

Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14- «Електрична інженерія» зі спеціальності 142 - «Енергетичне машинобудування»

«Тепломасообмін»

210 год. / 7 кредитів ЕКТС

(45 год. лекцій, 15 год. лабораторних занять, 30 год. практичних занять)

Навчальний контент

Модуль 1

Змістовий модуль 1. Вступ. Предмет тепломасообміну. Способи перенесення теплоти. Фізичний опис процесів теплопровідності. Перший закон термодинаміки для процесів теплопровідності

Тема 1. Вступ. Способи перенесення теплоти. Значення та зміст дисципліни. Значення процесів тепломасообміну в енергетиці. Основні етапи розвитку теорії тепломасообміну та зв'язок з суміжними дисциплінами.

Тема 2. Основні поняття та закони тепломасообміну. Фізичний опис процесів тепломасообміну.

Тема 3. Перший закон термодинаміки для процесів теплопровідності. Перший закон термодинаміки для процесів теплопровідності. Диференціальне рівняння теплопровідності та крайові умови.

Змістовий модуль 2. Стаціонарна теплопровідність та теплопередача крізь стінки. Внутрішні джерела теплоти. Інтенсифікація теплопередачі. Оребрення

Тема 4. Стаціонарна теплопровідність крізь стінки. Стаціонарна теплопровідність крізь плоску, циліндричну та сферичну стінки. Температурне поле стінок. Термічний опір теплопровідності.

Тема 5. Стаціонарна теплопередача крізь стінки. Стаціонарна теплопередача крізь плоску, циліндричну, сферичну одно- та багаточарові стінки. Термічний опір та коефіцієнт теплопередачі. Теплова ізоляція. Вибір матеріалу ізоляції.

Тема 6. Внутрішні джерела теплоти. Стаціонарна теплопровідність при наявності внутрішніх джерел теплоти. Плоска стінка та циліндричний стріжень. Методи інтенсифікації теплопередачі. Інтенсифікація теплопередачі оребрення. Теплопровідність прямих та круглих ребер. Ефективність ребер. Теплопередача крізь оребрені стінки.

Змістовий модуль 3. Нестационарна теплопровідність. Аналітичне вирішення задач нестационарної теплопровідності. Регулярний тепловий процес

Тема 7. Нестационарна теплопровідність. Значення перехідних теплових процесів в енергетиці. Види нестационарних процесів та аналітична постановка задачі. Нагрів та охолодження тіл в середовищі з постійною температурою.

Тема 8. Аналітичні вираження задач нестационарної теплопровідності. Нестационарна теплопровідність в тілах з рівномірним температурним полем. Формулювання і аналітичне рішення задачі для тонкої пластини. Аналіз рішення, критерії теплової подібності для нестационарних процесів. Визначення теплоти, що підводиться до тіл необмежених кінцевих розмірів.

Тема 9. Регулярний тепловий процес. Регулярний тепловий режим та його математичний опис. Темп охолодження. Теореми Кондрате'ва. Застосування теорії регулярного режиму до дослідного визначення коефіцієнтів тепловіддачі та теплофізичних властивостей. Методи рішення задач теплопровідності на ЕОМ.

Модуль 2

Змістовий модуль 4. Система диференціальних рівнянь конвективного теплообміну. Основні положення теорії теплової подібності

Тема 10. Система диференціальних рівнянь конвективного теплообміну. Система диференціальних рівнянь енергії руху, суцільності та тепловіддачі. Крайові умови.

Тема 11. Основні положення теорії теплової подібності. Основні положення теорії теплової подібності. Теореми подібності. Числа подібності та їх фізичний зміст. Узагальнення досліdnих даних на основі теорії подібності. Методи експериментального визначення та осереднення коефіцієнтів тепловіддачі. Одержання рівнянь подібності. Теплове моделювання та методи аналогії процесів.

Змістовий модуль 5. Вільна конвекція. Вільна конвекція в прошарках

Тема 12. Вільна конвекція. Основні фактори, що обумовлюють вільну конвекцію. Характер руху рідини поблизу вертикальної стінки. Аналітична постановка задачі та її рішення. Критеріальні рівняння для розрахунку тепловіддачі при вільній конвекції.

Тема 13. Вільна конвекція в прошарках. Вільна конвекція у горизонтальних поверхонь та циліндрів. Критеріальні рівняння. Еквівалентна теплопровідність.

**Змістовий модуль 6. Вимушена конвекція теплоти при
повздовжньому обтіканні стінки. Основи гідродинамічної теорії
теплообміну. Теплообмін конвекцією у трубах і каналах. Теплообмін при
поперечному обтіканні труб та пучків труб**

Тема 14. Вимушена конвекція теплоти при повздовжньому обтіканні стінки. Тепловіддача плоскої поверхні при вимушеному повздовжньому обтіканні. Гідродинамічний та тепловий граничні шари. Режими руху в шарах. Інтегральне співвідношення. Рішення задачі повздовжнього обтікання (ламінарний режим), критеріальні рівняння. Вплив змінності теплофізичних властивостей рідини, температури стінок та довжини ділянки теплопідводу. Основи гідродинамічної теорії теплообміну. Перехід від ламінарної до турбулентної течії. Турбулентність потоку та її вплив на тепловіддачу. Основи гідродинамічної теорії теплообміну. Критеріальні рівняння тепловіддачі плоскої поверхні – турбулентна течія.

Тема 15. Теплообмін конвекцією у трубах і каналах. Особливість руху і теплообміну в каналах. Режими руху: ламінарний (в'язкісний та в'язкісно-гравітаційний), турбулентний та перехідний. Критеріальні рівняння для розрахунку тепловіддачі в трубах і каналах. Тепловіддача в каналах некруглого перерізу та зігнутих трубах.

Тема 17. Теплообмін при поперечному обтіканні труб та пучків труб. Поперечне обтікання круглого циліндра. Зміна характеру течії та інтенсивності тепловіддачі по периметру циліндра. Розрахункові критеріальні залежності. Основні типи пучків труб. Характер руху в пучках. Емпіричні формули для розрахунку тепловіддачі і гідравлічного опору пучків труб.

Модуль 3

**Змістовий модуль 7. Теплообмін при конденсації пари. Розрахунки
теплообміну при конденсації пари. Механізми кипіння. Розрахунки
процесів кипіння. Основні положення та фізичний опис випромінювання**

Тема 18. Теплообмін при конденсації пари. Конденсація пари. Термічний опір процесу. Види конденсації: плівкова та краплинна; поверхнева та об'ємна. Постановка та рішення задачі плівкової конденсації нерухомої пари (задача Нуссельта). Вплив змінності теплофізичних властивостей та хвильового режиму течії плівки. Розрахунки теплообміну при конденсації пари. Механізм кипіння. Змішана та турбулентна течія плівки конденсату, критеріальні рівняння. Конденсація у трубах і зовні труб, а також їх пучків. Вплив швидкості пари, ступеня перегріву пари та неконденсуючих газів. Механізм процесу кипіння рідини. Бульбашкове і плівкове кипіння рідини. Кипіння у великому об'ємі та недогрітої рідини.

Тема 19. Розрахунки процесів кипіння. Залежність густини теплового потоку та коефіцієнтів тепловіддачі від температурного напору. Перша та друга

критичні густини теплового потоку при кипінні. Емпіричні та критеріальні рівняння для розрахунку процесів кипіння. Теплообмін та пароутворення у горизонтальних та вертикальних трубах та каналах. Характерні зони течії та теплообміну. Розрахунки тепловіддачі в пароутворюючих каналах.

Тема 20. Основні положення та фізичний опис випромінюванням. Основні положення та фізичний опис процесу випромінювання. Види променистих потоків та оптичні властивості тіл. Поверхнева густина теплового потоку та яскравість випромінювання. Закони випромінювання: Планка, Стефана-Больцмана, Віна, Кірхгофа, Ламберта.

Змістовий модуль 8. Розрахунки процесу випромінювання. Основні поняття та закони тепломасообміну. Тепло- і масовіддача в парогазових сумішах.

Тема 21. Розрахунки процесу випромінювання. Теплообмін випромінюванням між тілами. Кутові коефіцієнти випромінювання. Екранування випромінювання. Особливості випромінювання в поглинаючих та випромінюючих середовищах – газах та парах. Променистий теплообмін між газовою середовищем та стінкою. Складний теплообмін. Рівняння для розрахунку випромінювання. Критерії радіаційної подібності.

Тема 22. Основні поняття та закони тепломасообміну. Основні поняття та закони тепломасообміну. Перенесення маси дифузійно. Концентраційна, термо- та бародифузія. Густина потоку маси. Диференціальні рівняння та крайові умови. Тепло- і масовіддача в парогазових сумішах. Тепло- і масовіддача при конденсації пари із парогазової суміші. Тепло- і масовіддача при випаровуванні рідини у парогазову суміш. Тепломасообмін між водою та повітрям. Потрійна аналогія процесів руху і тепломасообміну та її використання у теплових розрахунках.

Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14- «Електрична інженерія» зі спеціальності 142 - «Енергетичне машинобудування»

«Тепломасообмін»

210 год. / 7 кредитів ЕКТС

(45 год. лекцій, 15 год. лабораторних занять, 30 год. практичних занять)

Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вступ. Методика виконання робіт. Інструктажі з техніки безпеки та пожежної безпеки. Вимоги до якості та форми представлення звітів	2
2	Визначення коефіцієнта теплопровідності методом стаціонарного теплового режиму.	2
3	Визначення теплофізичних властивостей речовин методом регулярного режиму.	2
4	Визначення коефіцієнта тепловіддачі методом регулярного режиму.	2
5	Тепловіддача вільною конвекцією у вертикальній поверхні.	2
6	Тепловіддача вільною конвекцією у горизонтального циліндра.	2
7	Тепловіддача вільною конвекцією у вертикального циліндра.	3
Разом		15

Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14- «Електрична інженерія» зі спеціальності 142 - «Енергетичне машинобудування»

«Тепломасообмін»

210 год. / 7 кредитів ЕКТС

(45 год. лекцій, 15 год. лабораторних занять, 30 год. практичних занять)

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основні поняття та визначення дисципліни. Методика проведення практичних занять та виконання теплових розрахунків.	2
2	Вирішення типових завдань та задач зі стаціонарної теплопровідності.	2
3	Вирішення типових задач зі стаціонарної теплопередачі.	2
4	Вирішення типових завдань і задач з оребрення, внутрішніх джерел теплоти.	4
5	Вирішення типових завдань і задач з нестационарної теплопровідності.	4
6	Вирішення типових завдань і задач з теорії теплової подібності та вільної конвекції.	4
7	Вирішення типових завдань і задач з вимушеної тепловіддачі стінок.	4
8	Вирішення типових завдань і задач з тепловіддачі у каналах та зовнішньому обтіканні труб та пучків труб.	2
9	Вирішення типових завдань і задач тепловіддачі при конденсації та кипінні.	2
10	Вирішення типових завдань і задач з випромінювання.	2
11	Вирішення типових завдань і задач з теплопередачі у теплообмінних апаратах.	2
Усього		30

Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14- «Електрична інженерія» зі спеціальності 142 - «Енергетичне машинобудування»

«Тепломасообмін»

210 год. / 7 кредитів ЕКТС

(45 год. лекцій, 15 год. лабораторних занять, 30 год. практичних занять)

Завдання для самостійної роботи

Самостійна робота з курсу «Тепломасообмін» включає такі форми:

- опрацювання лекційного матеріалу;
- підготовка до лабораторних занять;
- підготовка до практичних занять;
- самостійна робота з літературою та джерелами для опрацювання актуальних питань курсу.

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Теплопровідність. Фізичні основи. Температурне поле, градієнт температур. Тепловий потік. Закон Фур'є.	5
2	Крайові умови для рішення задач теплопровідності. Коефіцієнт теплопровідності. Значення коефіцієнтів теплопровідності для різноманітних тіл.	5
3	Стаціонарна теплопровідність крізь плоску стінку. Стаціонарна теплопередача крізь циліндричну стінку.	6
4	Стаціонарна теплопередача крізь ребрену стінку. Коефіцієнт ефективності ребра.	6
5	Стаціонарна теплопровідність при наявності внутрішніх джерел теплоти.	6
6	Аналітичний опис нестаціонарної теплопровідності. Рішення для охолодження (нагріву) пластини.	6
7	Охолодження (нагрів) тіл кінцевих розмірів.	5
8	Регулярний режим. Темп охолодження.	5
9	Закон Н'ютона-Ріхмана.	6
10	Числа подібності і їх фізичний зміст. Умови подібності для процесів конвективного теплообміну. Теореми подібності. Критерії подібних процесів.	6
11	Стаціонарна тепловіддача плоскої поверхні примусовою конвекцією. Фізичний опис.	6
12	Тепловіддача при течії рідини у пучках труб. Тепловіддача при течії рідини в каналах некруглого перерізу і зігнутих трубах.	6
13	Тепловіддача при вільній конвекції. Місцева і середня тепловіддача на вертикальній поверхні при ламінарній течії.	5

14	Тепловіддача при вільній конвекції на вертикальній поверхні при турбулентній течії.	6
15	Тепловіддача при вільній конвекції на горизонтальних циліндрах.	5
16	Тепловіддача при вільній конвекції у щілинах і прошарках.	6
17	Термічний опір плівки конденсату.	6
18	Теплообмін при кипінні рідини. Бульбашкове кипіння. Теплообмін при плівковому кипінні. Рівняння для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні.	6
19	Теплообмін випромінюванням. Фізична природа теплового випромінювання. Закони теплового випромінювання.	6
20	Теплопередача в теплообмінних апаратах. Основні рівняння для теплового розрахунку теплообмінних апаратів.	6
21	Потрійна аналогія процесів тепло- і масовіддачі і руху рідини та її застосування при моделюванні процесів та у теплових розрахунках.	6
Разом		120

Завдання для поточного та підсумкового контролю

Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14- «Електрична інженерія» зі спеціальності 142 - «Енергетичне машинобудування»

«Тепломасообмін»

210 год. / 7 кредитів ЕКТС

(45 год. лекцій, 15 год. лабораторних занять, 30 год. практичних занять)

Модуль 1

1. Значення і зміст курсу ТМО. Головні засоби переносу теплоти.
2. Теплопровідність. Фізичні основи. Температурне поле, градієнт температур.
3. Тепловий потік. Закон Фур'є.
4. Коефіцієнт теплопровідності. Значення коефіцієнтів теплопровідності для різноманітних тіл.
5. Диференціальне рівняння теплопровідності.
6. Крайові умови для рішення задач теплопровідності.
7. Стаціонарна теплопровідність крізь плоску стінку. Граничні умови I-го роду. Термічний опір стінки.
8. Стаціонарна теплопровідність багат шарової стінки.
9. Стаціонарна теплопередача крізь плоску стінку. Граничні умови III-го роду. Коефіцієнт теплопередачі.
10. Стаціонарна теплопровідність крізь циліндричну стінку. Граничні умови I-го роду.
11. Стаціонарна теплопровідність багат шарової циліндричної стінки. Граничні умови I-го роду.
12. Стаціонарна теплопередача крізь циліндричну стінку. Граничні умови III-го роду. Багат шарова стінка.
13. Критичний діаметр циліндричної стінки. Умови вибору теплової ізоляції.
14. Спосіб інтенсифікації стаціонарної теплопередачі за рахунок збільшення коефіцієнтів тепловіддачі.
15. Спосіб інтенсифікації стаціонарної теплопередачі за рахунок збільшення площини теплообміну. Оребрення стінок.
16. Диференціальне рівняння стаціонарної теплопровідності у прямому ребрі постійного перерізу. Тепловий потік ребра.
17. Стаціонарна теплопередача крізь оребрену стінку. Коефіцієнт ефективності ребра.
18. Стаціонарна теплопровідність при наявності внутрішніх джерел теплоти.
19. Аналітичний опис нестационарної теплопровідності. Рішення для охолодження (нагріву) пластини.
20. Нестационарна теплопровідність. Випадки $R_{\text{внут}} < R_{\text{зов}}$ і $R_{\text{внут}} \cong R_{\text{зов}}$.

21. Визначення теплоти, яка віддається пластиною при охолодженні.
22. Охолодження (нагрів) тіл кінцевих розмірів.
23. Випадок нерівномірного розподілу температур при нестационарній теплопровідності. Регулярний режим.
24. Темп охолодження. Критерій Біо.

Модуль 2

1. Конвективний теплообмін. Фізичний опис. Примусова і вільна конвекції. Закон Н'ютона-Ріхмана.
2. Диференціальне рівняння енергії для конвективного теплообміну.
3. Система рівнянь для вирішення задач конвективного теплообміну. Граничні умови.
4. Приведення системи рівнянь стаціонарного конвективного теплообміну до безрозмірного вигляду. Числа подібності і їх фізичний зміст.
5. Умови подібності для процесів конвективного теплообміну. Теорема подібності. Критерії подібних процесів.
6. Представлення результатів експерименту конвективного теплообміну в критеріальному вигляді. Отримання критеріальних залежностей.
7. Засоби експериментального знаходження коефіцієнтів тепловіддачі конвективного теплообміну.
8. Осереднення коефіцієнтів тепловіддачі.
9. Стаціонарна тепловіддача плоскої поверхні примусовою конвекцією. Фізичний опис.
10. Інтегральне рівняння теплового потоку для прикордонного шара.
11. Стаціонарна примусова конвективна тепловіддача плоскої поверхні при ламінарному прикордонному шарі.
12. Залежність конвективної тепловіддачі від змінності фізичних властивостей рідини.
13. Вплив на стаціонарну конвективну тепловіддачу змінності температури поверхні пластини по довжині.
14. Вплив на стаціонарну конвективну тепловіддачу початкової ділянки, що не обігривається.
15. Стаціонарна примусова конвективна тепловіддача плоскої поверхні при турбулентному прикордонному шарі.
16. Тепловіддача при течії рідини у трубах і каналах. Особливості течії теплообміну.
17. Гідродинамічний і тепловий прикордонні шари. В'язкісний та в'язкісно-гравітаційний режими течії.
18. Результати дослідів з тепловіддачі примусовою конвекцією у трубах і каналах.
19. Теплообмін при зовнішній течії рідини навколо однієї труби.

20. Тепловіддача при течії рідини у пучках труб.
21. Тепловіддача при течії рідини в каналах некруглого перерізу і зігнутих трубах.
22. Тепловіддачі при вільній конвекції. Місцева і середня тепловіддача на вертикальній поверхні при ламінарній течії.
23. Тепловіддача при вільній конвекції на вертикальній поверхні при турбулентній течії.
24. Тепловіддача при вільній конвекції на горизонтальних циліндрах.
25. Тепловіддача при вільній конвекції у щілинах і прошарках.
26. Еквівалентна теплопровідність вільною конвекцією. Коефіцієнт конвекції.

Модуль 3

1. Термічний опір плівки конденсату.
2. Теплообмін при ламінарній течії плівки конденсату на вертикальній поверхні. Рішення Нуссельта.
3. Вплив на теплообмін плівки конденсату сил інерції, залежності теплофізичних властивостей від температури та режиму хвильової течії плівки.
4. Теплообмін при турбулентній течії плівки конденсату.
5. Теплообмін при кипінні рідини. Бульбашкове кипіння.
6. Теплообмін при плівковим кипінні.
7. Залежність теплового потоку від температурного напору при кипінні рідини. Критична густина теплового потоку.
8. Залежність коефіцієнта тепловіддачі при кипінні рідини від температурного напору.
9. Рівняння для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні. Теплообмін випромінюванням. Фізична природа теплового випромінювання. Оптичні здібності фізичних тіл. Види потоків випромінювання.
10. Закони теплового випромінювання.
11. Теплообмін випромінюванням між тілами з плоскопаралельними поверхнями без екранів.
12. Теплообмін випромінюванням між тілами при наявності екранів.
13. Класифікація теплообмінних апаратів.
14. Теплопередача в теплообмінних апаратах. Основні рівняння для теплового розрахунку теплообмінних апаратів.
15. Водяний еквівалент залежності зміни температури теплоносіїв від співвідношення водяних еквівалентів при різних схемах руху.
16. Середнелогарифмічний температурний напір пряموструминного руху теплоносіїв.
17. Середнелогарифмічний температурний напір протиструминного руху теплоносіїв.

18. Середнелогарифмічний температурний напір перехресного руху теплоносіїв.
 19. Основні поняття тепло- і масообміну.
 20. Диференціальні рівняння тепло- і масообміну.
 21. Тепло- і масовіддача в елементах енергетичних установок.
1. Потрійна аналогія процесів тепло- і масовіддачі і руху рідини та її застосування при моделюванні процесів та у теплових розрахунках.