичне заняття 3.</u> Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі циліндричної стінки. [3], СРС: [5], № 1-36, 1-38
4.	<u>Практичне заняття 4.</u> Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі. Внутрішні джерела теплоти. [5], СРС: [5], № 1-55, 1-57, 1-60, 1-63
Тема 1.2. Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі	
5.	<u>Практичне заняття 5.</u> Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі. [5], СРС: [5], № 1-42, 1-47
6.	<u>Практичне заняття 6.</u> Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі. [5], СРС: [5], № 1-48
7.	<u>Практичне заняття 7.</u> Основи розрахунку конструктивних способів зміни інтенсивності теплопередачі в середовищі MathCAD
Тема 1.3. Теплопровідність при нестационарному тепловому режимі.	
8.	<u>Практичне заняття 8.</u> Теплопровідність при нестационарному тепловому режимі. Тіла нескінченної форми [5], СРС: [5], № 2-3, 2-8, 2-12, 2-14
9.	<u>Практичне заняття 9.</u> Теплопровідність при нестационарному тепловому режимі. Тіла кінцевих розмірів [5], Модульна контрольна робота. Частина I
РОЗДІЛ 2. Конвективний теплообмін	
Тема 2.1. Фізичні основи процесу теплопередачі	

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
Тема 2.2. Основи теорії подібності фізичних явищ	
10.	<u>Практичне заняття 10.</u> Обробка дослідних даних за допомогою методу теорії подібності. [5], СРС: [5], № 3-5,
11.	<u>Практичне заняття 11.</u> Обробка дослідних даних за допомогою методу теорії подібності. [5], СРС: [5], № 3-7, 3-11
Тема 2.4. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні тіл	
12.	<u>Практичне заняття 12.</u> Тепловіддача при обтіканні плоскої поверхні. [5], СРС: [5], № 4-3, 4-10
13.	<u>Практичне заняття 13.</u> Тепловіддача при обтіканні круглого циліндра. [5], СРС: [5], № 6-5, 6-10, 6-11
14.	<u>Практичне заняття 14.</u> Тепловіддача при обтіканні пучків труб. [5], СРС: [5], № 6-14, 6-24
Тема 2.5. Тепловіддача при примусовій течії рідини в трубах і каналах	
15.	<u>Практичне заняття 15.</u> Тепловіддача при течії рідини в трубах. Ламінарний режим течії [5], СРС: [5], № 5-8, 5-10
16.	<u>Практичне заняття 16.</u> Тепловіддача при течії рідини в трубах. Ламінарний режим течії [5], СРС: [5], 5-11
17.	<u>Практичне заняття 17.</u> Тепловіддача при течії рідини в трубах. Перехідний режим течії [5], СРС: [5], 5-21
18.	<u>Практичне заняття 18.</u> Тепловіддача при течії рідини в трубах. Турбулентний режим течії. Течія в каналах не круглого перерізу. Кільцеві канали [5], СРС: [5], 5-26
Тема 2.6. Тепловіддача при вільній конвекції	
19.	<u>Практичне заняття 19.</u> Тепловіддача при вільній конвекції. Вертикальна поверхня. Наближений метод розрахунку тепловіддачі. [5], СРС: [5], № 7-4.
20.	<u>Практичне заняття 20.</u> Тепловіддача при вільній конвекції. Горизонтальні поверхні. Наближений метод розрахунку тепловіддачі. [5], СРС: [5], №7-9, 7-12.
21.	<u>Практичне заняття 21.</u> Тепловіддача при вільній конвекції в обмеженому просторі. Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності.

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	[5], СРС: [5], № 7-15, 7-18.
22.	<u>Практичне заняття 22.</u> Захист РР Модульна контрольна робота. Частина II
23.	<u>Практичне заняття 23.</u> Заклучне заняття. Оголошення рейтингу, прийом заборгованостей. Допуск на екзамен.

Лабораторні роботи

№ з/п	Назва теми лабораторної роботи
1.	<u>Лабораторна робота 1.</u> Нестаціонарна теплопровідність металевого циліндра.
2.	<u>Лабораторна робота 2.</u> Обробка дослідних даних за допомогою методу теорії подібності для задачі вимушеної конвекції, отриманих методами імітаційного моделювання
3.	<u>Лабораторна робота 3.</u> <i>Обробка дослідних даних за допомогою методу теорії подібності для задачі природної конвекції, отриманих методами імітаційного моделювання</i>
4.	<u>Лабораторна робота 4.</u> <i>Розрахунок коефіцієнту тепловіддачі при течії на пластині в середовищі MathCAD</i>
5.	Захист звіту з виконання лабораторних робіт

6. Самостійна робота студента

Для опанування матеріалу дисципліни передбачено виконання завдань на самостійне опрацювання матеріалу по лекційній частині курсу і практичних завдань. Завдання видаються після кожної лекції і практичного заняття, строк задачі – не пізніше ніж через тиждень після видачі завдання.

Теми самостійної роботи до лекційних занять.

1. Прості та складні способи переносу теплоти в просторі: теплопровідність, конвекція, радіаційний теплообмін, тепловіддача, теплопередача, радіаційно-конвективний теплообмін. (2 год.)
2. Вектор щільності теплового потоку. (2 год.)
3. Конкретні задачі теплопровідності. (2 год.)
4. Теплопровідність багатощарової циліндричної стінки при граничних умовах I роду. Теплопровідність циліндричної оболонки при граничних умовах I роду. (3 год.)
5. Теплопровідність сферичної стінки при граничних умовах I роду. (3 год.)
6. Температурне поле пластини при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. (3 год.)
7. Температурне поле циліндра при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. (3 год.)
8. Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі. Плоска стінка. (2 год.)
9. Типи ребрення. Пряме ребро прямокутного профілю. Число Біо. Ребрита плоска стінка. (3 год.)
10. Метод приблизного розрахунку коефіцієнта ефективності ребра круглого профілю. (3 год.)
11. Аналіз рішення диференційного рівняння, яке описує температурне поле при нестаціонарній теплопровідності пластини без внутрішніх джерел тепла. (3 год.)
12. Аналіз рішення диференційного рівняння, яке описує температурне поле при нестаціонарній теплопровідності циліндру без внутрішніх джерел тепла. (3 год.)
13. Ламінарна та турбулентна течія. (32 год.)
14. Вплив різноманітних факторів на величину коефіцієнта тепловіддачі. (3 год.)
15. Умови однозначності при описанні процесів конвективного теплообміну. (3 год.)
16. Способи отримання розрахункових формул для визначення коефіцієнта тепловіддачі. (3 год.)
17. Аналогічні явища. Властивість констант подібності. Використання теорії подібності до явища тепловіддачі. Рівняння подібності. (3 год.)
18. Оцінка порядку членів, що входять до рівнянь руху. (3 год.)

19. Аналіз рішення диференційних рівнянь динамічного пограничного шару. (3 год.)
20. Оцінка порядку членів, що входять до рівняння енергії. (3 год.)
21. Перехід ламінарної течії у турбулентну на пластині. (3 год.)
22. Методика визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі на пластині при ламінарній течії потоку. (3 год.)
23. Методика визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі на пластині при турбулентній течії теплоносія. (2 год.)
24. Методика визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі при поперечному обтіканні циліндру ламінарним потоком. (2 год.)
25. Методика визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі при поперечному обтіканні циліндру турбулентним потоком. (3 год.)
26. Вплив на інтенсивність тепловіддачі при зовнішньому обтіканні пучків гладких труб кута атаки. (2 год.)
27. Особливості ламінарної неізотермічної течії. (3 год.)
28. Особливості течії при в'язкостно-гравітаційному режимі руху рідини в трубах. (3 год.)
29. Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі при ламінарному режимі течії рідини в трубах. (3 год.)
30. Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі при турбулентному режимі течії рідини в трубах. (3 год.)
31. Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі в трубах некруглого поперечного розрізу. (3 год.)
32. Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі на вертикальній поверхні. (3 год.)
33. Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі біля горизонтальної плоскої поверхні. (3 год.)
34. Рівняння подібності для визначення середнього коефіцієнту тепловіддачі при вільній конвекції в обмеженому просторі. (3 год.)
35. Тепловіддача при вільній конвекції у незамкненому зазорі. (3 год.)

Індивідуальне завдання

Згідно навчального плану в якості індивідуального завдання передбачено виконання розрахункової роботи, виконання якої оцінюється згідно рейтингу кредитного модуля.

Основна мета розрахункової роботи: закріплення та більш глибоке засвоєння навчального теоретичного матеріалу, викладеного у лекціях дисципліни, практичних заняттях та придбання студентами умінь та навичок розрахунку інтенсивності процесів теплообміну.

Розрахункова робота складається з 5 задач і відповідних теоретичних питань, на виконання яких передбачено 15 годин СРС.

На підготовку до екзамену передбачено 30 годин СРС.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- відвідування занять (лекцій, практичних та лабораторних);
- готовність відповідей при опитуванні, оперативне реагування на запити та питання викладача;
- дотримання правил поведінки на заняттях (активність, уникнення телефонних розмов під час аудиторних занять, зосередженість на матеріалі заняття, відключення телефонів, використання відповідних засобів для оперативного пошуку інформації);
- заохочувальні бали надаються у відповідності до «системи оцінювання результатів навчання», штрафні бали є засобом протидії плагіату та несвоєчасному виконанню завдань;
- розуміння та дотримання рейтингової системи оцінювання (PCO);
- 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. Ігоря Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>);
- політика навчальної дисципліни спрямована на розвиток індивідуальних здібностей в напрямку набуття компетентностей щодо використання методів і методик визначення інтенсивності тепловідда-

- чі, а також розширення сфер застосування отриманих знань, умінь і досвіду при дослідженні і проектуванні енергетичного обладнання;
- інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам університету.

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

Види контролю знань студента з дисципліни:

- поточний контроль: опитування за темами занять, виконання модульної контрольної роботи, виконання і захист розрахункової роботи та лабораторних робіт;
- календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог PCO;
- семестровий контроль: екзамен.

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за опитуваннями, виконання завдань СРС по лекційній частині, виконання і захист: звітів з виконання лабораторних робіт, розрахункової роботи, а також загальний семестровий рейтинг не менше 30 балів.

Таблиця складових рейтингу

	кількість	бали		сума балів
Практичні заняття	22	відповіді на занятті	5	5
Домашні завдання	16	виконання ДЗ	0,5	8
Лабораторні заняття	4	робота на занятті	1	12
		захист	2	
РР	5	виконання	2	10
		захист	1	5
МКР	1	2x10		20
Сума вагових балів контрольних заходів				60

Шкала балів за відповідні рівні оцінювання з кожного виду контролю.

1. Модульна контрольна робота (r_1):

Модульна контрольна робота виконується у дві частини, кожна по 11 балів – максимальна кількість балів 20:

повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 10-9 балів;

достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 8...7 балів;

неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 6...4 балів;

незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 3...0 балів.

2. Практичне заняття:

опитування, з розрахунку п'ять питань – всього 5 балів (r_2):

творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 6 балів;

глибоке розкриття питань – 4...5 балів;

не достатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 2...3 бали.

виконання ДЗ, з розрахунку 16 завдань по 0,5 балів – всього 8 балів (r_3):

повністю виконане завдання, без помилок – 8 балів;

повністю виконане завдання, але є не суттєві помилки – 4...8 балів;

повністю виконане завдання, але є суттєві помилки – 2...3 бали;

не повністю виконане завдання – не зараховується

3. Лабораторна робота: з розрахунку виконання 4 лабораторних робіт (r_4):

за умови виконання роботи (3 бали), в якій: виконання – 1 бал, гарний і своєчасний захист роботи (2 бали) – 12 балів;

за умови невиконання (зниження) показника хоча б з однієї позиції нараховуються штрафні бали (- 1 бал по кожній позиції).

4. Розрахункова робота: з розрахунку виконання 5 завдань РР по 1 балу та захисту завдань РР – по 2 бали (r_5):

виконання завдань та захист РР:

«відмінно», творче виконання завдання – 3 бали;

«добре», достатньо повно виконане завдання, або повно виконане завдання з незначними неточностями –2 бали;

«задовільно», не достатньо повно виконане завдання, має незначні помилки –1 бал.

Календарний контроль: проводиться двічі на семестр (на 8 та 14 тижнях) з метою підвищення якості навчання студентів та моніторингу виконання графіку освітнього процесу студентами. Атестація студентів проводиться за значенням поточного рейтингу студента на час атестації. Якщо значення цього рейтингу не менше 50% від максимально можливого на час атестації, студент вважається атестованим. В іншому випадку в атестаційній відомості виставляється «не атестовано». Також не атестується студент у разі невиконання або не захисту хоча б однієї з частин РР, термін подання якої був до тижня проведення атестації, або не написав на позитивну оцінку всі, заплановані на цей час, частини МКР.

5. Екзамен

Екзамен проводиться у письмово–усній формі. Екзаменаційне завдання складається з двох теоретичних питань і одного практичного завдання. Перелік теоретичних питань наведений у додатку до силабусу дисципліни. Перші два теоретичних питання оцінюються по 12 балів, а третє завдання – 16 балів. Тобто, максимальна кількість балів за виконане завдання $12+12+16 = 40$ балів.

Критерії оцінювання:

Кожне теоретичне питання (практичне завдання) екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 11...12 (15...16) балів;

достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 8...10 (13...14) балів;

неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) – 6...7 (10...13) балів;

незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 60% потрібної інформації та помилки) – менше 6 (10) балів.

6. Заохочувальні і штрафні бали

В продовж семестру студент може отримати заохочувальні та штрафні бали. Ці бали враховуються при визначенні загального рейтингу студента.

Конспект лекцій (заохочувальні бали) 1...5

Сертифікат проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни (заохочувальні бали) 1...5

Сертифікат, який підтверджує участь у науково–практичних або наукових конференціях за тематикою дисципліни (заохочувальні бали) 1...5

Не своєчасне виконання завдань курсу: СРС, ДЗ, захисту ЛР, РР (штрафні бали, за кожне не вчасно виконане завдання) –1

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_d):

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

$$R_i = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5.$$

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

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 20+5+8+12+15 = 60$ балів.

Необхідною умовою допуску до екзамену є стартовий рейтинг не менше $0,5 \times R_c = 30$ балів, при умові зарахування всіх завдань СРС.

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 30 балів, або не виконали умов допуску, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

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

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі екзамену 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 підсумковій за 100–бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання аспірантом умов допуску до екзамену. Студентам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливого (тобто $R_c \geq 45$), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумковій здійснюється за формулою

$$R = 50 + \frac{50 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де R – оцінка за 100–бальною шкалою;

R_i – сума балів, набраних аспірантом 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 підсумковій не здійснюється.

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 10 балів):

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

Перелік екзаменаційних питань

1. Диференціальне рівняння теплопровідності і його окремі випадки.
2. Математичний опис процесу теплопровідності.
3. Стаціонарна теплопровідність однорідної плоскої стінки.
4. Теплопровідність багатшарової плоскої стінки. Контактний термічний опір.
5. Теплопередача через одношарову і багатшарову плоску стінку.
6. Теплопровідність одношарової циліндричної стінки.
7. Теплопередача через одношарову і багатшарову циліндричну стінку.
8. Теплопровідність сферичної стінки.
9. Стаціонарна теплопровідність однорідної пластини при наявності внутрішніх джерел теплоти.
10. Стаціонарна теплопровідність однорідного стрижня при наявності внутрішніх джерел теплоти.
11. Конструктивні способи зниження інтенсивності тепловіддачі. Критичний діаметр циліндричної стінки.
12. Диференціальне рівняння теплопровідності прямого ребра довільного профілю.
13. Теплопровідність прямого ребра прямокутного профілю. Коефіцієнт ефективності ребра
14. Теплопередача через оребрену стінку. Умова вигідності оребрення.
15. Нестационарна теплопровідність. Фізичні особливості та математичний опис процесу. Числа Біо і Фур'є.
16. Аналіз рішення диференційного рівняння нестационарної теплопровідності для різних випадків.
17. Гідродинамічний і тепловий пограничний шар і механізм переносу теплоти в процесах тепловіддачі.
18. Вплив різних факторів на коефіцієнт тепловіддачі.
19. Вплив величини і напрямку теплового потоку на коефіцієнт тепловіддачі.
20. Математичний опис процесу конвективного теплообміну.
21. Диференціальне рівняння енергії для потоку, що рухається.
22. Основні поняття та визначення теорії подібності. Теореми подібності.
23. Числа подібності процесів конвективного теплообміну. Їх фізичний зміст.
24. Диференціальні рівняння динамічного і теплового пограничних шарів.
25. Перехід ламінарної течії в турбулентну на пластині. Вплив різних факторів.
26. Тепловіддача пластини в ламінарному пограничному шарі.
27. Тепловіддача пластини при турбулентному пограничному шарі.
28. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні циліндра.
29. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні пучків труб.
30. Особливості течії та теплообміну в трубах і каналах.
31. Тепловіддача при течії в трубах ламінарного потоку.
32. Тепловіддача при перехідному і турбулентному режимах течії в трубах.
33. Тепловіддача при вільній конвекції в необмеженому просторі.
34. Тепловіддача при вільній конвекції в обмеженому просторі

Завдання для виконання розрахункової роботи

Задання « PFP №1

Теорія Математичний опис процесу передачі теплоти через плоску багатшарову стінку при наявності опору контакту між шарами

Задача

Визначити питомий тепловий потік (з урахуванням і без урахування теплового опору контакту), який передається від рідини з температурою $t_{ж1}$ до рідини з температурою $t_{ж2}$ через багатшарову стінку, що складається з шару ізоляційного матеріалу товщиною δ_1 , шару сталі товщиною δ_2 , шару алюмінію завтовшки δ_3 ; коефіцієнти теплопровідності окису цирконію λ_1 , Вт/(м·К), сталі $\lambda_2=34,9$ Вт/(м·К), и алюмінія $\lambda_3=222$ Вт/(м·К); термічний опір контакту між шарами окису цирконію і сталі $R_{к1}$, а між шарами сталі та алюмінію $R_{к2}$; коефіцієнти тепловіддачі відповідно $\alpha_1 = 25$ Вт/(м²·К), $\alpha_2 = 10$ Вт/(м²·К). Побудувати графік розподілу температур по товщині стінки з урахуванням і без урахування теплового опору контакту (на міліметровому папері).

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
λ_1 , Вт/(м·К)	0,84	0,113	0,84	0,84	0,113	0,84	0,113	0,84	0,113	0,84	0,113	0,84	0,113	0,84	0,113	0,84	0,84	0,113	0,84	0,113
δ_1 , мм	0,5	0,4	0,3	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,5	0,4	0,3	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
δ_2 , мм	2	4	3	1	3	1	2	4	2,5	1,5	3	2	4	1,5	2	3	1	1,5	2	4
δ_3 , мм	4	5	2	3	4	3	4	1	2,5	1,5	3,5	4,5	5	4	2,5	3,5	2,5	4	2,5	1,5
$t_{ж1}$, °C	1200	1100	1300	1000	1400	1200	1100	1300	1000	1400	1200	1100	1300	1000	1400	1200	1100	1300	1000	1200
$t_{ж2}$, °C	40	45	30	35	30	35	45	55	25	45	65	55	30	40	50	60	45	35	40	30
$R_{к1}$, м ² ·К/Вт	2,580E-03	2,960E-03	1,560E-03	2,000E-03	1,980E-03	2,580E-03	2,960E-03	1,560E-03	2,000E-03	1,980E-03	2,580E-03	2,960E-03	1,560E-03	2,000E-03	1,980E-03	2,580E-03	2,960E-03	1,560E-03	2,000E-03	1,980E-03
$R_{к2}$, м ² ·К/Вт	2,660E-03	2,060E-03	2,340E-03	2,960E-03	1,630E-03	2,660E-03	2,060E-03	2,340E-03	2,960E-03	1,630E-03	2,660E-03	2,060E-03	2,340E-03	2,960E-03	1,630E-03	2,660E-03	2,060E-03	2,340E-03	2,960E-03	1,630E-03

Задання « PFP №2

Теорія Теплопередача через циліндричну стінку. Лінійний термічний опір. Теплопередача через багатшарову циліндричну стінку.

Задача

Трубчастий підігрівач повітря, виготовлений з труб діаметром d_1, d_2 , повинен мати продуктивність G . По трубам тече повітря (з середньою температурою $t_{ср}$), а зовнішня поверхня омивається поперечним потоком гарячих димових газів з середньою температурою $t_{г}$. Різниця температур повітря на вході в підігрівач і на виході з нього повинна бути дорівнює Δt . Визначити коефіцієнт теплопередачі і площу поверхні нагріву теплообмінника, якщо коефіцієнт теплопровідності стінки $\lambda_{ст} = 58,15$ Вт/(м·К), коефіцієнт тепловіддачі з боку газів $\alpha_2 = 69,8$ Вт/(м²·К) та від стінки повітря $\alpha_1 = 40,75$ Вт/(м²·К). Як зміниться коефіцієнт теплопередачі і площа теплообмінника, якщо поверхня повітропідігрівача в процесі роботи покрилася шаром сажі завтовшки $\delta_{саж}$ ($\lambda_{саж} = 0,08$ Вт/(м·К)), термічний опір контакту між стінкою повітропідігрівача і шаром сажі становить $R_{к1}$ (м²·К)/Вт. Всі інші умови залишаються без зміни. Розрахунок виконати за формулами для плоскої і циліндричної стінки.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
d_1/d_2 , мм/мм	44/50	34/40	30/38	36/44	32/42	34/42	38/46	36/46	36/44	34/42	30/38	36/44	36/46	38/46	36/46	38/46	32/42	34/42	38/46	36/44	30/38
G , т/год	14	15	16	17	18	19	20	13	12	11	20	15	18	17	18	15	14	13	12	11	
$t_{г}$, °C	300	375	250	350	375	300	375	250	350	375	300	375	250	350	375	300	375	250	350	375	
$t_{ср}$, °C	190	220	170	200	210	190	220	170	200	210	190	220	170	200	210	190	220	170	200	210	
Δt , °C	120	150	120	110	130	120	150	90	110	130	120	150	120	110	130	120	150	90	110	130	
$\delta_{саж}$, мм	1,6	1,4	1,2	1,8	1,7	1,3	1,6	1,5	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,2	1,8	1,6	1,4	1,5	1,3	
$R_{к1}$ (м ² ·К)/Вт	2,960E-03	1,560E-03	2,000E-03	1,980E-03	2,580E-03	2,960E-03	1,560E-03	2,000E-03	1,980E-03	2,580E-03	2,960E-03	1,560E-03	2,000E-03	1,980E-03	2,580E-03	2,960E-03	1,560E-03	2,000E-03	1,980E-03	2,580E-03	

Задання к РГР №3

Теорія Диференціальні рівняння теплопровідності прямого ребра двоякого профілю. Теплопровідність прямого ребра прямокутного профілю. Коефіцієнт ефективності ребра. Теплопередача через оребрену стіну. Умова вигідності оребрення.

Задача

Нагрівальний прилад виконано у вигляді вертикальної труби з подовжніми сталевими ребрами прямокутного перетину. Висота труби h , м, зовнішній діаметр труби $d_{\text{зов}}$, мм, довжина ребер l , мм і товщина ребер δ , мм. Загальна кількість ребер n . Температура при основі ребра $t_{\text{ос}} = 80^\circ\text{C}$; температура навколишнього повітря $t_{\text{в}} = 18^\circ\text{C}$. Коефіцієнт тепловіддачі від ребер і зовнішньої поверхні труби до навколишнього повітря $\alpha = 9,3 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, коефіцієнт теплопровідності стіни $\lambda = 55,7 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Визначити кількість тепла, що віддається ребристою стінкою в навколишнє середовище.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
h , м	1,2	1,3	1,4	1,0	0,9	0,8	1,5	1,1	1,0	0,95	1,2	1,3	1,4	1,0	0,9	0,8	1,5	1,1	1,0	0,95
$d_{\text{зов}}$, мм	60	62	70	74	96	68	52	54	50	58	54	60	66	70	54	58	64	52	50	56
l , мм	5	5,5	6	6,5	4,5	5,8	6,2	8,2	4,8	7,5	5	5,5	6	6,5	4,5	5,8	6,2	8,2	4,8	7,5
δ , мм	2	3	4	5	3	4	5	6	3	5	3	2	5	4	3	2	3	4	2	5
n	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	25	21	22	23	24	25	26	27	28	29

Задання к РГР №4

Теорія Теплопровідність циліндричної стінки при наявності внутрішніх джерел теплоти (теплота відводиться тільки через зовнішню поверхню труби, теплота відводиться тільки через внутрішню поверхню труби, теплота відводиться через внутрішню і зовнішню поверхні труби).

Задача

Через металеву трубку діаметром $d_{\text{зов}}$, $d_{\text{вн}}$, мм проходить струм силою I , А. Питомий електричний опір матеріалу трубки ρ , Ом $\text{мм}^2/\text{м}$, коефіцієнт теплопровідності металу λ , Вт/(мК). Визначити об'ємну густину теплового потоку і перепад температури стінки трубки, для випадків:

- 1) теплота відводиться тільки через внутрішню поверхню трубки;
- 2) теплота відводиться тільки через зовнішню поверхню трубки;
- 3) теплота відводиться через внутрішню і зовнішню поверхні трубки (умови охолодження однакові). Для даного випадку визначити координату максимальної температури в циліндричній стінці.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$d_{\text{зов}}$, мм	14,6	11	12,8	14	15	14,6	11	12,8	14	15	14,6	11	12,4	14	15	14,6	11,4	12,8	14	15
$d_{\text{вн}}$, мм	14	10	12	13	14,8	14	10	12	13	14,2	14	10	12	13	14,8	14	10	12	13	14
I , А	300	250	350	250	350	400	200	300	350	250	350	250	250	300	350	300	250	300	350	350
ρ , Ом $\text{мм}^2/\text{м}$	1,17	0,85	0,71	1,17	0,85	0,71	1,17	0,85	0,71	1,17	0,85	0,71	1,17	0,85	0,71	1,17	0,85	0,71	1,17	0,85
λ , Вт/мК	17,5	18,6	20	17,5	18,6	20	17,5	18,6	20	17,5	18,6	20	17,5	18,6	20	17,5	18,6	20	17,5	18,6

Задання к РГР №5

Теорія Кількість теплоти, яка віддається пластинкою або циліндром в процесі охолодження (нагрівання).

Задача

Металевий циліндр заданих розмірів має початкову температуру t_0 , а потім був поміщений в річ з температурою $t_{\text{р}}$. Визначити температуру в центрі циліндра і в середній його торцевій частині через заданий проміжок часу τ після його занурення в річ, а також кількість теплоти, затраченого на нагрів циліндра. Коефіцієнти теплопровідності, температуропровідності матеріалу циліндра і коефіцієнт тепловіддачі з поверхні задані.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
матеріал	сталь 1Х18Н9Т	Ст 10	титан	нікель	Ст 15	титан	сталь 1Х18Н9Т	нікель	Ст 10	Ст 15	сталь 1Х18Н9Т	Ст 10	титан	нікель	Ст 15	титан	сталь 1Х18Н9Т	нікель	Ст 10	Ст 15
d , мм	100	160	90	160	150	140	100	160	150	200	100	170	120	200	120	130	100	180	140	160
L , мм	300	500	250	500	400	380	230	400	450	400	240	400	320	550	380	370	280	550	400	400
t_0 , $^\circ\text{C}$	20	30	25	15	35	20	30	25	15	35	20	30	25	15	35	20	30	25	15	35
$t_{\text{р}}$, $^\circ\text{C}$	1400	1500	1600	1450	1550	1500	1400	1450	1500	1600	1450	1500	1550	1500	1550	1400	1400	1600	1500	1450
τ , мін	20	30	15	25	20	30	15	25	20	30	15	25	20	35	15	25	20	30	15	25
α , Вт/(м 2 К)	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00	180,00
λ , Вт/мК	25,8	31,6	18,9	35,2	48,5	18	19,2	32,3	51,8	48,5	20,8	51,8	18,9	58,2	48,5	18	19,2	32,3	51,8	48,5
α 10 4 , 1/с	5,26	12,84	6,4	13,4	11,2	6,5	4,84	11,39	12,84	11,2	5,26	12,84	6,4	13,4	11,2	6,5	4,84	11,39	12,84	11,2

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом, к.т.н., Воробйовим Микитю Валерійовичем

Ухвалено кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 15/а від 30. 06. 2022 р.)

Погоджено Методичною комісією ТЕФ (протокол № 9 від 30. 06. 2022 р.)