

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІННОВАТИКИ,
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА ІНФРАСТРУКТУРИ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор навчально-наукового інституту інноватики, природокористування та інфраструктури

Василь БРИЧ

«30» _____ 2024 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи

Віктор ОСТРОВЕРХОВ

_____ 2024 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор навчально-наукового інституту новітніх освітніх технологій

Святослав ПИТЕЛЬ

_____ 2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА

з дисципліни

«Основи термодинаміки та теплотехніки»

ступінь вищої освіти – **перший (бакалаврський) рівень**

галузь знань – **14 «Електрична інженерія»**

спеціальність – **141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

освітньо-професійна програма **«Енергетичний аудит»**

Кафедра бізнес-аналітики та інноваційного інжинірингу

Форма навчання	Курс	Семестр	Лекції (год.)	Практ. заняття (год.)	ІРС, год.	Тренінг, (год.)	Самост. робота студ., (год.)	Разом, (год.)	Екзамен, (сем.)
Денна	1	2	30	30	4	8	48	120	2
Заочна	1	2	8	4	-	-	108	120	2

30.08.2024
[Signature]

Тернопіль – ЗУНУ
2024

Робоча програма складена на основі освітньо-професійної програми підготовки бакалавр галузі знань 14 «Електрична інженерія» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», затвердженої Вченою радою ЗУНУ, протокол № 9 від 15 червня 2022 р.

Робочу програму склав к.е.н., доцент Микола ГОРЛАЧУК

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри бізнес-аналітики та інноваційного інжинірингу, протокол № 1 від 26 серпня 2024 р.

В.о. завідувача кафедри,
д.е.н., професор



Руслан БРУХАНСЬКИЙ

Розглянуто та схвалено групою забезпечення спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», протокол № 2 від 30 серпня 2024 р.

Керівник групи
забезпечення спеціальності,
д.е.н., професор



Петро ПУЦЕНТЕЙЛО

Гарант ОПІ «Енергетичний аудит»,
д.е.н., професор



Петро ПУЦЕНТЕЙЛО

СТРУКТУРА РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«Основи термодинаміки та теплотехніки»

1. ОПИС ДИСЦИПЛІНИ

Дисципліна – «Основи термодинаміки і теплотехніки»	Галузь знань, спеціальність, ступінь вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
Кількість кредитів ECTS: – 4	Галузь знань 14 «Електрична інженерія»	Статус дисципліни – дисципліна циклу професійної підготовки Мова навчання – українська
Кількість залікових модулів <i>Денна форма навчання – 4</i>	Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»	Рік підготовки – 1 <i>Денна – 1 Заочна – 1</i> Семестр: <i>Денна – 2 Заочна – 2</i>
Кількість змістових модулів – 2	Ступінь вищої освіти – бакалавр	Лекції: <i>Денна – 30 год. Заочна – 8 год.</i> Практичні заняття: <i>Денна – 30 год. Заочна – 4 год.</i>
Загальна кількість годин –120	Освітньо-професійна програма: «Енергетичний аудит»	Індивідуальна робота <i>Денна – 4 год.</i> Тренінг – 8 год. Самостійна робота: <i>Денна – 48 год. Заочна – 108 год.</i>
Тижневих годин <i>денна форма – 9 з них аудиторних – 4</i>		Вид підсумкового контролю – екзамен

2. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ

«Основи термодинаміки та теплотехніки»

2.1 Мета дисципліни

Мета вивчення навчальної дисципліни «Основи термодинаміки та теплотехніки» полягає у засвоєнні студентами методів утримання, перетворення, передачі і використання теплоти в енергетичних установках, а саме – набуття майбутніми фахівцями компетенції щодо сучасних методів перетворення, передачі та використання теплової енергії з максимальною економією, інтенсифікацією (гальмуванням) процесів теплообміну, ефективним захистом навколишнього середовища від теплового забруднення.

Однією з основних проблем сучасного розвитку України є надійне забезпечення потреб господарського комплексу в енергетичних ресурсах на базі науково-технічного прогресу та розвитку концепції активного енергозбереження. Важливу роль у вирішенні цієї задачі відіграє підготовка кваліфікованих інженерних фахівців, здатних ефективно використовувати теплоенергетичні установки і системи в галузі виробництва та технології, формування наукового мислення, що неможливо без засвоєння необхідного обсягу теоретичних знань при вивченні термодинамічних параметрів, законів перетворення теплової енергії в механічну і навпаки, процесів тепло- і масопереносу в процесі виробничої діяльності.

Базові знання і навички, одержані при вивченні даної дисципліни будуть використовуватися студентами при вивченні та засвоєнні інших спеціальних дисциплін.

2.2. Завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни «Основи термодинаміки та теплотехніки» є отримання знань і розуміння для визначення, формулювання і вирішення завдань щодо перетворення теплової енергії в теплоенергетичних системах, засвоєння знань основних законів перетворення теплоти у роботу, передачі теплоти, роботи з теплотехнічними пристроями, устаткуванням на рівні вмінь, що достатні для практичної діяльності за спеціальністю, а також ознайомлення з методами ефективного використання теплоти у сучасних теплоенергетичних установках на професійному рівні.

2.3. Результати навчання

У результаті вивчення дисципліни «Основи термодинаміки та теплотехніки» здобувач вищої освіти повинен:

-знати теоретичні основи термодинаміки та теплотехніки, методи розрахунку при проектуванні схем теплоенергетичних систем, пристроїв, комплексів та устаткування, традиційної та відновлюваної енергетики, стандартизовані методи розрахунку при проектуванні теплоенергетичних систем, пристроїв, технологій та устаткування енергоємних виробництв, ефективність систем і компонентів на основі використання аналітичних методів і методів моделювання в теплоенергетичній галузі;

-вміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи теплоенергетичних систем, застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні, проводити моніторинг, енерговикористання та розроблення організаційно-технічних інноваційних заходів, спрямованих на підвищення ефективності енергоспоживання, використовувати методи техніко-економічного обґрунтування енергоощадних проєктів, організації професійної діяльності і планування в управлінні енергетичними ресурсами.

Загальні компетентності (ЗК):

K12. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки.

К18. Здатність виконувати професійні обов'язки із дотриманням вимог правил техніки безпеки, охорони праці, виробничої санітарії та охорони навколишнього середовища.

Фахові (спеціальні) компетентності (ФК):

ФК.18.Здатність виконувати професійні обов'язки із дотриманням вимог правил техніки безпеки, охорони праці, виробничої санітарії та охорони навколишнього середовища.

ФК.20. Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

Програмні результати навчання (ПРН):

ПР01. Знати і розуміти принципи роботи електричних систем та мереж, силового обладнання електричних станцій та підстанцій, пристроїв захисного заземлення та грозозахисту та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПР03. Знати принципи роботи електричних машин, апаратів та автоматизованих електроприводів та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПР04. Знати принципи роботи біоенергетичних, вітроенергетичних, гідроенергетичних та сонячних енергетичних установок.

ПР05. Знати основи теорії електромагнітного поля, методи розрахунку електричних кіл та уміти використовувати їх для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПР06. Застосовувати прикладне програмне забезпечення, мікроконтролери та мікропроцесорну техніку для вирішення практичних проблем у професійній діяльності.

ПР07. Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах.

ПР08. Обирати і застосовувати придатні методи для аналізу і синтезу електромеханічних та електроенергетичних систем із заданими показниками.

ПР09. Уміти оцінювати енергоефективність та надійність роботи електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних систем.

ПР10. Знаходити необхідну інформацію в науково-технічній літературі, базах даних та інших джерелах інформації, оцінювати її релевантність та достовірність.

ПР12. Розуміти основні принципи і завдання технічної та екологічної безпеки об'єктів електротехніки та електромеханіки, враховувати їх при прийнятті рішень.

ПР16. Знати вимоги нормативних актів, що стосуються інженерної діяльності, захисту інтелектуальної власності, охорони праці, техніки безпеки та виробничої санітарії, враховувати їх при прийнятті рішень.

ПР17. Розв'язувати складні спеціалізовані задачі з проектування і технічного обслуговування електромеханічних систем, електроустаткування електричних станцій, підстанцій, систем та мереж.

ПР19. Застосовувати придатні емпіричні і теоретичні методи для

зменшення втрат електричної енергії при її виробництві, транспортуванні, розподіленні та використанні.

3. ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

«Основи термодинаміки та теплотехніки»

Змістовий модуль 1. Основи термодинаміки

Тема 1. Основні поняття та визначення термодинаміки

Зміст програми, її зв'язок з іншими дисциплінами. Предмет і методи дисципліни, її місце і функції в підготовці фахівців. Визначення понять «технічна термодинаміка» та «технічна теплотехніка». Внесок вітчизняних вчених у розвиток теплотехніки. Поняття «робоче тіло». Параметри робочого тіла: тиск, температура, питомий об'єм, одиниці їх вимірювання. Поняття про термодинамічний процес. Внутрішня енергія, теплота, робота, ентальпія. Термодинамічна система. Робочі тіла. Основні параметри, які характеризують стан термодинамічної системи.

Тема 2. Перший та другий закони термодинаміки

Внутрішня енергія. Механічна робота, PV- діаграма. Робота розширення і стиснення газів. Сутність першого закону термодинаміки і його аналітичне вираження. Основні формулювання першого закону термодинаміки. Ентальпія як параметр стану. Поняття термічного коефіцієнту корисної дії. Цикл Карно прямий. Цикл Карно зворотній. Поняття про ентропію і її зміну в термодинамічних процесах. Ентропія і працездатність ізольованої системи. Ексергія. Тепловий баланс паротурбінної установки. T – S діаграма. Основні параметри стану води і водяної пари: насичена, перегріта, суха водяна пара. Зображення процесу пароутворення у P – V і T – S діаграмах водяної пари. Визначення параметрів води і водяної пари. Основні формулювання другого закону термодинаміки. Ентропія системи. TS - діаграма. Кругові термодинамічні процеси і цикли. Межі використання другого закону термодинаміки.

Тема 3. Основні закони ідеальних газів. Суміші ідеальних газів

Поняття про ідеальні і реальні гази. Властивості ідеальних газів. Властивості реальних газів. Основні закони ідеальних газів: закони Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, Шарля і Авогадро. Рівняння стану ідеальних газів. Універсальна газова постійна. Класифікація основних термодинамічних процесів ідеальних газів. Рівняння і графічне зображення основних термодинамічних процесів ідеальних газів: ізохорного, ізотермічного, адіабатного, політропного. Робота розширення і стиснення газу в термодинамічних процесах ідеальних газів. Поведінка ідеальних та реальних газів у суміші. Визначення фізичної суті парціального тиску, об'ємної та молярної долей. Газова стала суміші газів. Середня молярна маса суміші газів. Закон Дальтона. Співвідношення між масовою і об'ємними долями. Уявна молекулярна маса суміші газів.

Тема 4. Термодинамічні процеси. Термодинаміка вологого повітря. Термодинаміка потоку

Поняття кругового процесу. Зображення кругового процесу в $P - V$ діаграмі. Поняття термічного коефіцієнту корисної дії. Цикл Карно прямий. Цикл Карно зворотній. Поняття про ентропію і її зміну в термодинамічних процесах. Ентропія і працездатність ізольованої системи. Ексергія. Тепловий баланс паротурбінної установки. $T - S$ діаграма. Таблиці термодинамічних властивостей води і водяної пари. $I - S$, $T - S$ діаграми водяної пари і їх практичне застосування. Вологе повітря і параметри його стану: вологовміст, температура, абсолютна і відносна вологість, парціальний тиск. $I - d$ діаграма вологого повітря, її структура, призначення. Визначення параметрів вологого повітря по $I - d$ діаграмі. Змішування потоків вологого повітря. Швидкість і витрата газу при течії його через сопло, яке звужується. Критична швидкість потоку і максимальні витрати робочого тіла. Сопло Лаваля. Дроселювання газів і пари.

Змістовий модуль 2. Основи теплотехніки

Тема 5. Основні теорії теплообміну. Теплопровідність. Теплопередача

Теплотехніка, вагомість та значимість дисципліни. Основні поняття теплообміну. Способи перенесення теплоти. Температурне поле. Температурний градієнт. Закон Фур'є. Диференціальне рівняння теплопровідності. Умови однозначності. Конвективний теплообмін. Основні поняття і визначення. Рівняння Ньютона-Ріхмана. Основні закони теплового випромінювання. Види променевих теплових потоків. Класифікація палива за фізичним станом, за способом його отримання.

Тема 6. Енергетичне паливо. Процес горіння палива

Паливо, основні поняття і визначення. Основні характеристики і хімічний склад палива. Теплота згорання палива, коефіцієнт надлишку повітря. Склад твердого і рідкого палива і його характеристики. Теплота згорання палива. Умовне паливо. Переробка твердого палива. Коротка характеристика процесу горіння палива при шаровому, факельному і вихровому спалюванні. Основні стадії процесу горіння. Визначення кількості повітря на спалювання. Теоретична і дійсна витрата кисню і повітря. Коефіцієнт надлишку повітря. Об'єм продуктів спалювання. Спалювання рідкого і газоподібного палива.

Тема 7. Топочні пристосування. Котельні установки. Цикли теплосилових установок

Основи теорії горіння. Класифікація топок. Особливості спалювання газоподібного палива. Особливості спалювання рідкого палива. Спалювання твердого палива. Парові котли (ПК) і котельні установки електричних станцій. Класифікація парових котлів. Основні технічні характеристики ПК. Низькотемпературні і високотемпературні поверхні нагрівання. Техніко-економічні показники і ККД парових котлів. Парові турбіни. Основні поняття, визначення. Класифікація парових турбін. Втрати енергії і ККД турбінної ступені. Багатоступеневі парові турбіни. Енергетичні показники і характеристики ПТ. Паротурбінні установки (ПТУ). Тепловий цикл ПТУ.

Тема 8. Теплообмінні апарати

Призначення та класифікація теплообмінних апаратів за принципом дії. Класифікація рекуперативних теплообмінників за схемою руху теплоносіїв – типи теплообмінних апаратів: поверхневі, змішуючі, регенеративні. Напрямки руху теплоносія в теплообмінних апаратах та їх характеристика. Середній температурний напір. Розрахунок теплообмінних апаратів. Конструктивний розрахунок рекуперативних теплообмінників. Основи перевірного розрахунку рекуперативних теплообмінників. Порівняння проточного і протитечійного рекуператорів.

4. СТРУКТУРА ЗАЛІКОВОГО КРЕДИТУ ДИСЦИПЛІНИ
«Основи термодинаміки та теплотехніки»
(денна форма)

Тема	Кількість, годин, в т.ч.					
	Лекції	Практичні	Індивідуальна робота	Тренінг	Самостійна робота	Контрольні заходи
Змістовий модуль 1. «Основи термодинаміки»						
Тема 1. Основні поняття та визначення термодинаміки	2	2	2	1	9	Поточне оцінювання
Тема 2. Перший та другий закони термодинаміки	4	4		1	9	Поточне оцінювання
Тема 3. Основні закони ідеальних газів. Суміші ідеальних газів	4	4		1	5	Поточне оцінювання
Тема 4. Термодинамічні процеси. Термодинаміка вологого повітря. Термодинаміка потоку	4	4		1	5	Поточне оцінювання
Модульна робота 1						Письмова робота
Змістовий модуль 2. «Основи теплотехніки»						
Тема 5. Основні теорії теплообміну. Теплопровідність. Теплопередача	4	4	2	1	5	Поточне оцінювання
Тема 6. Енергетичне паливо. Процес горіння палива	4	4		1	5	Поточне оцінювання
Тема 7. Топочні пристосування. Котельні установки. Цикли теплосилових установок	4	4		1	5	Поточне оцінювання
Тема 8. Теплообмінні апарати	4	4		1	5	Поточне оцінювання
Модульна робота 2						Письмова робота
Екзамен						Підсумкове оцінювання
Разом	30	30	4	8	48	

СТРУКТУРА ЗАЛІКОВОГО КРЕДИТУ ДИСЦИПЛІНИ
«Основи термодинаміки та теплотехніки»
(заочна форма)

Тема	Кількість, годин, в т.ч.			
	Лекції	Практичні	Самостійна робота	Контрольні заходи
Змістовий модуль 1. «Основи термодинаміки»				
Тема 1. Основні поняття та визначення термодинаміки	1	2	18	тестування
Тема 2. Перший та другий закони термодинаміки	1		18	тестування
Тема 3. Основні закони ідеальних газів. Суміші ідеальних газів	1		14	тестування
Тема 4. Термодинамічні процеси. Термодинаміка вологого повітря. Термодинаміка потоку	1		10	тестування
Змістовий модуль 2. «Основи теплотехніки»				
Тема 5. Основні теорії теплообміну. Теплопровідність. Теплопередача	1	2	18	тестування
Тема 6. Енергетичне паливо. Процес горіння палива	1		18	тестування
Тема 7. Топочні пристосування. Котельні установки. Цикли теплосилових установок	1		14	тестування
Тема 8. Теплообмінні апарати	1		10	тестування
Разом	8	4	108	

5. ТЕМАТИКА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Змістовий модуль 1. Основи термодинаміки

Практичне заняття 1

Тема: Основні поняття та визначення термодинаміки

Мета: ознайомитися з предметом і завданням дисципліни, засвоїти категоріальний апарат, з'ясувати особливості енергетичної галузі, сформулювати розуміння енергетичного виробництва.

Питання для обговорення:

1. Предмет і завдання дисципліни.
3. Методологія термодинаміки.
4. Основні поняття та визначення термодинаміки.
5. Визначення гідростатичного, абсолютного, надлишкового, вакуумного тисків.
6. Поняття про термодинамічну систему.
7. Сутність понять «внутрішня енергія», «теплота», «робота», «ентальпія».
8. Робоче тіло. Параметри стану. Рівноважний стан.
9. Термічне рівняння стану.

Практичне заняття 2

Тема: Перший та другий закони термодинаміки

Мета: з'ясувати сутність закону збереження і перетворення енергії, ознайомитися з аналітичним вираженням першого та другого законів термодинаміки та практичними межами їх застосування

Питання для обговорення:

1. Фізична сутність першого та другого законів термодинаміки.
2. Внутрішня енергія. Механічна робота, PV -діаграма.
3. Поняття термічного коефіцієнту корисної дії. Цикл Карно прямий. Цикл Карно зворотній.
4. Поняття про ентропію і її зміну в термодинамічних процесах.
5. Ентропія і працездатність ізольованої системи. Ексергія.
6. Кругові термодинамічні процеси і цикли.
7. Межі використання другого закону термодинаміки.

Практичне заняття 3

Тема: Основні закони ідеальних газів. Суміші ідеальних газів

Мета: ознайомитися з основними законами ідеальних газів, з'ясувати властивості ідеальних газів та ознайомитися із їх сумішами, засвоїти показники і рівняння стану ідеальних газів, оволодіти навиками графічного зображення основних термодинамічних процесів ідеальних газів.

Питання для обговорення:

1. Поняття про ідеальні і реальні гази.
2. Властивості ідеальних газів. Властивості реальних газів.
3. Основні закони ідеальних газів.
4. Рівняння стану ідеальних газів. Універсальна газова постійна.

- 5 Поведінка ідеальних та реальних газів у суміші.
6. Газова стала суміші газів. Середня молярна маса суміші газів.
7. Закон Дальтона.
8. Співвідношення між масовою і об'ємними долями. Уявна молекулярна маса суміші газів.

Практичне заняття 4

Тема: Термодинамічні процеси. Термодинаміка вологого повітря.

Термодинаміка потоку

Мета: з'ясувати основні термодинамічні процеси, ознайомитися із проблемами термодинаміки вологого повітря і потоку, набуття навиків розрахунку показників термодинамічних процесів, параметрів вологого повітря, дроселювання газів і пари.

Питання для обговорення:

1. Поняття кругового процесу і циклу.
2. Послідовність зображення прямого і зворотнього циклу в $P - V$ діаграмі.
3. Поняття термічного коефіцієнту корисної дії циклу Карно.
4. Величина термічного коефіцієнту корисної дії циклу Карно.
5. Тепловий баланс паротурбінної установки.
6. Правила побудови $T - S$ діаграми.
7. . Визначення параметрів вологого повітря по $I - d$ діаграмі.
8. Змішування потоків вологого повітря.
9. Критична швидкість потоку і максимальні витрати робочого тіла.
10. Сопло Лавалю. Дроселювання газів і пари.

Змістовий модуль 2. Основи теплотехніки

Практичне заняття 5

Тема: Основні теорії теплообміну. Теплопровідність. Теплопередача

Мета: з'ясувати сутність основних теорій теплообміну, теплопровідності та теплопередачі, ознайомитися зі способами перенесення теплоти, умовами однозначності та основними законами теплового випромінювання.

Питання для обговорення:

1. Вагомість і значимість теплотехніки як прикладної сфери наукових досліджень.
2. Основні теорії та поняття теплообміну.
3. Теплота і способи її перенесення.
4. Температурне поле. Температурний градієнт.
5. Закон Фур'є. Диференціальне рівняння теплопровідності. Умови однозначності.
6. Конвективний теплообмін. Основні поняття і визначення.
7. Види променевих теплових потоків.
8. Класифікація палива за фізичним станом, за способом його отримання.

Практичне заняття 6

Тема: Енергетичне паливо. Процес горіння палива

Мета: з'ясувати основні поняття про паливо, його визначення,

характеристики та хімічний склад, ознайомитися із короткою характеристикою процесу горіння при різних видах спалювання, засвоїти основні стадії процесу горіння.

Питання для обговорення:

1. Паливо, основні поняття і визначення.
2. Класифікація палива за фізичним станом, за способом його отримання.
3. Склад твердого і рідкого палива і його характеристики.
4. Теплота згорання палива. Умовне паливо. Переробка твердого палива.
5. Характеристика процесу горіння палива при шаровому, факельному і вихровому спалюванні.
6. Основні стадії процесу горіння.
7. Визначення кількості повітря на спалювання. Теоретична і дійсна витрата кисню і повітря.
8. Об'єм продуктів спалювання. Спалювання рідкого і газоподібного палива.

Практичне заняття 7

Тема: Топочні пристосування. Котельні установки. Цикли теплосилових установок

Мета: з'ясувати основні типи топок для спалювання палива, ознайомитися з основними характеристиками топочних пристосувань, , схемами та їх роботою.

Питання для обговорення:

1. Основи теорії горіння.
2. Класифікація топок. Особливості спалювання основних видів палива.
3. Парові котли і котельні установки.
4. Типи котлів. Принципова схема котельної установки.
5. Техніко-економічні показники і ККД парових котлів.
6. Втрати енергії і ККД турбінної ступені.
7. Визначення економічності котельного агрегату.
6. Енергетичні показники і характеристики парових турбін.
7. Паротурбінні установки (ПТУ). Тепловий цикл ПТУ.

Практичне заняття 8

Тема: Теплообмінні апарати

Мета: ознайомитися з призначенням та класифікацією теплообмінних апаратів за принципом дії, їх типами, з'ясувати способи розрахунку теплообмінних апаратів, оволодіти порівнянням прямотечійного і протитечійного рекуператорів.

Питання для обговорення:

1. Призначення та класифікація теплообмінних апаратів за принципом дії.
2. Типи теплообмінних апаратів: поверхневі, змішуючі, регенеративні.
3. Напрямки руху теплоносія в теплообмінних апаратах та їх характеристика.
4. Середній температурний напір. Розрахунок теплообмінних апаратів.
5. Основи перевірного розрахунку рекуперативних теплообмінників.
6. Порівняння прямотечійного і протитечійного рекуператорів.

6. САМОСТІЙНА РОБОТА СТУДЕНТІВ З ДИСЦИПЛІНИ

«Основи термодинаміки та теплотехніки»

Основним завданням самостійної роботи студентів є опрацювання спеціальної літератури та оволодіння теоретико-методичними та прикладними аспектами основ термодинаміки і теплотехніки.

Денна форма навчання

№	Тематика самостійної роботи	Кількість годин
Змістовий модуль 1. Основи термодинаміки		
1	Основні поняття та визначення термодинаміки	9
2	Перший та другий закони термодинаміки	9
3	Основні закони ідеальних газів. Суміші ідеальних газів	5
4	Термодинамічні процеси. Термодинаміка вологого повітря. Термодинаміка потоку	5
Змістовий модуль 2. Основи теплотехніки		
5	Основні теорії теплообміну. Теплопровідність. Теплопередача	5
6	Енергетичне паливо. Процес горіння палива	5
7	Топочні пристосування. Котельні установки. Цикли теплосилових установок	5
8	Теплообмінні апарати	5
	Разом	48

Заочна форма навчання

№	Тематика самостійної роботи	Кількість годин
Змістовий модуль 1. Основи термодинаміки		
1	Основні поняття та визначення термодинаміки	18
2	Перший та другий закони термодинаміки	18
3	Основні закони ідеальних газів. Суміші ідеальних газів	14
4	Термодинамічні процеси. Термодинаміка вологого повітря. Термодинаміка потоку	10
Змістовий модуль 2. Основи теплотехніки		
5	Основні теорії теплообміну. Теплопровідність. Теплопередача	18
6	Енергетичне паливо. Процес горіння палива	18
7	Топочні пристосування. Котельні установки. Цикли теплосилових установок	14
8	Теплообмінні апарати	10
	Разом	108

Самостійна робота з дисципліни «Основи термодинаміки та теплотехніки» виконується самостійно кожним студентом і охоплює усі основні теми дисципліни.

Метою виконання є оволодіння практичними навичками з основ термодинаміки та теплотехніки. Самостійна робота оцінюється за 100-бальною

шкалою. Виконання самостійної роботи є одним із обов'язкових складових модулів залікового кредиту з навчальної дисципліни.

Питання для самостійної роботи:

1. Способи підвищення ефективності теплоенергопостачання.
2. Історія розвитку теплотехніки.
3. Історія розвитку термодинаміки як науки.
4. Основні теплотехнічні величини та їх розмірності в системі СІ. Температурні шкали Цельсія та Кельвіна, що в них спільного і відмінного.
5. Визначення термодинамічної системи, процесу і циклу.
6. Поняття теплоємності та її різновидності. Рівняння Майєра і показника адіабати κ .
7. Основні параметри стану робочого тіла – температура, тиск, об'єм.
8. Теплові або калоричні параметри стану – внутрішня енергія, ентальпія, ентропія.
9. Визначення і поняття теплоти і роботи. Зображення в PV – , TS – координатах.
10. Методика дослідження термодинамічних процесів зміни стану робочого тіла.
11. Дослідження ізотермного термодинамічного процесу.
12. Дослідження ізохорного термодинамічного процесу.
13. Дослідження ізобарного термодинамічного процесу.
14. Дослідження політропного термодинамічного процесу.
15. Визначення ідеального газу. Універсальне рівняння стану ідеального газу Менделєєва-Клапейрона.
16. Визначення реального газу. Рівняння станів реальних газів Ван-дер-Ваальса, Бертло, Дітеріччі.
17. Визначення і аналітичний вираз першого закону термодинаміки.
18. Визначення і аналітичний вираз другого закону термодинаміки.
19. Витікання і дроселювання газів і парів. Сопло Лавалю.
20. Поняття і визначення термічного К.К.Д. і холодильного коефіцієнта ϕ .
21. Прямий і обернений цикли Карно. Теорема Карно.
22. Фазова PV – діаграма води і водяної пари.
23. HS – діаграма водяної пари. Аналіз процесів, які відбуваються з робочим тілом в елементах паросилової установки з допомогою HS – діаграми.
24. Вологе повітря. HD – діаграма вологого повітря. Аналіз процесів, які відбуваються з робочим тілом в сушарках з допомогою HD – діаграми.
25. Принципова схема поршневого ДВЗ з підводом теплоти при $V=\text{const}$ (цикл Отто). Індикаторна діаграма. Термодинамічний аналіз циклу з допомогою PV і TS діаграм, параметри циклу, термічний К.К.Д., середній індикаторний тиск і зовнішня корисна робота за цикл.
26. Принципова схема поршневого ДВЗ з підводом теплоти при $P=\text{const}$ (цикл Дизеля). Індикаторна діаграма. Термодинамічний аналіз циклу з допомогою PV і TS діаграм, параметри циклу, термічний К.К.Д., середній індикаторний тиск і зовнішня корисна робота за цикл.

27. Принципова схема поршневого ДВЗ із змішаним підводом теплоти при $V=\text{const}$, $P=\text{const}$ (цикл Трінклера). Індикаторна діаграма. Термодинамічний аналіз циклу з допомогою PV і TS діаграм, параметри циклу, термічний К.К.Д., середній індикаторний тиск і зовнішня корисна робота за цикл.

28. Компресор. Визначення, схеми, принципи дій. Термодинамічний аналіз стиску газу в односхідчастому поршковому компресорі з допомогою PV і TS діаграм.

29. Трьохсхідчастий охолоджуваний компресор. Принципова схема і термодинамічний аналіз стиску газу з допомогою PV і TS діаграм.

30. Газотурбінні установки (ГТУ). Принципова схема ГТУ з підводом теплоти при $P=\text{const}$ і термодинамічний аналіз циклу з допомогою PV і TS діаграм.

На основі опрацювання питань, передбачених тематикою самостійної роботи, здобувач вищої освіти виконує такі завдання для самостійної роботи студентів: 1) підготовка реферату; 2) підготовка презентації; 3) розв'язання задачі.

Основні вимоги: критичний та креативний аналіз проблеми, для якого необхідним є порівняння існуючих щодо проблеми поглядів та обґрунтування власної позиції. Технічні вимоги – реферат (обсяг до 20 сторінок, Times New Roman, шрифт 14, інтервал 1,5, не менше ніж 10 позицій у списку літератури, коректне оформлення посилань, презентація до 20 слайдів.)

Задача (приклад)

Визначити: густину окису вуглецю при $t_2=20^\circ\text{C}$ і тиску $p_2=95$ кПа, якщо при $t_1=0^\circ\text{C}$ і тиску $p_1=101,3$ кПа вона дорівнює $\rho_1=1,251$ кг/м³.

Вихідні дані згідно відповідного варіанта тематики самостійної роботи.

Дано:

$$t_2 = 20^\circ\text{C};$$

$$p_2=95 \text{ кПа};$$

$$t_1=0^\circ\text{C};$$

$$p_1=101,3 \text{ кПа};$$

$$\rho_1=1,251 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_2=?$$

Розв'язання:

1. Питомий об'єм при початковій температурі

$$v_1 = 1/\rho_1 = 1/1,251 = 0,799 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

2. Згідно об'єднаного газового закону

$$p_2 v_2 / T_2 = p_1 v_1 / T_1, \text{ звідки } v_2 = 101,3 \times 0,799 / 273 \times (273+20) / 95 = 0,914 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

3. Тоді $p_2 = 1 / v_2 = 1 / 0,914 = 1,094 \text{ кг/м}^3$.

Відповідь: $p_2 = 1,094 \text{ кг/м}^3$.

Критерії оцінювання самостійної роботи:

- комплексність виконання завдання для самостійної роботи;
- логічність викладення матеріалу;
- логічність аналізу стану обраної проблематики;
- повнота і глибина розкриття питань;
- правильність розрахунків;
- обсяг опрацьованої наукової літератури;
- критичне мислення та індивідуальний підхід до оформлення результатів самостійного завдання;
- презентація науково-дослідної роботи.

Індивідуальна робота – ідентифікована як одна із форм організації навчальної роботи викладача і студентів, реалізовуватиметься створенням необхідних умов для виявлення та розвитку персональних здібностей студентів на основі особистісно-діяльнісного підходу до виконання завдання.

7. ОРГАНІЗАЦІЯ І ПРОВЕДЕННЯ ТРЕНІНГУ З ДИСЦИПЛІНИ

«Основи термодинаміки та теплотехніки»

Тематика: Робота з термодинамічними поняттями, величинами та їх розрахунками

Методична доцільність проведення тренінгу полягає у забезпеченні студентів знаннями і навичками, які в подальшому можуть використовуватися при вирішенні комплексних спеціалізованих задач і практичних проблем, пов'язаних із експлуатацією енергетичного і теплотехнологічного обладнання у майбутній професійній діяльності.

У процесі проведення тренінгу студентам пропонуються ситуації, у яких вони зможуть продемонструвати набуті знання і вміння аналізувати технічні, інженерні та організаційні параметри діяльності енергетичного виробництва, застосовувати методи розрахунку в умовах практичного використання енергетичного і теплотехнологічного обладнання, застосовувати прогресивні методи використання теплотехнологічного обладнання для об'єктів енергетики, промисловості і транспорту, комунально-побутового та аграрного секторів економіки.

Тестові завдання (приклад):

1. Закон Бойля-Маріотта стверджує що:
 - а) за $P = \text{const}$, $u_i/T_i = \text{const}$;
 - б) за $T = \text{const}$, $u_i \cdot P_j = \text{const}$;
 - в) за $V = \text{const}$, $P_i/T_i = \text{const}$;
 - г) $P \cdot V = m \cdot R \cdot T$.
2. Закон Гей-Люсака стверджує що:
 - а) за $P = \text{const}$, $U_i/T_i = \text{const}$;
 - б) за $T = \text{const}$, $u_i \cdot P_j = \text{const}$;
 - в) за $V = \text{const}$, $P_i/T_i = \text{const}$;
 - г) $P \cdot V = m \cdot R \cdot T$.
3. Закон Шарля стверджує що:
 - а) за $T = \text{const}$, $U_i \cdot P_j = \text{const}$;
 - б) за $V = \text{const}$, $P_i/T_i = \text{const}$;
 - в) за $P = \text{const}$, $U_i/T_i = \text{const}$;
 - г) $P \cdot V = m \cdot R \cdot T$.
4. Рівняння Клапейрона I виду має вигляд:
 - а) $P V_k = k R \cdot T$;
 - б) $P \cdot V = m \cdot R \cdot T$;
 - в) $P \cdot V = n \cdot k \cdot R \cdot T$;
 - г) $P \cdot U = R \cdot T$.
5. Рівняння Менделєєва представлене виразом:
 - а) $P \cdot V = m \cdot R \cdot T$;
 - б) $P \cdot V_k \cdot n = k \cdot R \cdot T$;
 - в) $P \cdot V_k = k \cdot R \cdot T$;
 - г) $P \cdot V = n \cdot k \cdot R \cdot T$.
6. Термодинамічна система, що не обмінюється теплотою з навколишнім середовищем, називається:
 - а) відкритою;
 - б) закритою;
 - в) ізольованою;
 - г) адіабатною.

7. Термодинамічна система, що не обмінюється з навколишнім середовищем речовиною, називається:
- а) закритою;
 - б) замкненою;
 - в) теплоізолюваною;
 - г) ізолюваною.
8. Термодинамічна система, що не обмінюється з навколишнім середовищем ні енергією, ні речовиною, називається:
- а) адіабатною;
 - б) закритою;
 - в) замкненою;
 - г) теплоізолюваною.
9. Термодинамічний процес, що протікає як у прямому, так і у зворотному напрямку називається:
- а) рівноважним;
 - б) оборотним;
 - в) не рівноважним;
 - г) необоротним.
10. Термодинамічний процес, у якому робоче тіло, пройшовши ряд станів, повертається у початковий стан, називається:
- а) необоротним;
 - б) рівноважним;
 - в) оборотним;
 - г) не рівноважним.
11. Закон Авогадро стверджує, що всі ідеальні гази за однакових P і T у рівних об'ємах містять однакове число:
- а) атомів;
 - б) молекул;
 - в) ступеней свободи;
 - г) молей.
12. Яким приладом вимірюється надлишковий тиск газу у ємності?
- а) барометром;
 - б) манометром;
 - в) вакуумметром;
 - г) психрометром.
13. Який закон виражає залежність густини газу від температури?
- а) закон Гей-Люссака;
 - б) Закон Бойля-Маріотта;
 - в) Закон Клапейрона-Менделєєва;
 - г) Закон Шарля.

8. ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ТА МЕТОДИ ДЕМОНСТРУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

У процесі вивчення дисципліни «Основи термодинаміки та теплотехніки» використовуються наступні засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання:

- поточне оцінювання (опитування, тестування, виконання лабораторних завдань, доповіді, реферати);
- проміжне модульне оцінювання;
- презентації результатів виконаних досліджень;
- оцінювання результатів виконання самостійної роботи студентів;
- оцінювання результативності наукових досліджень;
- інші види індивідуальних і групових завдань
- підсумкове оцінювання (екзамен).

9. ПОЛІТИКА ОЦІНЮВАННЯ

Політика щодо граничних термінів і перескладання: Для виконання індивідуальних завдань і проведення контрольних заходів встановлюються конкретні терміни. Перескладання модулів відбувається з дозволу керівництва факультету (інституту) за наявності поважних причин (наприклад, лікарняний).

Політика щодо академічної доброчесності: Письмові роботи підлягають перевірці на наявність плагіату та допускаються до захисту з коректними текстовими запозиченнями. Використання друкованих і електронних джерел інформації під час контрольних заходів та екзаменів заборонене.

Політика щодо відвідування: Відвідування занять є обов'язковим. За об'єктивних причин (наприклад, карантин, воєнний стан, хвороба, закордонне стажування) навчання може відбуватись в онлайн формі за погодженням із керівником курсу.

10. КРИТЕРІЇ, ФОРМИ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

Підсумковий бал (за 100-бальною шкалою) з дисципліни «Основи термодинаміки та теплотехніки» визначається як середньозважена величина, залежно від питомої ваги кожної складової залікового кредиту:

Структура залікового кредиту для студентів (екзамен) %:

Модуль 1		Модуль 2		Модуль 3	Модуль 4	Модуль 5
10%	10%	10%	10%	5%	15%	40%
Поточне оцінювання	Модульний контроль	Поточне оцінювання	Модульний контроль	Тренінг	Самостійна робота	Екзамен
Середнє арифметичне з оцінок, отриманих під час занять (кожен здобувач має бути оцінений не рідше як раз на два заняття)	Письмова робота: 1. Теоретичні питання (2) max 40 балів 2. Практичні завдання (3) max 60 балів	Середнє арифметичне з оцінок, отриманих під час занять (кожен здобувач має бути оцінений не рідше як раз на два заняття)	Письмова робота: 1. Теоретичні питання (2) max 50 балів 2. Лабораторні завдання (3) max 50 балів	Середнє арифметичне з оцінок, отриманих під час тренінгу	Середнє арифметичне з оцінок, отриманих під час вивчення дисципліни за самостійну роботу	1. Тестові завдання (10) max 20 балів 2. Теоретичні питання (2) max 40 3. Лабораторні завдання (1) max 20 4. Практичні Завдання (1) max 20

Шкала оцінювання:

За шкалою ЗУНУ	За національною шкалою	За шкалою ECTS
90–100	Відмінно	A (відмінно)
85-89	Добре	B (дуже добре)
75–84		C (добре)
65–74	Задовільно	D (задовільно)
60-64		E (достатньо)
35–59	Незадовільно	FX (незадовільно з можливістю повторного складання)
1–34		F (незадовільно з обов'язковим повторним курсом)

11. ІНСТРУМЕНТИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ВИКОРИСТАННЯ ЯКИХ ПЕРЕДБАЧАЄ ДИСЦИПЛІНА

№	Найменування	Номер теми
1.	Мультимедійний проектор	1-8
2.	Екран проєкційний	1-8
	Комп'ютеризована аудиторія, доступ до мережі Інтернет	1-8
3.	Базове програмне забезпечення: ОС Windows 10 – згідно ліцензії Microsoft IT Academy та Microsoft DreamSpark for Students. Стандартне програмне забезпечення базових інформаційних технологій: MS Office (Excel), телекомунікаційне програмне забезпечення (Internet Explorer, Opera, Google Chrome, Firefox, ZOOM, MOODLE, Viber)	1-8
4.	Форми звітності суб'єктів господарювання	1-8

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Джеджула В.В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління. Монографія. Вінниця: ВНТУ, 2014. 346 с.
2. Драганов Б.Х., Долінський А.А., Міщенко А.В. Теплотехніка: Підручник. Київ: «ІНКОС», 2005. 504 с.
3. Дубровська В.В., Шкляр В.І. Термодинаміка та теплообмін: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2016. 150 с.
4. Константинов С.М., Панов Є.М. Теоретичні основи теплотехніки: Підручник. Київ: «Золоті ворота», 2012. 592 с.
5. Краснянський М.Ю. Енергозбереження: навчальний посібник. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2018. 136 с.
6. Основи енерго- і ресурсозбереження: навчальний посібник / Канюк Г.І., Пугачова Т.М., Без'язичний В.Ф., Близниченко О.М., Шматков Д.І. Харків: Друкарня «Мадрид», 2016. 230 с.
7. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» : розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серп. 2017 р. № 605-р. Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80>
8. Al-Shemmeri T. Engineering Thermodynamics. BoBoCoAe, TAS & Ventus Publishing ApS, 2010. 107 p.
9. Babu V. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2020. 440 p.
10. Baehr H.D., Kabelac S. Thermodynamik Grundlagen und technische Anwendungen. 14. Auflage. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2009. XIX, 667 S.
11. Bakshi B.R., Gutowski T., Sekulic D. (Eds.) Thermodynamics and the Destruction of Resources. Cambridge University Press, 2011. 522 p.
12. Balmer R.T. Modern Engineering Thermodynamics. Academic Press. 2011, 827 p.
13. Bejan A. Advanced Engineering Thermodynamics. 4th Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2016. 782 p.
14. Borgnakke C. Sonntag R.E. Fundamentals of Thermodynamics, 10th Edition. Wiley, Hoboken, 2019. 813 p.
15. Can Gulen S. Applied Second Law Analysis of Heat Engine Cycles. Boca Raton: CRC Press, 2023. 298 p.
16. Cengel Y.A., Boles M.A. Solutions Manual for Thermodynamics: An Engineering Approach. 7-th ed. McGraw-Hill, 2011. 2070 p.
17. Cengel Yunus A., Boles Michael A., Kanoglu Mehmet. Thermodynamics: An Engineering Approach. 10th Edition. McGraw-Hill, 2023. 977 p.

18. Colonna P., van der Stelt T.P. Thermodynamics: Fundamentals and Engineering Applications. Solution Manual. Cambridge University Press, 2019. 296 p.
19. Dam S.A. (Ed.) Heat Capacity: Theory and Measurement. Nova, 2020. 179 p.
20. Dehli M., Doering E., Schedwill H. Fundamentals of Technical Thermodynamics: Textbook for Engineering Students. Wiesbaden: Springer, 2022. 622 p.
21. Desmet B. Thermodynamics of Heat Engines. London: Wiley-ISTE, 2022. 258 p.
22. Di Bella Francis A. Applying Engineering Thermodynamics: A Case Study Approach. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2021. 581 p.
23. Di Vita A. Non-equilibrium Thermodynamics. Springer, 2022. 239 p.
24. Dincer I. Thermodynamics: A Smart Approach. Wiley, 2021. 674 p.
25. Dincer I., Rosen M.A. (eds.) Exergy. Energy, Environment and Sustainable Development. 3rd edition. Boston: Elsevier Science, 2020. 698 p.
26. El-Awad. M.M. Computer-Aided Thermofluid Analyses using Excel. Sohar: University of Technology and Applied Sciences College of Applied Sciences, 2021. 280 p.
27. Feidt M. Finite Physical Dimensions Optimal Thermodynamics 1: Fundamentals. ISTE Press Elsevier, 2017. 263 p.
28. Feidt M. Finite Physical Dimensions Optimal Thermodynamics 2: Complex Systems. ISTE Press - Elsevier, 2018.
29. Foust H.C. III Thermodynamics, Gas Dynamics, and Combustion. Cham: Springer, 2022. 408 p.
30. Gaskell D.R., Laughlin D.E. Introduction to the Thermodynamics of Materials. 6th Edition. — CRC Press, 2018. 715 p.
31. Gicquel Renaud. Energy Systems: A New Approach to Engineering Thermodynamics. 2nd edition. CRC Press, 2021. 565 p.
32. Gill S.P.A. Thermodynamics, Kinetics and Microstructure Modelling. IOP Publishing Ltd., 2022. 174 p.
33. Granet I., Alvarado J., Bluestein M. Thermodynamics and Heat Power. 9th edition. CRC Press, 2021. 864 p.
34. Helal M. Graphical Thermodynamics and Ideal Gas Power Cycles: Ideal Gas Thermodynamics in Brief. Momentum Press, 2017. 303 p.
35. Kassim M. Engineering Thermodynamics. Mercury Learning & Information, 2022. 1441 p.
36. Kaushik S.C., Tyagi S.K., Kumar P. Finite Time Thermodynamics of Power and Refrigeration Cycles. Capital Publishing Company, New Delhi, India, 2017. 330 p.
37. Mantelli M.B.H. Thermosyphons and Heat Pipes: Theory and Applications. New York: Springer, 2021. 429 p.

38. McGraw-Hill Education. Engineering Thermodynamics: Pixel- Exam Guide. McGraw-Hill, 2018. — 306 p.
39. Moran M.J., Shapiro H.N., Boettner D.D., Bailey M.B. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. 9th Edition. Wiley, 2018. XII, 864 p.
40. Moran Michael J. et al. Moran's principles of engineering thermodynamics, by Michael J. Moran. SI Version, Global Edition. Wiley, 2023. 783 p.