

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова
МАШИНОБУДІВНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ І СУДНОВИХ ПАРОВИРОБНИХ
УСТАНОВОК



ЗАТВЕРДЖЕНО

Проректор з науково-
педагогічної роботи

 Сергій СЛОБОДЯН

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Program of the Discipline

Тепломасообмін

HEAT AND MASS EXCHANGE

рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

тип дисципліни: обов'язкова

мова(и) викладання: українська

Миколаїв – 2025

Робоча програма навчальної дисципліни «Тепломасообмін» є однією із складових комплексної підготовки фахівців галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G11 Машинобудування спеціалізації G11.02 Двигуни та енергетичні установки освітньо-професійної програми «Газотурбінні установки і компресорні станції».

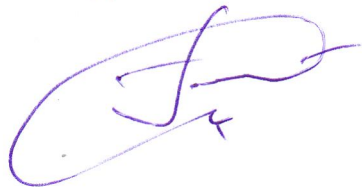
«01» 09 2025 року. – 28 с.

Розробник:

Димо Б.В., зав. кафедри Технічної теплофізики і суднових паровиробних установок, канд. техн. наук, професор.

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Тепломасообмін» узгоджено з гарантом освітньої програми «Газотурбінні установки і компресорні станції».

Гарант освітньої програми
канд. техн. наук, доцент



Артем КОЗЛОВСЬКИЙ

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Тепломасообмін» розглянуто на засіданні кафедри Технічної теплофізики та суднових паровиробних установок. Протокол № 8 від « 2 » 04 2025 р.

Завідувач кафедри



Борис ДИМО

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Тепломасообмін» розглянуто Навчально-методичною радою Машинобудівного навчально-наукового інституту. Протокол № 4 від « 8 » 05 2025 р.

Голова



Сергій СЕРБІН

Проект робочої програми навчальної дисципліни «Тепломасообмін» погоджено з навчальним відділом.

Начальник відділу



Андрій ЛАБАРТКАВА

Робоча програма навчальної дисципліни «Тепломасообмін» затверджена Навчально-методичною радою НУК.

Протокол № 5 від « 21 » 05 2025 р.

Голова НМР НУК



Сергій СЛОБОДЯН

© НУК, 2025

ЗМІСТ

Вступ	4
1.Опис навчальної дисципліни	5
2. Мета вивчення навчальної дисципліни.....	5
3. Передумови для вивчення дисципліни	6
4. Очікувані результати навчання	6
5. Програма навчальної дисципліни	6
6. Методи навчання, засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування	14
7. Форми поточного та підсумкового контролю	16
8. Критерії оцінювання результатів навчання	20
9. Засоби навчання	21
10. Рекомендовані джерела інформації	22
11. Інформаційні ресурси в Інтернет	23
Додаток 1	24
Додаток 2	26

ВСТУП

Анотація

Розвиток науки і техніки, постійне удосконалення стаціонарних та транспортних теплоенергетичних установок вимагають високої кваліфікації фахівців, що проектують, будують та експлуатують ці установки. Все це неможливо без базових знань фізичних процесів, що відбуваються у теплоенергетичних установках.

Курс «Тепломасообмін» є складовою цієї підготовки і є обов'язковою дисципліною підготовки бакалаврів відповідно до освітньої програми «Газотурбінні установки і компресорні станції» спеціальності G11 Машинобудування спеціалізації G11.02 Двигуни та енергетичні установки.

Курс передбачає вивчення основ теорії тепломасообміну, як сукупності процесів, що відбуваються у теплоенергетичних установках, зокрема закони та кількість співвідношення перенесення теплоти теплопровідністю, конвекцією, випромінюванням, при фазових перетвореннях теплоносіїв та процеси та розрахунки теплообмінних апаратів.

Ключові слова: тепломасообмін, теплопередача, теплопровідність, випромінювання, кипіння, конденсація, турбіни, теплообмінний апарат.

Abstract

The development of science and technology, the constant improvement of stationary and transport thermal power plants require highly qualified specialists who design, build and operate these plants. All this is impossible without basic knowledge of the physical processes taking place in thermal power plants.

The course «Heat and mass exchange» is a component of this training and is a mandatory discipline of bachelor's training in accordance with the educational-professional program «Gas turbine units and compressor stations» specialty G11 »Power Machinery».

The course involves the study of the basics of the theory of heat and mass transfer, as a set of processes occurring in thermal power plants, in particular the laws and quantity of the ratio of heat transfer by heat conduction, convection, radiation, during phase transformations of heat carriers, and processes and calculations of heat exchange devices.

Key words: heat and mass exchange, heat transfer, gas turbine, thermal conductivity, radiation, boiling, condensation, turbines, heat exchange apparatus.

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Основні характеристики навчальної дисципліни «Тепломасообмін» наведені у табл.1.

Таблиця 1 – Основні характеристики навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, (освітня програма, освітній рівень)	Характеристика навчальної дисципліни	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів – 6	Газузь знань: G Інженерія, виробництво та будівництво	Обов’язкова	
Модулів – 1		Рік підготовки:	
Змістових модулів – 3		3-й	3-й
Електронна адреса РПНД на сайті Університету: https://surl.li/ydwtow	Спеціальність: G11 Машинобудування Спеціалізація: G11.02 Двигуни та енергетичні установки Освітня програма: «Газотурбінні установки і компресорні станції»	Семестр:	
Загальна кількість годин – 180		5-й	5-й
		Лекції	
		45	14
		Практичні заняття	
		30	10
		Лабораторні роботи	
		15	6
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 6; самостійної роботи студента – 6.	Освітній рівень перший (бакалаврський)	Самостійна робота	
		90	150
		Вид контролю:, екзамен	
		Форма контролю: комбінована	

2. МЕТА ВИВЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою вивчення навчальної дисципліни «Тепломасообмін» є формування знань про процеси передачі теплоти в твердих тілах та у потоках газу та рідини, про процеси масообміну у двофазових середовищах та про принципу розрахунків переносу теплоти в елементах теплоенергетичних установок, згідно зі стандартом Вищої освіти України, та відповідно до освітньо-професійної програми «Газотурбінні установки і компресорні станції» таких компетентностей:

ІК-1 – здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі і практичні роботи у галузі енергетичного машинобудування або у процесі навчання, що передсачає застосування теорії тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки та методів відповідних наук і характеризується комплексністю та невизначеністю умов;

ЗК 3 – здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

ЗК 4 – здатність та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;

ЗК 8 – здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;

ФК2 – здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення інженерних завдань з використанням методів електричної інженерії;

ФК11- здатність використовувати стандартні методики планування експериментальних досліджень, здійснювати обробку та узагальнення результатів експерименту.

3. ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Передумовами для вивчення дисципліни «Тепломасообмін» є курси: фізика, хімія, вища математика, технічна термодинаміка та гідрогазодинаміка.

4. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ НАВЧАННЯ

Вивчення навчальної дисципліни «Тепломасообмін» передбачає формування та розвиток у студентів таких результатів навчання:

ПР 1 - знання і розуміння математики, фізики, тепломасообміну, технічної термодинаміки, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, конструкційних матеріалів, систем автоматизованого проектування енергетичних машин на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми.

ПР 2 - знання і розуміння інженерних наук на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях.

ПР 3 - розуміння широкого міждисциплінарного контексту спеціальності G11 Машинобудування.

ПР 10 - планувати і виконувати експериментальні дослідження за допомогою інструментальних засобів (вимірювальних приладів), оцінювати похибки проведення досліджень, робити висновки.

ПР 13 - використовувати обладнання, матеріали та інструменти, інженерні технології і процеси, а також розуміння їх обмежень при вирішенні професійних завдань.

5. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Теплопровідність

Тема 1. Фізичні основи теплообміну, Стаціонарна теплопровідність

Лекція 1. Вступ до курсу тепломасообміну. Метод та предмет тепломасообміну. Значення та зміст дисципліни. Етапи розвитку та зв'язок з суміжними дисциплінами. Способи перенесення теплоти, що мають місце в елементах газотурбінних установок та компресорних станцій (ГТУ та КС).

Література: [1] с. 9–13; [6] с. 5–8.

Лекція 2. Фізичний опис теплопровідності. Теплота, тепловий потік, температурне поле, градієнт температур. Закон Фур'є, коефіцієнт теплопровідності. Диференціальне рівняння процесу теплопровідності та крайові умови.

Література: [1] с. 13–29, [12] с. 105–109.

Лекція 3. Стаціонарна теплопровідність крізь стінки одно- та багатослойні, що мають місто в елементах ГТУ та КС. Температурне поле плоскої, циліндричної та сферичної стінок. Термічний опір теплопровідності стінок.

Література: [1] с. 29–37; [6] с. 8–10.

Тема 2. Стаціонарна теплопередача плоских, циліндричних та сферичних стінок.

Методи інтенсифікації теплопередачі

Лекція 4. Стаціонарна теплопередача. Плоскі, циліндричні та сферичні стінки. Коефіцієнт теплопередачі та термічний опір теплопередачі. Рівняння теплопередачі. Теплова ізоляція, вибір матеріалу ізоляції.

Література: [1] с. 34–44; [6] с. 19–29.

Лекція 5. Інтенсифікація теплопередачі методами підвищення коефіцієнтів тепловіддачі та збільшення поверхні теплопередачі. Оребрення поверхні. Теплопровідність плоского ребра. Ефективність ребра. Коефіцієнт оребрення. Теплопровідність круглого ребра.

Література: [1] с. 45–54.

Лекція 6. Теплопередача оребрених стінок в елементах в ГТУ. Види оребрених стінок. Розрахунки теплопередачі оребрених стінок. Теплопровідність та теплопередача при наявності внутрішніх джерел теплоти.

Література: [1] с. 58–66; [6] с. 29–40.

Тема 3. Нестационарна теплопровідність

Лекція 7. Нестационарна теплопровідність (НСТ). Значення перехідних теплових процесів в енергетиці. Види НСТ та аналітична постановка задачі. Аналітичні рішення для плоских та циліндричних стінок (симетрична теплова задача). Аналіз рішення, критерії теплової подібності для процесів НСТ. Визначення теплоти, що підводиться до тіл необмежених кінцевих розмірів. НСТ у тілах обмежених кінцевих розмірів.

Література: [1] с. 66–68; [6] с. 66–78.

Лекція 8. Регулярний тепловий процес. Регулярний тепловий режим та його математичний опис. Темп охолодження. Теореми Кондрат'єва. Застосування теорії регулярного режиму до визначення коефіцієнтів тепловіддачі та теплофізичних властивостей. Методи рішення задач теплопровідності.

Література: [8] с. 28–36.

Змістовий модуль 2. Конвективний теплообмін

Тема 4. Фізичний та математичний опис конвективного теплообміну

Лекція 9. Конвекція теплоти. Фізичний опис процесу. Фактори, що впливають на конвекцію. Види конвекції. Система диференціальних рівнянь конвективного теплообміну енергії, руху (Нав'є-Стокса), суцільності та тепловіддачі. Крайові умови.

Література: [1] с. 37–53, [12] с. 115–119.

Лекція 10. Основні положення теорії теплової подібності. Умови та теореми теплової подібності. Числа подібності, методи їх отримання та 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 конвективного теплообміну.

Література: [1] с. 53–63; [11] с. 50–57; [12] с. 119–126.

Тема 5. Вільна конвекція теплоти

7

Лекція 11. Вільна конвекція. Основні фактори, що впливають. Характер руху рідини. Аналітична постановка задачі та їх рішення. Критеріальні рівняння для розрахунку тепловіддачі при вільній конвекції на стінках та горизонтальних трубах. Вільна конвекція в прошарках. Еквівалентна теплопровідність, критеріальні рівняння вільної конвекції в прошарках.

Література: [1] с. 63–70; [8] с. 36-40, 49-59.

Тема 6. Вимушена конвекція. Задачі зовнішнього та внутрішнього обтікання

Лекція 12. Вимушена конвекція при повздовжньому обтіканні стінок. Гідродинамічний та тепловий граничні шари. Режим руху. Інтегральне співвідношення. Аналітична постановка задачі та її рішення.

Література: [1] с. 70–74; [8] с. 49–50.

Лекція 13. Основи гідродинамічної теорії теплообміну. Ламінарна течія, перехід до турбулентного режиму. Критеріальні рівняння.

Література: [8] с. 49–55.

Лекція 14. Теплообмін конвекцією у трубах і каналах ГТУ та їх елементів. Особливості руху і теплообміну в каналах. Режим руху. Критеріальні рівняння тепловіддачі в трубах і каналах. Тепловіддача в каналах некруглої форми та зігнутих трубах..

Література: [1] с. 76–79; [6] с. 54-56.

Лекція 15. 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. Характер руху в пучках. Емпіричні формули для розрахунку тепловіддачі і гідравлічного опору пучків труб.

Література: [1] с. 79–84; [8] с. 46–49.

Змістовий модуль 3. Тепломасообмін при фазових перетвореннях. Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати

Тема 7. Тепломасообмін при фазових перетвореннях

Лекція 16. Теплообмін при конденсації пара. Види процесу конденсації: плівкова та краплинна, об'ємна та поверхнева. Термічний опір. Конденсація на вертикальній поверхні. Задача Нуссельта. Конденсація на трубах і зовні труб. Режими конденсації. Вплив різних факторів на конденсацію пари. Критеріальні рівняння.

Література: [1] с. 87-92; [6] с. 250–259.

Лекція 17. Теплообмін при кипінні рідини. Механізм процесу кипіння. Бульбашкове і плівкове, об'ємне та поверхнєве кипіння. Процес кипіння у великому об'ємі та недогрітої рідини. Розрахунки процесу кипіння. Залежність густини теплового потоку та коефіцієнта тепловіддачі від температурного напору. Перша та друга криза кипіння. Емпіричні та критеріальні рівняння для розрахунку процесів кипіння. Процес кипіння у вертикальних та горизонтальних парогенеруючих каналах. Розрахунки тепловіддачі.

Література: [1] с. 92–98; [6] с. 260–273

Лекція 18. Тепломасообмін. Основні поняття та закони тепломасообміну. Перенесення маси дифузією. Концентраційна, термо- та бародифузія. Диференціальні рівняння та крайові умови. Тепло- і масовіддача в парогазових сумішах (вологе повітря). Потрійна аналогія процесів руху і перенесення теплоти і маси та її використання у теплових розрахунках..

Література: [8] с. 97–106.

Тема 8. Випромінювання

Лекція 19. Основні положення та фізичний опис випромінювання. Види променистих потоків та оптичні властивості тіл. Поверхнева густина теплового потоку та яскравість випромінювання. Закони випромінювання: Планка, Віна, Стефана-Больцмана, Кірхгофа та Ламберта.

Література: [1] с. 99–108; [12] с. 141–144.

Лекція 20. Розрахунки процесу випромінювання. Теплообмін випромінюванням між тілами. Кутові коефіцієнти. Екранування. Особливості процесу в поглинаючих та випромінюючих середовищах – газах та парах. Променистий теплообмін між газовою середовищем та стінкою. Складний теплообмін. Рівняння та критерії для розрахунку випромінювання.

Література: [1] с.108–116; [12] с.144–149.

8

Тема 9. Теплові та гідравлічні розрахунки в теплообмінних апаратах

Лекція 21. Класифікація та типи теплообмінних апаратів ГТУ. Рекуперативні, регенеративні, контактні та акумулятори теплоти. Основні рівняння для розрахунку теплообмінників теплоенергетичного балансу та теплопередачі.

Література: [1] с.146–150; [6] с.78–94.

Лекція 22. Методи теплових розрахунків. Конструктивний та повірочний розрахунки. Схеми течії теплоносіїв та визначення середньої різниці температур теплоносіїв. Розрахунки кінцевих значень температур теплоносіїв. Інтенсифікація теплопередачі в теплообмінних апаратах та оцінка їх ефективності. Основи гідромеханічного розрахунку теплообмінних апаратів.

Література: [1] с.150–163; [8] с.89–94.

5.1. Тематичний план навчальної дисципліни

Розподіл навчального часу за модулями навчальної дисципліни «Тепломасообмін» наведений у табл. 2.

Таблиця.2. Розподіл навчального часу за модулями

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	Денна форма					Заочна форма				
	Усього	у тому числі				Усього	у тому числі			
		лек	пр	лаб	с/р		лек	пр	лаб	с/р
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Змістовний модуль 1. Теплопровідність										
Тема 1. Фізичні основи теплообміну. Стационарна теплопровідність	20	6	4	–	10	20	-	2	–	18
Тема 2. Стационарна теплопередача плоских, циліндричних та сферичних стінок. Методи інтенсифікації, теплопередачі	22	6	4	2	10	22	2	1	1	18
Тема 3. Нестационарна теплопровідність	18	4	4	2	8	18	2	1	1	14
Разом за змістовним модулем	60	16	12	4	28	60	4	4	2	50
Змістовний модуль 2. Конвективний теплообмін										
Тема 4. Фізичний та математичний опис конвективного теплообміну	14	4	2	–	8	14	2	–	–	12
Тема 5. Вільна конвекція	16	2	4	4	6	16	1	2	1	12
Тема 6. Вимушена конвекція. Задачі зовнішнього та внутрішнього обтікання	30	8	4	2	16	30	2	2	1	25
Разом за змістовним модулем	60	14	10	6	30	60	5	4	2	49
Змістовний модуль 3. Тепломасообмін при фазових перетвореннях. Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати										
Тема 7. Теплообмін при фазових перетвореннях	24	6	4	2	12	24	2	2	1	19
Тема 8. Випромінювання	16	4	2	2	8	16	1	–	1	14

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин									
	Денна форма					Заочна форма				
	Усього	у тому числі				Усього	у тому числі			
		лек	пр	лаб	с/р		лек	пр	лаб	с/р
Тема 9. Теплові та гідравлічні розрахунки в теплообмінних апаратах	20	5	2	1	12	20	2	–	–	18
Разом за змістовним модулем	60	15	8	5	32	60	5	2	2	51
Усього годин	180	45	30	15	90	180	14	10	6	150

5.2. Теми практичних занять

Перелік тем практичних занять навчальної дисципліни «Тепломасообмін» наведений у табл. 3.

Таблиця 3. Перелік тем практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
Змістовий модуль 1. Теплопровідність			
1	Основні поняття та визначення дисципліни. Методика проведення практичних занять та поточного модульного контролю. Література: [2] с. 9–18; [4] с. 3–5	2	2
2	Вирішення типових задач зі стаціонарної теплопровідності та теплопередачі. Література: [4] с. 6–11	2	1
3	Контрольна робота зі стаціонарної теплопровідности (КР1). Література: [4] с. 11–13	2	
4	Контрольна робота зі стаціонарної теплопередачі (КР2). Література: [4] с. 14–17	2	
5	Вирішення типових задач з обчислення, внутрішніх джерел теплоти та нестационарної теплопровідності. Література: [4] с. 17–21, с. 24–26	2	1
6	Контрольна робота з обчислення, внутрішніх джерел теплоти та нестационарної теплопровідності (КР3). Література: [2] с. 79–82; [4] с. 21–24, с. 26–28, с.37–39	2	–
7	Поточний модульний контроль (ПМК1) за змістовним модулем 1	2	–
Змістовий модуль 2. Конвективний теплообмін			
8	Вирішення типових задач з теорії теплової подібності та вільної конвекції. Література: [4] с. 39–43, с. 66–70	2	2
9	Контрольна робота з теорії теплової подібності та вільної конвекції (КР4). Література:[4] с. 43–47	2	–

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
10	Вирішення типових задач з вимушеної конвекції. Література: [4] с. 47–63	2	2
11	Контрольна робота з вимушеної конвекції (КР5). Література: [4] с. 63–65; [2] с. 69–73	2	–
12	Поточний модульний контроль (ПМК2) за змістовним модулем 2.	2	–
Змістовий модуль 3. Тепломасообмін при фазових перетвореннях. Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати			
13	Вирішення типових задач з теплообміну при фазових перетвореннях. Література: [4] с. 72–80, с. 82–86; [2] с. 75–78	2	2
14	Контрольна робота з теплообміну при фазових перетвореннях (КР6). Література: [4] с. 80–82, с. 86–87	2	–
15	Поточний модульний контроль (ПМК3) за змістовним модулем 3	2	–
Разом		30	10

5.3. Теми лабораторних занять

Перелік тем лабораторних робіт навчальної дисципліни «Тепломасообмін» наведений у табл. 4.

Таблиця 4. Перелік тем лабораторних робіт

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
Змістовий модуль 1. Теплопровідність			
1	Вступне заняття. Інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки. Методика виконання лабораторних робіт. Вимоги до форми представлення звіту. Література: [5] с. 3–4	2	–
2	Лабораторна робота № 1. Визначення коефіцієнта теплопровідності твердих тіл методом плоского шару. Література: [5] с. 4–10	2	1
3	Лабораторна робота № 2. Визначення коефіцієнта температуропровідності, теплопровідності та тепловіддачі методом регулярного режиму. Література: [5] с. 10–19	2	1
Змістовий модуль 2. Конвективний теплообмін			
4	Лабораторна робота № 3.1. Вивчення тепловіддачі вертикальної пластини до вільного потоку повітря. Література: [5] с. 19–31	2	1

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		Денна форма	Заочна форма
5	<i>Лабораторна робота № 3.2.</i> Вивчення тепловіддачі вертикального циліндра до вільного потоку повітря. Література: [5] с. 31–34	2	1
Змістовий модуль 3. Тепломасообмін при фазових перетвореннях. Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати			
6	<i>Лабораторна робота № 5.</i> Дослідження тепловіддачі при конденсації водяної пари на поверхні горизонтальної труби. Література: [5] с. 35–42	3	1
7	<i>Лабораторна робота № 6.</i> Визначення інтегрального ступеня чорноти твердого тіла калориметричним методом. Література: [5] с. 42–57	2	1
Разом		15	6

5.4. Самостійна робота

До основних форм самостійної роботи студентів при вивченні даної дисципліни відносяться:

1) опрацювання лекційного матеріалу і самостійне вивчення окремих розділів за допомогою рекомендованої літератури (теми самостійної роботи і рекомендована література наведені у Додатку 1);

2) підготовка до лабораторних і практичних занять і своєчасне виконання звітів із них;

3) підготовка до проміжного та підсумкового модульних контролів знань;

4) виконання контрольної роботи (для студентів заочної форми навчання).

Опрацювання лекційного матеріалу полягає в роботі з конспектом лекцій. На даному етапі треба розібратися з новими поняттями та положеннями, домогтися розуміння логічного змісту формулювань. При цьому варто використовувати основну і додаткову літературу, а при нерозумінні окремих питань необхідно звернутися за консультацією до науково-педагогічного працівника (НПП).

Підготовка до лабораторних і практичних занять, виконання звітів із них допоможе студенту закріпити теоретичні знання і набути практичні навички виконання розрахунків переносу теплоти в елементах теплоенергетичних установок.

Виконання контрольної роботи, підготовка до підсумкового модульного контролю повинні здійснюватися протягом усього семестру шляхом проробки лекційного матеріалу і літературних джерел.

Розподіл годин самостійної роботи навчальної дисципліни «Тепломасообмін» наведений у табл. 5.

Таблиця 5. Розподіл годин самостійної роботи

№ з/п	Вид роботи	Кількість годин		
		Норматив	денна форма навчання	заочна форма навчання
1	Підготовка до лекційних занять	0,5 (1) годин на 1 лекцію	12	24
2	Підготовка до лабораторних робіт	до 1 (2) години на 1 роботу	6	12
2	Підготовка до практичних занять	до 1 (2) години на 1 роботу	12	12
3	Підготовка до поточного модульного контролю	підготовка до контрольних заходів – 15 (30) годин на 1 захід	3 x 15 = 45	--
4	Підготовка до екзамену		15	30
5	Написання реферату	15 годин на 1 роботу	--	--
6	Виконання контрольної роботи	до 30 годин на 1 роботу	--	68
Разом:			90	146

5.5. Контрольна робота

Контрольна робота передбачена для студентів заочної форми навчання і складається з п'яти практичних задач (наведені у [4]) та трьох відповідей на теоретичні питання за матеріалами кожного із трьох змістових модулів (пакет завдань модульного контролю у РПНД не вкладений).

Варіант контрольної роботи обирається згідно з табл. 6 за порядковим номером студента в групі (відповідно до журналу академічної групи).

Таблиця 6. Вибір варіанту контрольної роботи

Номер студента у групі	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Номери задач контрольної роботи															
	1.12, 3.5, 6.5, 8.10, 11.2	2.10, 4.2, 6.16, 7.10, 10.11	3.3, 4.5, 5.7, 6.3, 9.4, 11.13	1.17, 3.6, 5.1, 6.3, 8.9, 10.8	1.10, 4.1, 5.1, 7.13, 9.6, 10.2	1.18, 4.6, 6.2, 9.6, 11.7	1.5, 3.4, 5.2, 7.8, 9.2	1.15, 2.8, 6.7, 8.12, 10.14	2.11, 4.10, 6.4, 8.4, 9.10, 10.9	1.8, 3.11, 7.1, 9.10, 11.1	1.26, 2.5, 5.3, 7.7, 10.6	1.3, 2.9, 7.2, 9.5, 11.11	1.16, 4.7, 6.12, 8.3, 9.1	1.13, 2.7, 6.6, 9.8, 11.3	1.25, 3.12, 6.13, 8.11, 10.5
Номери питань контрольної роботи															
Змістовий модуль 1	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
Змістовий модуль 2	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25
Змістовий модуль 3	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65

Номер студента у групі	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номери задач контрольної роботи															
	2.13, 3.7, 7.6, 9.13, 11.6	1.14, 2.6, 6.8, 8.8, 10.13	1.20, 2.4, 7.5, 9.12, 11.12	1.2, 3.2, 6.11, 8.1, 10.7	1.23, 2.3, 5.8, 7.9, 11.8	1.9, 4.4, 5.6, 7.14, 10.3	1.1, 3.9, 6.1, 9.11, 11.4	1.7, 2.2, 5.5, 7.12, 10.4	1.22, 4.9, 6.15, 8.7, 10.1	1.19, 2.1, 7.4, 9.7, 11.10	2.12, 3.10, 5.4, 7.11, 9.3	1.6, 4.8, 6.10, 8.6, 10.10	1.11, 4.3, 6.14, 8.2, 11.5	1.4, 3.8, 6.9, 8.5, 10.12	1.24, 3.1, 7.3, 9.9, 11.9

Номери питань контрольної роботи															
Змістовий модуль 1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль 2	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	49	48	47	46
Змістовий модуль 3	70	71	72	73	74	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66

Контрольна робота виконується у години самостійної роботи студентів після пророблення і засвоєння всього навчального матеріалу дисципліни.

Контрольна робота повинна бути виконана на аркушах формату А4, надрукована або написана акуратно і розбірливо чорнилом одного кольору; рисунки повинні бути виконані засобами машинної графіки або олівцем із застосуванням креслярських пристосувань, дотримуючись масштабу і ДСТУ.

Варто пронумерувати сторінки і залишити з правої сторони аркуша поля не менш 30 мм для зауважень викладача.

Умови задач і формулювання контрольних питань повинні бути переписані повністю. Розв'язання задач слід супроводжувати стислими пояснюваннями та докладними розрахунками; у тих випадках, коли це можливо, навести рисунки. Необхідно вказувати одиниці вимірювання всіх фізичних величин. При розв'язанні задач можна використовувати спеціальні математичні програми для ЕОМ (MathCad, MathLab та інші).

Відповіді на контрольні питання повинні бути сформовані з використанням основних теоретичних положень. Вони повинні бути стислими, але вичерпними.

При виборі розрахункових формул слід робити посилання на літературне джерело, а в кінці контрольної роботи необхідно навести повний список використаних джерел, якими користувалися.

Наприкінці роботи треба проставити дату виконання роботи і підпис.

Якщо в роботі допущені недоліки і помилки, то студент повинен виконати усі вказівки НПП, які зазначені в рецензії.

Робота, виконана не за своїм варіантом, не зараховується і повертається студенту без оцінки.

6. МЕТОДИ НАВЧАННЯ, ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ ТА МЕТОДИ ЇХ ДЕМОНСТРУВАННЯ

Методи навчання: робота з літературою; пояснення; демонстрування; лекція; бесіда; ілюстрування; відеометод; лабораторна робота; інструктаж; фронтальне опитування.

Засоби діагностики результатів навчання та методи їх демонстрування: усні відповіді; контрольні роботи; екзамен; розрахунково-графічна робота; завдання на лабораторному обладнанні, реальних об'єктах тощо.

7. ФОРМИ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

Досягнення студента оцінюються за 100-бальною системою НУК.

Підсумкова оцінка навчального курсу включає в себе оцінки з поточного контролю і оцінки заключного екзамену. У кожного компонента своя частина в загальній системі оцінок.

У проміжних оцінках студент може набрати 60 балів (табл.7). Під компонентом проміжних оцінок розуміються поточні оцінки протягом семестру (виконання та захист лабораторних і практичних робіт, виконання трьох тестів поточного модульного контролю за матеріалами першого, другого та третього змістових модулів для студентів денної форми навчання; виконання та захист лабораторних і практичних робіт та контрольної роботи для студентів заочної форми навчання).

Таблиця 7. **Максимальні бали проміжних оцінок**

Форма контролю	Максимальна кількість балів	
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Виконання лабораторних робіт	6 робіт $\times$ 3 бали = 18 балів	6 роботи $\times$ 3 бали = 18 балів
Виконання практичних робіт	6 робіт $\times$ 3 бали = 18 балів	6 роботи $\times$ 3 бали = 18 балів
Поточний модульний контроль	3 ПМК $\times$ 8 балів = 24 бали	—
Виконання контрольної роботи	—	1 робота $\times$ 24 балів = 24 балів
Усього:	60	60

Студенти денної та заочної форми навчання складають заключний екзамен. Питома вага екзамену в загальній системі оцінок – 40 балів.

Право здавати заключний екзамен надається студенту, який з кожного виду поточного модульного контролю набирає не менше 60 % від максимальної кількості балів.

Зарахування кредитів навчального курсу можливо тільки після досягнення результатів, запланованих робочою програмою навчальної дисципліни, що виражається в одній з позитивних оцінок, передбачених чинним законодавством.

Форми контролю результатів навчальної діяльності здобувачів вищої освіти та їх оцінювання

Лабораторні роботи

Критерії оцінювання лабораторних робіт наведені у табл. 8.

Таблиця 8. Критерії оцінювання лабораторних робіт

Бал	Критерії оцінювання
3	Робота виконана у встановлений термін. Виконана самостійно, чітко сформульовані цілі, завдання та гіпотеза досліджень. Застосовувалися коректні методи обробки отриманих результатів. У висновках проведена коректна інтерпретація результатів
2	Робота виконана у встановлений термін. Студент виконує лабораторну роботу згідно з інструкцією, іноді після консультації викладача; описує спостереження; складає звіт, що містить неточності у висновках та невеликі помилки
1	Робота виконана з порушенням встановлених термінів. Студент виконує лабораторну роботу під керівництвом викладача; складений звіт містить неточності у висновках та помилки
0	Робота не виконувалася

Практичні роботи

Критерії оцінювання практичних робіт наведені у табл. 9.

Таблиця 9. Критерії оцінювання практичних робіт

Бал	Критерії оцінювання
3	Студент самостійно виконав практичну роботу та добре володіє матеріалом відповідно до теми практичного заняття
2	Практичну роботу виконано в основному вірно, Студент має уявлення про базовий матеріал відповідно до теми практичного заняття
1	Практична робота виконана з суттєвими помилками, Студент має уявлення про базовий матеріал відповідно до теми практичного заняття
0	Робота не виконувалася

Контрольна робота (для заочної форми)

Контрольна робота для студентів заочної форми навчання включає п'ять задач та три запитання за матеріалам 1^{го}, 2^{го} та 3^{го} змістовних модулів. Максимальна кількість балів, яку набирає студент за правильну вирішену задачу, складає 3 бали та за правильну відповідь на запитання 3 бали. Критерії оцінювання якості вирішення задач контрольної роботи наведені в табл. 10.

Таблиця 10. Вирішення задач контрольної роботи (1 задача – 3 бали)

Кількість балів	Критерії оцінювання
3	Задача вирішена правильно, підтверджена відповідними розрахунками у вигляді формул, ілюстративного матеріалу, включає аналіз та необхідні висновки
2	Задача вирішена за правильним алгоритмом, всі формули записані вірно, є ілюстративний матеріал, необхідний аналіз та висновки. Але внаслідок допущеної незначної помилки відповідь у числах не співпадає з контрольною
1	Хід рішення задачі в цілому вірний, але припущена велика кількість дрібних та грубих помилок
0	Відсутнє вирішення задачі

Критерії оцінювання якості відповіді на теоретичні питання контрольної роботи наведені у табл. 11.

**Таблиця 11. Письмова відповідь на запитання контрольної роботи
(1 питання – 3 бали)**

Кількість балів	Критерії оцінювання
3	Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки
2	Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки, але містить незначну кількість дрібних помилок
1	Відповідь на питання достатньо повна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість дрібних помилок
0	Відповідь на питання відсутня

Поточний модульний контроль

Поточний модульний контроль для студентів денної форми передбачає виконання трьох тестів (ПМК1, ПМК2, ПМК3) за матеріалами кожного із трьох змістових модулів. Кожен тест включає дев'ять контрольних питань та одну задачу (тестові завдання до програми не вкладено).

Контрольні питання та задача мають різну вагомість: від 2 до 8 (за задачу) проміжних балів. Загальна максимальна кількість проміжних балів за модульний тестовий контроль складає: ПМК1 та ПМК2 по 33 бали, ПМК3 – 34 бали; разом – 100 балів.

Перерахунок отриманих студентами під час тестового контролю проміжних балів на бали, які зараховуються до загального рейтингу поточного семестрового контролю, який складає 60 балів, виконується згідно табл. 12.

Таблиця 12. Перерахунок проміжних балів поточного модульного контролю (тестування)

Вид тесту	Максимальна кількість проміжних балів	Перераховані бали								
		31–34	27–30	23–26	19–22	15–18	11–14	7–10	3–6	менше 3
ПМК1	33	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ПМК2	33	8	7	6	5	4	3	2	1	0
ПМК3	34	8	7	6	5	4	3	2	1	0

Підсумковий контроль

Підсумковий контроль проводиться у формі екзамену й складається з письмової відповіді на чотири теоретичних питання. Повна відповідь на всі контрольні питання оцінюється до 40 балів (максимальна кількість балів на одне питання – 10 балів).

Критерії оцінювання письмової відповіді на одне питання підсумкового контролю наведені у табл. 13.

Таблиця 13. Критерії оцінювання відповіді підсумкового контролю (1питання – 10 балів)

Бал	Критерії оцінювання
10	Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки
8	Відповідь на питання повна, підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, включає аналіз та аргументовані висновки, але містить незначну кількість дрібних помилок
6	Відповідь на питання достатньо повна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість дрібних помилок
4	Відповідь на питання неповна, частково підтверджена відповідними формулами та ілюстративним матеріалом, містить значну кількість як дрібних, так і грубих помилок
0	Відповідь на питання відсутня

8. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

Підсумкова оцінка знань студентів у залежності від набраної суми балів формується у відповідності до наступної шкали (табл. 14), в якій представлено відповідність між набраними балами, оцінкою ECTS та традиційною системою оцінювання.

Таблиця 14. Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види освітньої діяльності	Оцінка ECTS	Підсумкова оцінка за національною шкалою за дисципліну
90-100	A	відмінно
82-89	B	добре
74-81	C	
64-73	D	
60-63	E	задовільно
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Можливі поточні бали за опанування матеріалу кожної теми, виконання кожної лабораторної та практичної робіт, а також бали складання поточного модульного контролю та екзамену наведені в табл. 15.

Таблиця 15. Поточні бали за опанування матеріалу дисципліни

№ змістовного модуля і теми		Денна форма		Заочна форма	
		Види роботи	Кількість балів	Види роботи	Кількість балів
ЗМ1	Т1	Лабораторна робота № 1	3	Лабораторна робота № 1	3
		Практична робота № 1	3	Практична робота № 1	3
	T2	Контрольна робота № 2	3	Практична робота № 2	3
	Т3	Лабораторна робота № 2	3	Лабораторна робота № 3	3
		Практична робота № 3	3	Практична робота № 3	3
		ПМК № 1	8	–	
ЗМ2	T4	Лабораторна робота № 3.1	3	Лабораторна робота № 3.1	3
	Т5	Контрольна робота № 4	3	Практична робота № 4	3
		Лабораторна робота № 3.2	3	Лабораторна робота № 3.2	3
		ПМК № 2	8	–	
ЗМ3	T6	Контрольна робота № 5	3	Практична робота № 5	3
	Т7	Лабораторна робота № 5	3	Лабораторна робота № 5	3
		Контрольна робота № 6	3	Практична робота № 6	3
	T8	Лабораторна робота № 6	3	Лабораторна робота № 6	3
		ПМК № 3	8	–	
–		–	–	Контрольна робота	24
Підсумковий контроль		Екзамен	40	Екзамен	40
Разом			100		100

9. ЗАСОБИ НАВЧАННЯ

Засоби навчання складаються з лабораторного обладнання спеціалізованої лабораторії «Тепломасообмін», зразків та макетів теплообмінного обладнання, яке застосовується в галузі теплоенергетики, включаючи діючу котельну установку, макети ядерних енергетичних установок, графічні засоби (плакати, схеми, креслення), технічні засоби (відеозаписи), комп'ютер та мережа, проекційне обладнання, програмне забезпечення (для здійснення дистанційного навчання, розрахунків на практичних заняттях). Очні лекційні та практичні заняття відбуваються на кафедрі Технічної теплофізики та судових паровиробних установок НУК в кабінеті котлів та аудиторії самостійної підготовки студентів, а лабораторні роботи – в лабораторії «Тепломасообмін».

Під час дистанційної роботи кожному студенті надається в електронному вигляді конспект лекцій, практикум для проведення практичних занять та лабораторний практикум, а також всі необхідні засоби поточного та підсумкового контролю.

Доступ студентів до змісту екзаменаційних білетів забезпечено.

10. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

Основна література

1. Лабай В. Й. Тепломасообмін : підручник для ВНЗ. Львів : Тріада Плюс, 2004. 260 с.
2. Димо Б. В., Кузнецов В. В., Єпіфанов О. А. Теплофізичні основи суднової енергетики : навч. посібник. Миколаїв : НУК, 2019. 120 с.
3. Чепурний М. М., Резидент Н. В. Тепломасообмін в прикладах і задачах : навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2011. 128 с.
4. Димо Б. В. Практикум з тепломасообміну : навч. посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2003. 136 с.
5. Єпіфанов О. А., Димо Б. В., Шевцов А. П. Збірник лабораторних робіт з курсу «Тепломасообмін». Миколаїв : НУК, 2007. 56 с.
6. Співак О. Ю., Резидент Н. В. Тепломасообмін. Частина I : навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2021. 113 с.
7. Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar. Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications, Fifth edition. New York, McGraw-Hill Education, 2015. 991 p.
8. Погорелов А. І. Тепломасообмін (основи теорії та розрахунку) : навч. посібник для ВУЗів. 4-те видання, виправлене. Львів : «Новий світ – 2000», 2006. 144 с.
9. Константінов С. М. Тепломасообмін : підручник. Київ : ВПІ ВПК «Політехніка»: Інрес, 2005. 304 с.
10. Приходько М. А., Герасімов Г. Г. Термодинаміка та теплопередача : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2008. 250 с.

Допоміжна література

11. Омельченко О. В., Цвіркун Л. О. Тепломасообмін : навч. посібник. Кривий Ріг: ДонНУЕТ, 2021. 100 с.
12. Герасимов Г. Г. Теоретичні основи теплотехніки : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2011. 382 с.
13. Трофимчук І. П. Методичні вказівки до практичних занять, контрольних та самостійних робіт з дисципліни «Тепломасообмін» для студентів напрямів підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» та 6.050602 «Гідроенергетика» денної, заочної та дистанційної форм навчання : / І. П. Трофимчук, В. В. Куба. Рівне: НУВГП, 2013. 48 с.
14. Куба В. В. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Тепломасообмін» на тему «Розрахунок геометричних розмірів та втрат тепла теплової мережі, яка складається з котла, теплотраси та теплообмінного апарату» для студентів напрямів підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» та 6.050602 «Гідроенергетика» денної та

заочної форм навчання [Текст] : / В.В. Куба, І. П. Трофимчук. Рівне: НУВГП, 2012. 32 с.

15. Практикум з тепломасообміну. Стаціонарна теплопровідність без внутрішніх джерел теплоти : навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика», освітнього ступеня «бакалавр» / Укладач: І. Е. Фуртат, Н. О. Притула; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 53 с.

11. ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ В INTERNET

1. Наукова бібліотека Національного університету кораблебудування <http://lib.nuos.edu.ua/> (інструкції з доступу):
 - 1.1 Підручники, навчальні посібники:
 - видавництво «Олді+» <http://ebooks.oldiplus.ua/> (за IP-адресами НУК, ХННІ НУК)
 - Видавництво Bentham Science на платформі Edanz: <https://www.edanz.com/>
 - 1.2 Міжнародні наукові, та науково-метричні бази:
 - Access Global NewsBank 2021: <https://infoweb.newsbank.com/apps/news/easy-search?p=AWGLNB>
 - Elsevier: <https://www.elsevier.com/>
 - Web of Science: <http://webofknowledge.com>
 - EBSCOhost: <http://search.ebscohost.com>
 - Springer: <https://link.springer.com/>
2. WorldScientificOpen is in full compliance with the latest open access mandates so authors can ensure their research is freely available online, freely redistributed and reused: <http://www.worldscientific.com/>
3. Сайт Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова: <http://www.nuos.edu.ua/>
4. Репозитарій НУК: <http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/>
5. Конференції НУК: <http://conference.nuos.edu.ua/catalog/>
6. Сайт ХННІ НУК: <http://kb.nuos.edu.ua/>
7. Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського (Електронний ресурс). Режим доступу: <https://nbuv.gov.ua>.
8. <https://ua.wikipedia.org>.
9. <https://www.teplo-polis.com.ua>.
10. <https://ep3.nuwm.edu.ua>.

Теми самостійної роботи

Змістовий модуль 1. Теплопровідність

1. Теплопровідність. Фізичні основи. Температурне поле, градієнт температур.

Література: [1] с. 9–13.

2. Тепловий потік. Закон Фур'є.

Література: [1] с. 13–15.

3. Крайові умови для рішення задач теплопровідності. Коефіцієнт теплопровідності. Значення коефіцієнтів теплопровідності для різноманітних тіл.

Література: [1] с. 15–23.

4. Стаціонарна теплопровідність крізь плоску стінку.

Література: [1] с. 29–34.

5. Стаціонарна теплопередача крізь ребрену стінку.

Література: [8] с. 22–25.

6. Стаціонарна теплопровідність при наявності внутрішніх джерел теплоти.

Література: [8] с. 19–22.

7. Стаціонарна теплопередача крізь ребрену стінку. Коефіцієнт ефективності ребра.

Література: [8] с. 22–28.

8. Аналітичний опис нестационарної теплопровідності. Рішення для охолодження (нагріву) пластини.

Література: [8] с. 28–32.

9. Охолодження (нагрів) тіл кінцевих розмірів.

Література: [8] с. 32–33.

10. Регулярний режим. Темп охолодження.

Література: [8] с. 33–36.

Змістовий модуль 2. Конвективний теплообмін

11. Система диференціальних рівнянь конвективного теплообміну та крайові умови.

Література: [8] с. 36–40.

12. Числа подібності і їх фізичний зміст. Умови подібності для процесів конвективного теплообміну. Теореми подібності. Критерії подібних процесів.

Література: [8] с. 42–45.

13. Тепловіддачі при вільній конвекції. Місцева і середня тепловіддача на вертикальній поверхні при ламінарній течії та горизонтальних циліндрах.

Література: [8] с. 45–46.

14. Тепловіддача при вільній конвекції у щілинах і прошарках.

Література: [6] с. 41–42.

15. Стаціонарна тепловіддача плоскої поверхні примусовою конвекцією.
Фізичний опис.

Література: [6] с. 49–50.

16. Основи гідродинамічної теорії теплообміну.

Література: [9] с. 73–75.

17. Тепловіддача при течії рідини у пучках труб.

Література: [6] с. 54–55.

18. Тепловіддача при течії рідини в трубах і каналах.

Література: [6] с. 50–53.

Змістовий модуль 3. Тепломасообмін при фазових перетвореннях. Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати

19. Теплообмін при конденсації пари.

Література: [1] с. 92–98.

20. Розрахунки теплообміну при конденсації пари.

Література: [1] с. 98–99.

21. Теплообмін при кипінні рідини.

Література: [1] с. 87–92.

22. Основні поняття та закони тепломасообміну.

Література: [1] с. 163–166.

23. Тепломасообмін в парогазових сумішах.

Література: [1] с. 192–194.

24. Потрійна аналогія процесів тепло- і масовіддачі і руху рідини та її застосування при моделюванні процесів та у теплових розрахунках.

Література: [1] с. 190–192.

25. Теплообмін випромінюванням. Фізична природа теплового випромінювання.

Література: [8] с. 70–73.

26. Закони теплового випромінювання.

Література: [8] с. 73–76.

27. Класифікація і типи теплообмінних апаратів.

Література: [8] с. 89–90.

28. Основні рівняння для теплових розрахунків теплообмінних апаратів.

Література: [8] с. 90–91.

29. Методики теплових розрахунків теплообмінників та вплив схеми течії теплоносіїв.

Література: [8] с. 91–93.

30. Оцінка ефективності теплообмінних апаратів. Гідромеханічний розрахунок теплообмінників.

Література: [6] с. 79–83.

Питання для модульного контролю**Змістовий модуль 1. Теплопровідність**

1. Значення і зміст курсу тепломасообміну. Головні засоби переносу теплоти. Тепломасообмін в ГТУ та КС.
2. Теплопровідність. Фізичні основи. Температурне поле, градієнт температур.
3. Тепловий потік. Закон Фур'є.
4. Коефіцієнт теплопровідності. Значення коефіцієнтів теплопровідності для різноманітних тіл, що використовуються в елементах ГТУ та КС.
5. Диференціальне рівняння теплопровідності.
6. Крайові умови для рішення задач теплопровідності в елементах ГТУ.
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 установок з ГТУ та КС.
14. Спосіб інтенсифікації стаціонарної теплопередачі за рахунок збільшення коефіцієнтів тепловіддачі.
15. Спосіб інтенсифікації стаціонарної теплопередачі за рахунок збільшення площини теплообміну. Оребрені теплообмінники ГТУ та КС.
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.

Змістовий модуль 2. Конвективний теплообмін

1. Конвективний теплообмін в елементах ГТУ та КС. 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 та їх фізичний зміст.
5. Умови подібності для процесів конвективного теплообміну. Теореми подібності. Критерії подібних процесів, що використовуються в теплових процесах ГТУ та КС.
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 шару.
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 обігрівається.
15. Стаціонарна примусова конвективна тепловіддача плоскої поверхні при турбулентному прикордонному шарі.
16. Тепловіддача при течії рідини у трубах і каналах. Особливості течії та теплообміну в елементах ГТУ та КС.
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.

**Змістовий модуль 3. Тепломасообмін при фазових перетвореннях.
Випромінювання теплоти. Теплообмінні апарати ГТУ та КС**

1. Тепловіддача при конденсації пари. Плівкова і краплинна конденсації.
2. Термічний опір плівки конденсату.
3. Теплообмін при ламінарній течії плівки конденсату на вертикальній поверхні. Рішення Нуссельта.
4. Вплив на теплообмін плівки конденсату сил інерції, залежності теплофізичних властивостей від температури та режиму хвильової течії плівки.
5. Теплообмін при турбулентній течії плівки конденсату.
6. Теплообмін при кипінні рідини. Бульбашкове кипіння.
7. Теплообмін при плівковим кипінні.
8. Залежність теплового потоку від температурного напору при кипінні рідини. Критична густина теплового потоку.
9. Залежність коефіцієнта тепловіддачі при кипінні рідини від температурного напору.
10. Рівняння для розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні.
11. Теплообмін випромінюванням. Фізична природа теплового випромінювання.
12. Оптичні здібності фізичних тіл. Види потоків випромінювання.
13. Закони теплового випромінювання.
14. Теплообмін випромінюванням між тілами з плоскопаралельними поверхнями без екранів.
15. Теплообмін випромінюванням між тілами при наявності екранів.
16. Класифікація теплообмінних апаратів ГТУ та КС.
17. Теплопередача в теплообмінних апаратах. Основні рівняння для теплового розрахунку теплообмінних апаратів ГТУ та КС.
18. Водяний еквівалент залежності зміни температури теплоносіїв від співвідношення водяних еквівалентів при різних схемах руху.
19. Середнєлогарифмічний температурний напір пряموструминного руху теплоносіїв.
20. Середнєлогарифмічний температурний напір протиструминного руху теплоносіїв.
21. Середнєлогарифмічний температурний напір перехресного руху теплоносіїв.
22. Основні поняття тепло- і масообміну.
23. Диференціальні рівняння тепло- і масообміну.
24. Тепло- і масовіддача в елементах енергетичних установок, зокрема в установках з ГТУ.
25. Потрійна аналогія процесів тепло- і масовіддачі і руху рідини та її застосування при моделюванні процесів та у теплових розрахунках.