

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14 – "Електрична
інженерія" зі спеціальності 144 –"Теплоенергетика"**

"Тепломасообмін"

**180 год./6 кредитів ЕКТС
(15 год. лабораторних 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.

Джерела інформації: [1] с.3-6, [2] с.4-7.

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

Джерела інформації: [1] с.5-16; [2] с.8-12, 32-35; [6] с.6-13.

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

Джерела інформації: [1] с.16-24; [6] с.22-27.

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

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

Джерела інформації: [1] с.24-34; [2] с.12-15; [6] с.45-50.

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

Джерела інформації: [1] с.34-44; [2] с.180-203.

Тема 6. Внутрішні джерела теплоти. Стационарна 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.

Джерела інформації: [1] с.45-66; [2] с.26-31, 279-292; [6] с.51-60.

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.

Джерела інформації: [1] с.66-68; [2] с.204-207; [6] с.60-76.

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

Джерела інформації: [1] с.61-89; [2] с.207-216; [6] с.76-82.

Тема 9. Регулярний тепловий процес. Регулярний тепловий режим та його математичний опис. Темп охолодження. Теореми Кондратєва. 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.

Джерела інформації: [1] с.109-123; [2] с.36-42; [6] с.14-26.

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

Джерела інформації: [1] с.129-149; [2] с.43-63, 255-262; [6] с.28-44.

Змістовний 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.

Джерела інформації: [1] с.201-207; [2] с.87-92; [6] с.175-180.

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

Джерела інформації: [1] с.207-210; [2] с.91-93; [6] с.180-184.

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 поздовжньому обтіканні. Гідродинамічний та тепловий граничні шари. Режими руху в шарах. Інтегральне співвідношення. Рішення задачі поздовжнього обтікання (ламінарний режим), критеріальні рівняння. Вплив змінності теплофізичних властивостей рідини, температури стінок та довжини ділянки тепlopідводу. 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.

Джерела інформації: [1] с.155-173; [2] с.64-72; [6] с.158-168.

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.

Джерела інформації: [1] с.173-192; [2] с.73-86; [6] с.185-190.

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.

Джерела інформації: [1] с.192-200; [2] с.93-101; [6] с.191-197.

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.

Джерела інформації: [1] с.226-256; [2] с.128-148; [6] с.250-259.

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.

Джерела інформації: [1] с.257-282; [2] с.109-127; [6] с.270-273.

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.

Джерела інформації: [1] с.312-326; [2] с.149-160; [6] с.273-286.

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 середах – газах та парах. Променистий теплообмін між газовою середою та стінкою. Складний теплообмін. Рівняння для розрахунку випромінювання. Критерії радіаційної подібності.

Джерела інформації: [1] с.326-375; [2] с.161-179; [6] с.286-296.

Тема 22. Основні поняття та закони тепломасообміну. Основні поняття та закони тепломасообміну. Перенесення маси дифузією. Концентраційна, термота бародіфузія. 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.

Джерела інформації: [1] с.282-301; [6] с.148-153.

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14 – "Електрична
інженерія" зі спеціальності 144 –"Теплоенергетика"**

"Тепломасообмін"

**180 год./6 кредитів ЕКТС
(15 год. лабораторних занять)**

Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основні поняття та визначення дисципліни. Методика проведення практичних занять та виконання теплових розрахунків. Джерела інформації: [4] с.4-6; [13] с.4-15.	2
2	Вирішення типових завдань та задач зі стаціонарної тепlopровідності. Джерела інформації: [3] с.5-9; [4] с.6-19.	2
3	Вирішення типових задач зі стаціонарної тепlop передачі. Джерела інформації: [3] с.9-20; [4] с.6-19.	2
4	Вирішення типових завдань і задач з оребрення, внутрішніх джерел теплоти. Джерела інформації: [3] с.21-35; [4] с.19-34.	4
5	Вирішення типових завдань і задач з нестаціонарної тепlopровідності. Джерела інформації: [3] с.21-35; [4] с.19-48; [8] с.182-191.	4
6	Вирішення типових завдань і задач з теорії теплової подібності та вільної конвекції. Джерела інформації: [3] с.52-57, 145-151; [4] с.49-58, 77-84	4
7	Вирішення типових завдань і задач з вимушеної тепловіддачі стінок. Джерела інформації: [3] с.58-63; [4] с.59-76.	4
8	Вирішення типових завдань і задач з тепловіддачі у каналах та зовнішньому обтіканні труб та пучків труб. Джерела інформації: [3] с.64-144; 4 с.49-76.	2
9	Вирішення типових завдань і задач тепловіддачі при конденсації та кипінні. Джерела інформації: [3] с.152-179; [4] с.85-100.	2

10	Вирішення типових завдань і задач з випромінювання. Джерела інформації: [3] с.180-211; [4] с.101-115.	2
11	Вирішення типових завдань і задач з теплопередачі у теплообмінних апаратах. Джерела інформації: [3] с.212-243; [4] с.116-128;8 с.295-304.	2
Усього		30

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14 – "Електрична
інженерія" зі спеціальності 144 –"Теплоенергетика"**

"Тепломасообмін"

**180 год./6 кредитів ЕКТС
(15 год. лабораторних 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. Джерела інформації: [5], вступ; [7] с.3-20.	2
2	Визначення коефіцієнта тепlopровідності методом стаціонарного теплового режиму. Джерела інформації: [5] л.р. № 1.1.	2
3	Визначення теплофізичних властивостей речовин методом регулярного режиму. Джерела інформації: [5], л.р. № 2.6.	2
4	Визначення коефіцієнта тепловіддачі методом регулярного режиму. Джерела інформації: [5], л.р. № 2.6.	2
5	Тепловіддача вільною конвекцією у вертикальної поверхні. Джерела інформації: [5] л.р. № 3.1.	2
6	Тепловіддача вільною конвекцією у горизонтального циліндра. Джерела інформації: [5], л.р. № 3.4.	2
7	Тепловіддача вільною конвекцією у вертикального циліндра. Джерела інформації:[5], л.р. № 3.2.	3
Разом		15

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14 – "Електрична
інженерія" зі спеціальності 144 –"Теплоенергетика"**

"Тепломасообмін"

**180 год./6 кредитів ЕКТС
(15 год. лабораторних занять)**

Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Теплопровідність. Фізичні основи. Температурне поле, градієнт температур. Тепловий потік. Закон Фур'є. Джерела інформації: [1] с.16-24; [2], с. 12-15	3
2	Крайові умови для рішення задач теплопровідності. Коефіцієнт теплопровідності. Значення коефіцієнтів теплопровідності для різноманітних тіл. Джерела інформації:[2], с. 8-12	4
3	Стаціонарна теплопровідність крізь плоску стінку. Стационарна тепlop передача крізь циліндричну стінку. Джерела інформації:[2], с. 12-18	3
4	Стаціонарна тепlop передача крізь оребрену стінку. Коефіцієнт ефективності ребра. Джерела інформації [1] с.45-66; [2] с.26-31, 279-292; [6] с.51-60	4
5	Стаціонарна теплопровідність при наявності внутрішніх джерел теплоти.Джерела інформації: [2], с. 26-32	3
6	Аналітичний опис нестационарної теплопровідності. Рішення для охолодження (нагріву) пластини. Джерела інформації: [2], с. 207-224	4
7	Охолодження (нагрів) тіл кінцевих розмірів. Джерела інформації: [1] с.61-89; [2[с.207-216; [6] с.76-82.	3
8	Регулярний режим. Темп охолодження. Джерела інформації:[2], с. 224-228	4
9	Закон Ньютона-Ріхмана. Джерела інформації: [2], с. 220-228	7

10	Числа подібності і їх фізичний зміст. Умови подібності для процесів конвективного теплообміну. Теореми подібності. Критерій подібних процесів. Джерела інформації: [2], с. 36-64	3
11	Стаціонарна тепловіддача плоскої поверхні примусовою конвекцією. Фізичний опис. Джерела інформації: [1] с.155-173; [2] с.64-72; [6] с.158-168.	5
12	Тепловіддача при течії рідини у пучках труб. Тепловіддача при течії рідини в каналах некруглого перерізу і зігнутих трубах. Джерела інформації: [1] с.173-192; [2] с.73-86; [6] с.185-190	3
13	Тепловіддача при вільній конвекції. Місцева і середня тепловіддача на вертикальній поверхні при ламінарній течії. Джерела інформації: [1] с.201-207; [2] с.87-92; [6] с.175-180	3
14	Тепловіддача при вільній конвекції на вертикальній поверхні при турбулентній течії. Джерела інформації: [1] с.201-207; [2] с.87-92; [6] с.175-180	5
15	Тепловіддача при вільній конвекції на горизонтальних циліндрах. Джерела інформації: [1] с.192-200; [2] с.93-101; [6] с.191-197	3
16	Тепловіддача при вільній конвекції у щілинах і прошарках. Джерела інформації: [1] с.207-210; [2] с.91-93; [6] с.180-184	5
17	Термічний опір плівки конденсату. Джерела інформації: [1] с.226-256; [2] с.128-148; [6] с.250-259	6
18	Теплообмін при кипінні рідини. Бульбашкове кипіння. Теплообмін при плівковому кипінні. Рівняння для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні. Джерела інформації:[2], с. 102-128	6
19	Теплообмін випромінюванням. Фізична природа теплового випромінювання. Закони теплового випромінювання. Джерела інформації: [2], с. 149-180	6
20	Теплопередача в теплообмінних апаратах. Основні рівняння для теплового розрахунку теплообмінних апаратів. Джерела інформації: [2], с. 228-255	6

21	<p>Потрійна аналогія процесів тепло- і масовіддачі і руху рідини та її застосування при моделюванні процесів та у теплових розрахунках.</p> <p>Джерела інформації: [1] с.282-301; [6] с.148-153</p>	6
Разом		90

**Програма підготовки бакалаврів у галузі знань 14 – "Електрична
інженерія" зі спеціальності 144 –"Теплоенергетика"**

"Тепломасообмін"

**180 год./6 кредитів ЕКТС
(15 год. лабораторних занять)**

Завдання для поточного та підсумкового модулю

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. Стационарна теплопровідність крізь плоску стінку. Границі умови I-го роду. Термічний опір стінки.
8. Стационарна теплопровідність багатошарової стінки.
9. Стационарна теплопередача крізь плоску стінку. Границі умови III-го роду. Коефіцієнт теплопередачі.
10. Стационарна теплопровідність крізь циліндричну стінку. Границі умови I-го роду.
11. Стационарна теплопровідність багатошарової циліндричної стінки. Границі умови I-го роду.
12. Стационарна теплопередача крізь циліндричну стінку. Границі умови III-го роду. Багатошарова стінка.
13. Критичний діаметр циліндричної стінки. Умови вибору теплової ізоляції.
14. Спосіб інтенсифікації стационарної теплопередачі за рахунок збільшення коефіцієнтів тепловіддачі.
15. Спосіб інтенсифікації стационарної теплопередачі за рахунок збільшення площини теплообміну. Оребрення стінок.
16. Диференціальне рівняння стационарної теплопровідності у прямому ребрі постійного перерізу. Тепловий потік ребра.
17. Стационарна теплопередача крізь оребрену стінку. Коефіцієнт ефективності ребра.

18. Стационарна 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'ютон-Ріхмана.
2. Диференціальне рівняння енергії для конвективного теплообміну.
3. Система рівнянь для вирішення задач конвективного теплообміну. Границі умови.
4. Приведення системи рівнянь стационарного конвективного теплообміну до безрозмірного вигляду. Числа подібності і їх фізичний зміст.
5. Умови подібності для процесів конвективного теплообміну. Теореми подібності. Критерії подібних процесів.
6. Представлення результатів експерименту конвективного теплообміну в критеріальному вигляді. Получення критеріальних залежностей.
7. Засоби експериментального знаходження коефіцієнтів тепловіддачі конвективного теплообміну.
8. Осереднення коефіцієнтів тепловіддачі.
9. Стационарна тепловіддача плоскої поверхні примусовою конвекцією. Фізичний опис.
10. Інтегральне рівняння теплового потоку для прикордонного шара.
11. Стационарна примусова конвективна тепловіддача плоскої поверхні при ламінарному прикордонному шарі.
12. Залежність конвективної тепловіддачі від змінності фізичних властивостей рідини.
13. Вплив на стационарну конвективну тепловіддачу змінності температури поверхні пластини по довжині.
14. Вплив на стационарну конвективну тепловіддачу початкової ділянки, що не обігрівається.
15. Стационарна 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 трубы.
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 тепlopровідність 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 апаратих. Основні рівняння для теплового розрахунку теплообмінних апаратів.

15. Водяний еквівалент залежності зміни температури теплоносіїв від співвідношення водяних еквівалентів при різних схемах руху.
16. Середнєлогарифмічний температурний напір прямострумінного руху теплоносіїв.
17. Середнєлогарифмічний температурний напір протиструмінного руху теплоносіїв.
18. Середнєлогарифмічний 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.
22. Потрійна аналогія процесів тепло- і масовіддачі і руху рідини та її застосування при моделюванні процесів та у теплових розрахунках.