



## НАЗВА КУРСУ

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Тепломасообмін – 1. Теплопровідність

#### та конвективний теплообмін

##### 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>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>9 кредитів, 270 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/контрольна робота, РГР</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н, Воробйов Микита Валерійович, vorobiov.nikv@gmail.com</i> Практичні: <i>к.т.н, Лебедь Наталя Леонідівна, nata.lebeddom@gmail.com</i> Лабораторні: <i>к.т.н, Воробйов Микита Валерійович, vorobiov.nikv@gmail.com</i>
Розміщення курсу	Посилання на дистанційний ресурс: <a href="https://www.youtube.com/channel/UCfXYSpl_ZnE2pN5y6ioZyfg/videos">https://www.youtube.com/channel/UCfXYSpl_ZnE2pN5y6ioZyfg/videos</a>

##### Програма навчальної дисципліни

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

При вивченні курсу «Тепломасообмін» студент має: 1) опанувати основні закони теплопередачі: теплопровідність, та конвекції; 2) отримати розуміння, як термодинаміка та теплопередача пов'язані між собою; 3) отримати навички розрахунку теплообмінних апаратів в умовах їх роботи при різних видах теплообміну; 4) Аналізувати та визначати можливості використання на практиці методів інтенсифікації теплообміну та використання теплової ізоляції; 5) Вирішувати різноманітні проблеми теплопередачі, які зустрічаються на практиці.

В наслідок вивчення курсу «Тепломасообмін – 1. Теплопровідність та конвективний теплообмін» студенти набувають наступних результатів у навчанні:

- 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).

- 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-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 теплогідрравлічні та аеродинамічні характеристики роботи енергетичного і технологічного обладнання в умовах зміни режимних та експлуатаційних параметрів (ПРН-23).

- Розуміти принципи технологічних процесів виробництв, 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)**

Вивчення дисципліни базується на знанні студентами «Математики», «Фізики», «Технічної термодинаміки», «Гідрогазодинаміки».

Курс є базовим для вивчення студентами освітньої «Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем» програми таких дисциплін, як «Тепломасообмін при фазових перетвореннях і випромінюванні», «Парові і водогрійні котли».

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### *РОЗДІЛ 1. Теплопровідність*

*Тема 1.1. Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі.*

*Закон Фур'є і коефіцієнт теплопровідності. Поняття теплопровідності. Температурне поле. Температурний градієнт. Вектор щільності теплового потоку. Диференційні рівняння теплопровідності і його частинні випадки. Математичне описання процесу теплопровідності.*

Закон Ньютона-Ріхмана. Коефіцієнт тепловіддачі. Конкретні задачі теплопровідності. Теплопровідність плоскої стінки. Контактний термічний опір. Методи боротьби з контактним опором. Теплопровідність багат шарової плоскої стінки. Теплопровідність одношарової циліндричної стінки при граничних умовах I роду. Теплопровідність багат шарової циліндричної стінки при граничних умовах I роду. Теплопередача через плоску стінку. Коефіцієнт теплопередачі. Рівняння теплопередачі. Теплопередача через багат шарову плоску стінку. Теплопровідність циліндричної оболонки при граничних умовах I роду. Теплопередача через циліндричну стінку. Теплопередача через одношарову циліндричну стінку. Лінійний коефіцієнт теплопередачі. Лінійний термічний опір теплопередачі. Теплопередача через багат шарову циліндричну стінку. Теплопровідність сферичної стінки при граничних умовах I роду. Теплопровідність при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. Теплопровідність пластини при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. Температурне поле пластини при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. Теплопровідність при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. Температурне поле циліндра при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти.

Тема 1.2. Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі.

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. Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі. Плоска стінка. Інтенсифікація теплообміну за рахунок оребрення. Диференційне рівняння теплопровідності прямого ребра довільного профілю. Типи оребрення. Диференційне рівняння теплопровідності прямого ребра довільного профілю. Пряме ребро прямокутного профілю. Теплопровідність прямого ребра прямокутного профілю. Коефіцієнт ефективності ребра. Число Біо. Диференційне рівняння теплопровідності прямого ребра довільного профілю. Ребриста плоска стінка. Теплопередача через ребристу плоску стінку. Умови вигідності оребрення. Теплопровідність кільцевого або шайбового ребра постійної товщини. Метод приблизного розрахунку коефіцієнта ефективності ребра круглого профілю.

Тема 1.3. Теплопровідність при нестационарному тепловому режимі.

Нестационарна теплопровідність пластини. Фізичні основи процесу нестационарної теплопровідності. Нестационарна теплопровідність пластини без внутрішніх джерел тепла. Диференційне рівняння, яке описує температурне поле при нестационарній теплопровідності пластини без внутрішніх джерел тепла. Аналіз рішення диференційного рівняння, яке описує температурне поле при нестационарній теплопровідності пластини без внутрішніх джерел тепла. Нестационарна теплопровідність циліндру без внутрішніх джерел тепла. Диференційне рівняння, яке описує температурне поле при нестационарній теплопровідності циліндру без внутрішніх джерел тепла. Аналіз рішення диференційного рівняння, яке описує температурне поле при нестационарній теплопровідності циліндру без внутрішніх джерел тепла.

РОЗДІЛ 2. Конвективний теплообмін.

Тема 2.1. Фізичні основи процесу теплопередачі.

Фізичні основи процесу теплопередачі. Конвективний теплообмін. Закон Ньютона і коефіцієнт тепловіддачі. Поняття про пограничний шар. Ламінарна та турбулентна течія. Поняття про пограничний шар. Ламінарна та турбулентна течія. Механізм переносу теплоти від газу до стінки при ламінарній та турбулентній течії. Вплив різноманітних факторів на величину коефіцієнта тепловіддачі. Математичне описання процесів конвективного теплообміну. Диференційне рівняння енергії. Диференційне рівняння руху. Диференційне рівняння гідродинаміки. Умови однозначності при описанні процесів конвективного

теплообміну. Рівняння руху та енергії для турбулентного режиму руху рідини. Способи отримання розрахункових формул для визначення коефіцієнта тепловіддачі.

*Тема 2.2. Основи теорії подібності фізичних явищ.*

*Основні поняття та визначення теорії подібності. Фізична основа теорії подібності. Інваріант подібності. Однойменні величини. Константи подібності. Теорема подібності. Аналогічні явища. Властивість констант подібності. 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. Використання теорії подібності до явища тепловіддачі.Рівняння подібності.*

*Тема 2.3. Основи теорії пограничного шару.*

*Вступ в теорію пограничного шару. Диференційне рівняння динамічного пограничного шару. Методи теорії пограничного шару. Диференційні рівняння пограничного шару. Рішення диференційного рівняння динамічного пограничного шару. Оцінка порядку членів, що входять до рівняння. Диференційне рівняння теплового пограничного шару. Оцінка порядку членів, що входять до рівняння.*

*Тема 2.4. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні тіл.*

*Тепловіддача при течії на пластині. Вплив “зовнішньої” турбулентності, неізотермічності, поздовжнього градієнту тиску на пластині на перехід ламінарної течії у турбулентне. Перехід ламінарної течії у турбулентну на пластині. Тепловіддача пластини. Тепловіддача пластини при ламінарній течії потоку. Тепловіддача пластини при турбулентній течії потоку. Визначення середнього коефіцієнту тепловіддачі при турбулентній течії теплоносія на пластині. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні тіл різноманітної форми. Тепловіддача при поперечному обтіканні циліндру. Вплив на тепловіддачу кута атаки. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні одиночної труби та пучків гладких труб. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні пучків гладких труб. Вплив на тепловіддачу кута атаки.*

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

*Особливості течії та теплообміну в трубах. Особливості течії рідини з постійними фізичними властивостями. Особливості теплообміну. Особливості ламінарної неізотермічної течії. Теплообмін при різних режимах течії рідини в трубах. В'язкістно- гравітаційний режим течії рідини в трубах. Тепловіддача при ламінарному режимі течії рідини в трубах. Рівняння подібності для визначення середнього коефіцієнту тепловіддачі. Тепловіддача при турбулентному режимі течії рідини в трубах. Тепловіддача при перехідному режимі течії рідини в трубах. Тепловіддача при течії рідини в трубах некруглого поперечного розрізу.*

*Тема 2.6. Тепловіддача при вільній конвекції.*

*Тепловіддача при вільній конвекції в необмеженому просторі. Фізичні основи тепловіддачі при вільній конвекції. Тепловіддача вертикальної поверхні. Тепловіддача при вільній конвекції біля горизонтальної труби. Тепловіддача при вільній конвекції біля горизонтальної плоскої поверхні. Тепловіддача при вільній конвекції в обмеженому просторі. Приблизний метод розрахунку тепловіддачі при вільній конвекції в необмеженому просторі. Рівняння подібності для визначення середнього коефіцієнту тепловіддачі. Тепловіддача при вільній конвекції в горизонтальних щілинах. Тепловіддача при вільній конвекції в вертикальних щілинах. Еквівалентний процес теплопровідності. Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності. Тепловіддача при вільній конвекції у незамкненому зазорі.*

#### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

*Рекомендована література*

- 1. Исаченко В.П. Теплопередача/ В.П.Исаченко, В.А.Осипова, Л.С.Сукомел – М: Энергия – 1975 – 483с.*
- 2. Михеев М.А. Основы теплопередачи/ М.А.Михеев, И.Н.Михеева – М: Энергия – 1977 – 325с.*
- 3. Краснощеков Е.А. Задачник по теплопередаче/ Е.А.Краснощеков, А.С.Сукомел– М: Энергия – 1980 – 288с.*

4. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков Б.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам. М.; Энергоиздат, 1984.

5. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. М: Атомиздат, 1974 г.

## Навчальний контент

*Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)*

*Лекційні заняття*

*Лекція 1. 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.*

*Лекція 2. Закон Фур'є і коефіцієнт теплопровідності. Поняття теплопровідності. Температурне поле. Температурний градієнт. Закон Фур'є і коефіцієнт теплопровідності.*

*Лекція 3. 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.*

*Лекція 4. Теплопровідність плоскої стінки. Контактний термічний опір. Методи боротьби з контактним опором. Теплопровідність багат шарової плоскої стінки. Теплопровідність одношарової циліндричної стінки при граничних умовах I роду.*

*Лекція 5. Теплопередача через плоску стінку. Коефіцієнт теплопередачі. Рівняння теплопередачі. Теплопередача через багат шарову плоску стінку.*

*Лекція 6. Теплопередача через циліндричну стінку. Теплопередача через одношарову циліндричну стінку. Лінійний коефіцієнт теплопередачі. Лінійний термічний опір теплопередачі. Теплопередача через багат шарову циліндричну стінку.*

*Лекція 7. Теплопровідність при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. Теплопровідність пластини при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти.*

*Лекція 8. Теплопровідність при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. Теплопровідність циліндра при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти.*

*Лекція 9. 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.*

*Лекція 10. Інтенсифікація теплообміну за рахунок ребрення. Диференційне рівняння теплопровідності прямого ребра довільного профілю.*

*Лекція 11. Теплопровідність прямого ребра прямокутного профілю. Коефіцієнт ефективності ребра.*

*Лекція 12. Диференційне рівняння теплопровідності прямого ребра довільного профілю.*

*Лекція 13. Теплопередача через ребристу плоску стінку. Умови вигідності ребрення. Теплопровідність кільцевого або шайбового ребра постійної товщини.*

*Лекція 14. Нестационарна теплопровідність пластини.*

*Фізичні основи процесу нестационарної теплопровідності. Нестационарна теплопровідність пластини без внутрішніх джерел тепла.*

*Лекція 15. Диференційне рівняння, яке описує температурне поле при нестационарній теплопровідності пластини без внутрішніх джерел тепла.*

*Лекція 16. Фізичні основи процесу теплопередачі.*

*Конвективний теплообмін. Закон Ньютона і коефіцієнт тепловіддачі. Поняття про пограничний шар.*

Лекція 17. 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 18. Математичне описання процесів конвективного теплообміну.

Диференційне рівняння енергії. Диференційні рівняння руху.

Лекція 19. Математичне описання процесів конвективного теплообміну. Диференційні рівняння руху. Рівняння нерозривності. Рівняння руху та енергії для турбулентного режиму течії рідини.

Лекція 20. Основні поняття та визначення теорії подібності. Фізична основа теорії подібності. Інваріант подібності. Однойменні величини. Константи подібності. Теорема подібності.

Лекція 21 . 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.

Лекція 22. 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.

Лекція 23. Диференційні рівняння пограничного шару. Рішення диференційних рівнянь динамічного пограничного шару.

Лекція 24. Диференційні рівняння пограничного шару. Диференційні рівняння теплового пограничного шару. Рішення диференційних рівнянь теплового пограничного шару. Аналіз отриманого рішення.

Лекція 25. 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 26. Тепловіддача при течії на пластині. Тепловіддача пластини при турбулентній течії потоку. Визначення середнього коефіцієнту тепловіддачі на пластині при турбулентній течії теплоносія.

Лекція 27. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні тіл різноманітної форми. Тепловіддача при поперечному обтіканні циліндру ламінарним потоком.

Лекція 28. Тепловіддача при зовнішньому обтіканні тіл різноманітної форми.

Тепловіддача при поперечному обтіканні циліндру турбулентним потоком. Вплив на інтенсивність тепловіддачі кута атаки.

Лекція 29. Особливості течії та теплообміну в трубах. Особливості течії рідини з постійними фізичними властивостями.

Лекція 30. Особливості течії та теплообміну в трубах. Особливості течії рідини з постійними фізичними властивостями. Особливості теплообміну. Теплообмін при різних режимах течії рідини в трубах. В'язкотно-гравітаційний режим течії рідини в трубах.

Лекція 31. 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.

Лекція 32. Тепловіддача при перехідному режимі течії рідини в трубах. Тепловіддача при течії рідини в трубах некруглого поперечного розрізу.

Лекція 34. Тепловіддача при вільній конвекції біля горизонтальної плоскої поверхні.

Лекція 35. 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 36. Тепловіддача при вільній конвекції в горизонтальних щілинах. Тепловіддача при вільній конвекції в вертикальних щілинах. Еквівалентний процес теплопровідності. Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності.

### *Практичні заняття*

*Практика 1. Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі одношарової плоскої стінки. Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі багатшарової плоскої стінки. Термічний опір.*

*Практика 2. Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі циліндричної стінки.*

*Практика 3. Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі для тіл з внутрішніми джерелами теплоти.*

*Практика 4. Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі – зменшення інтенсивності теплового потоку, використання ізоляції.*

*Практика 5. Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі – збільшення інтенсивності теплового потоку, використання ребрення.*

*Практика 6. Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі – збільшення інтенсивності теплового потоку, використання трапецеподібних та кільцевих ребер ребрення.*

*Практика 7. Теплопровідність при нестационарному тепловому режимі для нескінченних тіл.*

*Практика 8. Теплопровідність при нестационарному тепловому режимі для тіл кінцевих розмірів.*

*Практика 9. Обробка дослідних даних за допомогою методу теорії подібності.*

*Практика 10. Обробка дослідних даних за допомогою методу теорії подібності.*

*Практика 11. Тепловіддача при течії на плоскій поверхні.*

*Практика 12. Тепловіддача при обтіканні круглого циліндра.*

*Практика 13. Тепловіддача при обтіканні пучків труб.*

*Практика 14. Тепловіддача при ламінарній течії рідини в трубах*

*Практика 15. Тепловіддача при турбулентній течії рідини в трубах*

*Практика 16. Тепловіддача при вільній конвекції в обмеженому просторі. Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності.*

*Практика 17. Тепловіддача при вільній конвекції. Горизонтальна плоска поверхня. Приблизний метод розрахунку тепловіддачі.*

*Практика 18. Тепловіддача при вільній конвекції. Горизонтальна плоска поверхня. Приблизний метод розрахунку тепловіддачі.*

### *Лабораторні роботи*

*Лабораторна 1. Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі одношарової плоскої стінки. Теплопровідність та теплопередача при стаціонарному тепловому режимі багатшарової плоскої стінки. Термічний опір.*

*Лабораторна 2. Інтенсифікація теплообміну за рахунок ребрення. Типи ребрення. Теплопровідність прямого ребра прямокутного профілю, температурне поле. Коефіцієнт ефективності ребра. Число Біо. Теплопередача через ребристу плоску стінку. Температурне поле межреберного простору. Умови вигідності ребрення.*

*Лабораторна 3. Визначення розподілу температур та коефіцієнтів тепловіддачі у поверхні пластини, яка омивається поперечним потоком рідини.*

### **5. Самостійна робота студента**

*Теми до самостійної роботи до лекційних занять:*

*1. Прості та складні способи переносу теплоти в просторі: теплопровідність, конвекція, радіаційний теплообмін, тепловіддача, теплопередача, радіаційно-конвективний теплообмін. (1 год.)*

*2. Вектор щільності теплового потоку. (1 год.)*

*3. Конкретні задачі теплопровідності. (1 год.)*

*4. Теплопровідність багатшарової циліндричної стінки при граничних умовах I роду. Теплопровідність циліндричної оболонки при граничних умовах I роду. (2 год.)*

*5. Теплопровідність сферичної стінки при граничних умовах I роду. (2 год.)*

6. Температурне поле пластини при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. (2 год.)
7. Температурне поле циліндра при стаціонарному тепловому режимі та наявності внутрішніх джерел теплоти. (2 год.)
8. Конструктивні способи зміни інтенсивності теплопередачі. Плоска стінка. (1 год.)
9. Типи оребрення. Пряме ребро прямокутного профілю. Число Біо. Ребриста плоска стінка. (2 год.)
10. Метод приблизного розрахунку коефіцієнта ефективності ребра круглого профілю. (2 год.)
11. Аналіз рішення диференційного рівняння, яке описує температурне поле при нестационарній теплопровідності пластини без внутрішніх джерел тепла. (2 год.)
12. Аналіз рішення диференційного рівняння, яке описує температурне поле при нестационарній теплопровідності циліндру без внутрішніх джерел тепла. (2 год.)
13. Ламінарна та турбулентна течія. (2 год.)
14. Вплив різноманітних факторів на величину коефіцієнта тепловіддачі. (2 год.)
15. Умови однозначності при описанні процесів конвективного теплообміну. (2 год.)
16. (4), стор. 67-69. (2 год.)
17. Способи отримання розрахункових формул для визначення коефіцієнта тепловіддачі. (1 год.)
18. Аналогічні явища. Властивість констант подібності. Використання теорії подібності до явища тепловіддачі. Рівняння подібності. (2 год.)
19. Оцінка порядку членів, що входять до рівнянь руху. (2 год.)
20. Аналіз рішення диференційних рівнянь динамічного пограничного шару. (2 год.)
21. Оцінка порядку членів, що входять до рівняння енергії. (2 год.)
22. Перехід ламінарної течії у турбулентну на пластині. (2 год.)
23. Методика визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі на пластині при ламінарній течії потоку. (2 год.)
24. Методика визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі на пластині при турбулентній течії теплоносія. (2 год.)
25. Методика визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі при поперечному обтіканні циліндру ламінарним потоком. (2 год.)
26. Методика визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі при поперечному обтіканні циліндру турбулентним потоком. (2 год.)
27. Вплив на інтенсивність тепловіддачі при зовнішньому обтіканні пучків гладких труб кута атаки. (2 год.)
28. Особливості ламінарної неізотермічної течії. (2 год.)
29. Особливості течії при в'язкостно-гравітаційному режимі руху рідини в трубах. (2 год.)
30. Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі при ламінарному режимі течії рідини в трубах. (2 год.)
31. Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі при турбулентному режимі течії рідини в трубах. (2 год.)
32. Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі в трубах некруглого поперечного розрізу. (2 год.)
33. Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі на вертикальній поверхні. (2 год.)
34. Рівняння подібності для визначення локального і середнього коефіцієнту тепловіддачі біля горизонтальної плоскої поверхні. (2 год.)
35. Рівняння подібності для визначення середнього коефіцієнту тепловіддачі при вільній конвекції в обмеженому просторі. (1 год.)
36. Тепловіддача при вільній конвекції у незамкненому зазорі. (1 год.)

Індивідуальне завдання



Згідно навчального робочого плану для спеціальності 142 Енергетичне машинобудування ОПП «Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем» у якості індивідуального завдання передбачено виконання розрахункової роботи, виконання якої оцінюється згідно рейтингу кредитного модуля.

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

Індивідуальне завдання складається з 6 задач, на виконання яких передбачено 48 годин СРС. На підготовку до екзамену передбачено 30 годин СРС.

## Політика та контроль

### 6. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Викладачі курсу очікують від студентів активного залучення та безпосередньої участі у опануванні дисципліни, зокрема:

- відвідування занять (лекцій, практичних та лабораторних);
- 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);
- регулярний перегляд повідомлень та виконання призначених завдань; регулярний перегляд та обробка повідомлень на електронну пошту у корпоративному домені @kpi.ua;
- оперативне реагування на запити та питання викладача;
- самостійне оформлення лабораторних робіт та розрахункової роботи, виконання необхідних розрахунків, побудова графіків та написання висновків до роботи; дотримання узгоджених з викладачем правил підготовки, та подальшого виправлення (у разі необхідності) завдань; індивідуальний їх захист.
- вчасною здачею лабораторних робіт та індивідуальних завдань є захист отриманих результатів на протязі 2 занять з моменту виконання лабораторної роботи згідно розкладу.
- розуміння та дотримання рейтингової системи оцінювання (PCO);
- дотримання політики дедлайнів та перескладань;
- дотримання політики щодо академічної доброчесності;
- інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам університету.

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

Поточний контроль: опитування за темами (ZOOM конференції), МКР

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: Екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за опитуваннями, зарахування усіх лабораторних робіт, виконання РГР, семестровий рейтинг більше 30 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

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

	кількість	бали	сума балів
<i>Практичні заняття</i>	18	відповіді на занятті	6
<i>Домашні завдання</i>	16	виконане д.з.	0,5
<i>Лабораторні заняття</i>	3	робота на занятті	2
		захист	7
<i>РР</i>	6	виконання	1
		захист	5
<i>МКР</i>	1	2x10	20
<i>Сума вагових балів контрольних заходів</i>			60

*Шкала балів за відповідні рівні оцінювання з кожного виду контролю.*

*1. МКР:*

*Модульна контрольна робота. Частина I (10 балів)*

*«відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 10-9 балів;*

*«добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 8-7 балів;*

*«задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 6-4 балів;*

*«незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 3-0 балів.*

*Модульна контрольна робота. Частина II (10 балів)*

*«відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 10-9 балів;*

*«добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 8-7 балів;*

*«задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 6-4 балів;*

*«незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 3-0 балів.*

*2. Практичне заняття (з розрахунку чотири питання всього 6 балів):*

*«відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 6 балів;*

*«добре», глибоке розкриття питань – 4...5 балів;*

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

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

*за умови гарної роботи (3 бали), правильно оформленого протоколу (1 бал), гарного і своєчасного захисту роботи (5 балів) – 15 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 6 завдань РР по 1 балу та захисту РР 3 бали):

виконання завдань РР:

«відмінно», творче виконання завдання – 6 балів;

«добре», достатньо повно виконане завдання, або повно виконане завдання з незначними неточностями – 4...5 балів;

«задовільно», не достатньо повно виконане завдання, має незначні помилки – 2...3 бали.

захист РР:

«відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 3 бали;

«добре», глибоке розкриття питань – 2 бали;

«задовільно», недостатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 1 бал.

5. Виконання самостійної роботи.

Лекційний курс (36 завдань, за кожне завдання по 2 бали):

«зараховано», виконання завдання у строк – 2 бали;

«зараховано», завдання виконано, але не у строк – 0...1бал.

За кожний тиждень запізнення з поданням виконаного завдання на СРС чи захист лабораторної роботи від встановленого терміну оцінка знижується на один бал.

Заохочувальні і штрафні бали:

	бали
1. Несвоєчасне виконання завдання СРС, розрахункової роботи	-1
2. Не своєчасне виконання лабораторної роботи	-1
3. Не своєчасний захист лабораторної роботи, розрахункової роботи	-1
4. Відсутність на лекції або на практичних заняттях без поважних причин	-2
5. Ведення конспекту лекцій	1... 5
Сума заохочувальних і штрафних балів RS	10

## 8. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік екзаменаційних питань

1. Диференціальне рівняння теплопровідності і його окремі випадки.
2. Математичний опис процесу теплопровідності.
3. Стаціонарна теплопровідність однорідної плоскої стінки.
4. Теплопровідність багатошарової плоскої стінки. Контактний термічний опір.
5. Теплопередача через одношарову і багатошарову плоску стінку.
6. Теплопровідність одношарової циліндричної стінки.
7. Теплопередача через одношарову і багатошарову 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. Теорема 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

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено старшим викладачем каф. АЕС і ІТФ, к.т.н., Воробйовим Микитою Валерійовичем

Ухвалено кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 19 від 09.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету I (протокол № \_\_ від \_\_\_\_\_)

---

<sup>1</sup> Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.