

Силабус курсу Тепломасообмін

Ступінь вищої освіти – перший (бакалаврський)
Галузь знань – 14 Електрична інженерія
Спеціальність – 144 Теплоенергетика
Освітньо-професійна програма - «Теплоенергетика»
Кількість кредитів - 8
Навчальна група - ТЕ01-20
Рік підготовки, чверть - 3 рік; 9, 10 чверті
Компонент освітньої програми: обов'язкова дисципліна циклу професійної підготовки



Керівник курсу: проф., д.т.н. Пінчук Валерія Олександрівна
Контактна інформація: v.a.pinchuk@ust.edu.ua

Опис дисципліни

Призначення навчальної дисципліни – придбання компетентностей в області теорії та практики тепломасообміну та вміння їх використовувати в своїй професійній діяльності. Знання і вміння розраховувати тепло- і масообмінні процеси є обов'язковою умовою для підготовки бакалаврів зі спеціальності 144 теплоенергетика

Мета вивчення дисципліни - навчання студентів фундаментальним основам та особливостям перенесення енергії (теплоти) і маси; методам вирішення типових задач тепломасообміну; способам підвищення ефективності процесів перенесення енергії і маси; вирішувати задачі розрахунку й проектування тепломасообмінних апаратів.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен:

знати:

- основні закономірності перенесення теплоти теплопровідністю, конвекцією і випромінюванням, а також закономірності перенесення маси речовини;
- фундаментальні залежності теорії перенесення теплоти і маси речовини (диференціальні рівняння теплопровідності, рівняння подібності при конвективному теплообміні, інтегральні рівняння теплообміну випромінюванням та інш.);
- типові методики виконання теплових розрахунків і рішення практичних задач, що пов'язані з тепломасообміном в елементах енергетичних установок.

вміти:

- вирішувати задачі одномірної стаціонарної теплопровідності і теплопередачі та проводити розрахунок деяких задач нестационарної теплопровідності;
- проводити розрахунки процесів конвективного теплообміну і масообміну в енергетичних системах;
- проводити розрахунки процесів випромінювання в енергетичних системах;
- проводити розрахунки за типовими методиками і проектувати сучасні теплообмінні апарати;
- використовувати спеціальну довідкову, нормативну та технічну літературу при проведенні розрахунків енергетичного обладнання.

Пререквізити навчальної дисципліни: «Вища математика», «Фізика», «Теоретичні основи теплотехніки», «Гідрогазодинаміка».

Постреквізити навчальної дисципліни: Набуті знання і вміння використовуються при вивченні майже всіх професійно орієнтованих дисциплін, а також необхідна при виконанні випускної кваліфікаційної роботи бакалавра, і програми магістерської підготовки за спеціальністю теплоенергетика.

Набуті компетентності: здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; здатність продемонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних в теплоенергетичній галузі; здатність виявляти, класифікувати і описати ефективність систем і компонентів на основі використання аналітичних методів і методів моделювання в теплоенергетичній галузі.

План вивчення навчальної дисципліни

1. Розподіл навчальних годин

	Усього	Чверті	
		9	10
Усього годин за навчальним планом, у тому числі:	240	120	120
Аудиторні заняття, з них:	120	64	56
Лекції	72	40	32
Лабораторні роботи	16	12	4
Практичні заняття	32	12	20
Семінарські заняття	0	0	0
Самостійна робота	120	56	64
Заходи семестрового контролю		семестрова (дифзалік)	підсумкова оцінка, семестрова (дифзалік)

2. Структура дисципліни

Модуль 1: Загальні положення теорії теплообміну	
Лекції	<p>1. Загальні положення та визначення теорії тепломасообміну Предмет курсу, загальні поняття. Основні процеси переносу теплоти. Тепловіддача. Теплопередача. Тепловий потік і щільність теплового потоку. Температурне поле.</p> <p>2. Механізми і математичні моделі переносу теплоти Макроскопічний характер вчення про теплообмін: умови і кордони застосування макроскопічної моделі; суцільна середа. Теоретичний і експериментальний методи дослідження в теплопередачі. Сучасні проблеми в теплопередачі.</p> <p>3. Загальні положення та закони теплопровідності Механізм процесу теплопровідності в газах, рідинах, металах, твердих діелектриках. Закон Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності, його залежність від різних чинників. Диференціальне рівняння теплопровідності. Коефіцієнт температуропровідності. Умови однозначності для процесів теплопровідності. Граничні умови першого, другого, третього і четвертого роду.</p>
ЛР	Визначення коефіцієнту теплопровідності методом плоского шару
СР	Теоретичні та експериментальні методи досліджень теплопередачі
Модуль 2: Теплопровідність при стаціонарному та нестаціонарному режимі	
Лекції	<p>1. Теплопровідність та теплопередача через плоску та циліндричну стінку Передача теплоти через плоску стінку; розподіл температур в одношаровій стінці при постійному і змінному коефіцієнті теплопровідності; вираження для теплового потоку, коефіцієнта тепловіддачі і термічного опору, їх аналіз. Багатошарова плоска стінка. Передача теплоти через циліндричну стінку; розподіл температур в стінці довгого циліндра при постійному і змінному коефіцієнті теплопровідності; вираження для теплового потоку, його аналіз, критичний діаметр ізоляції. Багатошарова циліндрична стінка. Коефіцієнт теплопередачі через багатошарову циліндричну стінку.</p> <p>2. Теплопровідність та теплопередача через кульову стінку . Інтенсифікація процесів теплопередачі Передача теплоти через кульову стінку. Вираження для теплового потоку, термічний опір. Багатошарова кульова стінка. Коефіцієнт теплопередачі через багатошарову кульову стінку. Способи інтенсифікації процесів теплопередачі. Зв'язок питань інтенсифікації теплопередачі з сучасними проблемами економії матеріальних і енергетичних ресурсів і підвищенням економічності виробництва. Теплопередача через плоску ребристу стінку.</p> <p>3. Основні уявлення про методи рішення задач теплопровідності при нестаціонарному режимі. Аналітичні методи рішення задач теплопровідності Основні уявлення про методи рішення задач теплопровідності при нестаціонарному режимі. Теплопровідність тонкої пластини, довгого циліндра і напівобмеженого тіла при граничних умовах третього роду. Аналіз рішень, окремі випадки. Нагрівання (охолодження) паралелепіпеда і циліндра кінцевої довжини.</p> <p>4. Чисельні методи рішення задач нестаціонарної теплопровідності</p>

	Переваги та недоліки чисельних методів рішення задачі. Апроксимація диференціального рівняння теплопровідності та формування крайових умов. Постановка і рішення задач теплопровідності при граничних умовах першого, другого та третього роду.
ПР	Теплопровідність та теплопередача через плоску, циліндричну та кульову стінку. Нестационарна теплопровідність та теплопередача
СР	Теплопровідність при наявності внутрішніх джерел теплоти
Модуль 3: Фізичні та математичні моделі конвективного теплообміну	
Лекції	<p>1. Основні положення конвективного переносу теплоти Конвективний теплообмін як сукупність молярного і молекулярного перенесення. Тепловіддача. Основні випадки тепловіддачі: тепловіддача в однофазних рідинах і при фазових та хімічних перетвореннях, при примусової і природній конвекції. Основні фізичні параметри, істотні для процесів течії і тепловіддачі.</p> <p>2. Математичні моделі конвективного теплообміну Система диференціальних рівнянь неізотермічного руху: рівняння тепловіддачі, енергії, руху і суцільності. Умови однозначності. Особливість теплообміну при ламінарному і турбулентному русі рідини. Значення теорії подоби. Приведення рівнянь конвективного теплообміну до безрозмірного вигляду. Числа подоби.</p> <p>3. Гідродинамічний та тепловий прикордонний шар Чинники, що впливають на режим руху в прикордонному шарі. Співвідношення товщини гідродинамічного і теплового прикордонних шарів. Вплив змінності фізичних параметрів і температури поверхні на тепловіддачу. Розрахункові рівняння. Розрахунок тепловіддачі при одночасній наявності ламінарного і турбулентного прикордонних шарів.</p>
ПР	Визначення робочих параметрів моделей. Обробка результатів вимірювань характеристик конвективної тепловіддачі
ЛР	Визначення коефіцієнту тепловіддачі при вільному русі теплоносія
СР	Суть моделювання. Умови подібності для «натури» і «моделі». Наближене моделювання
Модуль 4: Теплообмін при вільному та примусовому русі теплоносія	
Лекції	<p>1. Тепловіддача при вільному русі рідини Характер руху рідини у великому об'ємі. Тепловіддача при вільному русі рідини у великому об'ємі навколо вертикальної та горизонтальної поверхні. Методика розрахунку тепловіддачі при природній конвекції в великому об'ємі. Чинники, що зумовлюють рух у обмеженому об'ємі. Тепловіддача при вільному русі рідини у каналах та щілинах. Розрахункові рівняння для тепловіддачі. Методика розрахунку тепловіддачі при природній конвекції в обмеженому просторі</p> <p>2. Тепловіддача при примусовому русі рідини Особливості течії і теплообміну в трубах. В'язкістний і в'язко-гравітаційний режими течії. Методи розрахунку тепловіддачі при стабілізованій течії в трубах. Режими течії в прикордонному шарі при поперечному омиванні циліндра і їх зв'язок з тепловіддачею. Характер зміни тепловіддачі по колу циліндра при різних умовах омивання. Розрахункові рівняння. Основні типи пучків труб. Ламінарна і турбулентна течія рідини в пучках. Розрахункові рівняння. Порівняння тепловіддачі шахових і коридорних пучків. Теплообмін при натіканні на пластину потоку газу</p>
ПР	Тепловіддача при вільному русі рідини. Тепловіддача при примусовому русі рідини.
ЛР	Визначення коефіцієнту тепловіддачі при примусовому русі теплоносія
СР	Тепловіддача при течії рідини в зігнутих і шорстких трубах
Модуль 5: Тепловіддача при фазових перетвореннях	
Лекції	<p>1. Тепловіддача при кипінні рідини Умови виникнення кипіння. Механізм кипіння рідини. Кипіння рідини у великому об'ємі. Розрахунок тепловіддачі при пухирчастому кипінні рідини. Плівковий режим кипіння. Перша і друга критична щільність теплового потоку. Розрахунок критичних теплових навантажень. Теплообмін при кипінні рідини в трубах, розрахунок тепловіддачі в трубах.</p> <p>2. Тепловіддача при конденсації пари Умови виникнення конденсації пари. Плівкова і краплинна конденсації. Конденсація сухої насиченої пари на вертикальних стінках. Тепловіддача при ламінарній і турбулентній течії плівки. Розрахункові рівняння для тепловіддачі. Конденсація сухої насиченої пари на</p>

	горизонтальних трубах і пучках труб.
ПР	Тепловіддача при кипінні рідини. Тепловіддача при конденсації пари
СР	Форми виникнення нової фази при кипінні та її рух відносно рідини
Модуль 6: Закономірності теплового випромінювання	
Лекції	<p>1. Основні поняття і закони теплового випромінювання Природа теплового випромінювання. Поглинаюча, відбивна і пропускна здатність тіл. Випромінювання монохроматичне і інтегральне. Закон Кирхгофа. Класифікація променистих потоків та їх взаємний зв'язок. Закони випромінювання абсолютно чорного тіла: закон Планка, закон Вина. Коефіцієнт чорноти випромінювання. Сіре тіло. Закон Стефана - Больцмана. Закон Ламберта.</p> <p>2. Теплообмін випромінюванням між твердими поверхнями Інтегральні рівняння випромінювання. Кутові коефіцієнти випромінювання. Визначення куткових коефіцієнтів для деяких характерних випадків взаємного розташування і форми тіл. Розрахунок теплообміну випромінюванням між тілами: тілами з плоско паралельними поверхнями і екраном між ними; тілами, з яких одне знаходиться в порожнині іншого. Особливості теплообміну випромінюванням в замкненій системі сірих тіл.</p> <p>3. Теплообмін випромінюванням в газових сумішах Поглинання, розсіювання і випромінювання енергії в газових сумішах. Коефіцієнт поглинання. Випромінювання і поглинання різних середовищ. вуглекислоти, водяної пари, їх суміші. Розрахунок променистого теплообміну між випромінюючим середовищем і поверхнею твердого тіла. Коефіцієнт променистого теплообміну.</p>
ПР	Теплообмін випромінюванням
СР	Зональний метод розрахунку випромінювання
Модуль 7: Теплообмінні апарати	
Лекції	<p>1. Основи теплового розрахунку теплообмінників Призначення теплообмінників. Їх класифікація за принципами дії. Характерні конструктивні схеми теплообмінників. Основні схеми руху теплоносіїв в теплообмінниках: прямотечія, протитечія, перехресна течія і комбіновані схеми. Задачі розрахунку теплообмінників. Розрахунок при проектуванні і перевірочний розрахунок. Основи теплового розрахунку теплообмінників. Рівняння теплового балансу і рівняння тепловіддачі.</p> <p>2. Визначення кінцевої температури теплоносіїв Середній температурний напір. Визначення середнього температурного напору для основних схем руху теплоносіїв. Порівняння прямотечії і протитечії. Визначення поверхні теплообміну при змінному коефіцієнті тепловіддачі і змінній теплоємності теплоносіїв. Обчислення кінцевої температури теплоносіїв. Інтенсифікація процесів теплопередачі.</p> <p>3. Особливості теплового розрахунку регенераторів Підхід і методика теплового розрахунку регенеративних теплообмінників.</p>
ПР	Розрахунки теплообмінників
ЛР	Визначення коефіцієнту теплопередачі у водо-водяному теплообміннику
СР	Виконання індивідуального завдання «Проектний тепловий розрахунок рекуперативного теплообмінника»
Модуль 8: Масообмін	
Лекції	<p>1. Дифузійний масообмін Основні положення теорії масообміну. Дифузія. Щільність дифузійного потоку маси. Закон Фіка. Коефіцієнт дифузії.</p> <p>2. Конвективний масообмін Конвективний масообмін як сукупність молярного і молекулярного перенесення речовини. Масовіддача. Щільність потоку маси в процесі конвективного масообміну. Коефіцієнт масовіддачі. Застосування методів подоби і розмірності до процесів масообміну. Дифузійне число Нусельта, дифузійне число Прандтля. Аналогія процесів тепло та масообміну.</p> <p>3. Масопередача Рухаючий напір. Коефіцієнт масопередачі. Масопередача в системах з капілярно- пористими і колоїдними тілами.</p>

ПР	Розрахунки масообміну та масопередачі
СР	Система диференційних рівнянь дифузійного прикордонного шару. Граничні умови на поверхні розділу фаз

***ПР – практичні роботи; ЛР – лабораторні роботи; СР – самостійна робота студента.**

Політика оцінювання

Політика щодо дедлайнів та перескладання: Роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку (75% від можливої максимальної кількості балів). Перескладання модулів відбувається за наявності поважних причин.

Політика щодо академічної доброчесності: Списування під час контрольних робіт заборонені (в т.ч. із використанням мобільних девайсів). Мобільні пристрої дозволяється використовувати лише під час практичних занять. Робота, яка має ознаки плагіату, не зараховується.

Політика щодо відвідування: Відвідування занять є обов'язковим компонентом оцінювання.

Оцінювання

Контрольна чверть	Модулі	Вид контролю
9	1-4	Контрольна робота
10	5-8	Контрольна робота, індивідуальне завдання
Підсумкова	1-8	Диф. залік

Рекомендована література

1. Пінчук В. О., Шарабура Т. А. Тепломасобмін. Частина 1: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2018. – 52 с.
2. Пінчук В. О., Шарабура Т. А. Тепломасобмін. Частина 2: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2019. – 56 с.
3. Пінчук В. О., Шарабура Т. А. Тепломасобмін. Частина 3: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2019. – 46 с.
4. Пінчук В. О., Шарабура Т. А. Тепломасобмін. Частина 4: Навчальний посібник. – Дніпро: НМетАУ, 2020. – 63 с.
5. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С., Теплопередача.-М.: Энергоиздат, 1981.-416 с.
6. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче.-М: Энергия, 1980.-288 с.
7. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи.-М.: 1973.
8. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: «Высшая школа», 1967. – 599
9. Василенко С.М. Основы тепломасообміну Підруч. для студ. вищ. навч. закл. / С.М. Василенко, А.І. Українець, В.В. Олішевський. За ред. І.С. Гулого; Нац. ун-т харч. технологій. – К. : НУХТ, 2004. – 249 с.
10. Румянцев В.Д. Теория тепло- и массообмена Днепропетровск, Пороги, 2006-532 с.
11. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В. А.Осипова. – М. : Энергия, 1979. – 318 с.
12. Кутателадзе С.С. Теплопередача при конденсации и кипении / С.С. Кутателадзе. - М. -Л.: Машгиз, 1952. - 232 с.
13. Дульнев Г.Н. Теория тепло- и массообмена: Учебное пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 195 с.
14. Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением: – М.: Мир, 1975. – 935 с.
15. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Тепломасообмен» (часть 1) для студентов специальности 10.07/ Сост. Б.Б.Потапов, Н.С.Аверина, П.А.Безверхий. Днепропетровск: ДметИ, 1999.-20 с.
16. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Тепломасообмен» (часть 2) для студентов специальности 10.07/ Сост. Б.Б.Потапов, Н.С.Аверина. Днепропетровск: ДметИ, 1998.-29 с.
17. Методичні вказівки до виконання курсової роботи «Проектний тепловий розрахунок рекуперативного теплообмінника» з дисципліни «Тепломасообмін» для студентів спеціальностей: 7.090510, 7.090511, 7.000008 /Укл.: Б.Б. Потапов, В.О. Пінчук, Аверіна Н.С. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2006. - 33 с.