



СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Спеціальність: 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Освітньо-професійна програма:
«Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»

Викладач: Косой Борис Володимирович, професор кафедри термодинаміки та відновлюваної енергетики, д.т.н., доцент

Кафедра: Термодинаміки та відновлюваної енергетики, т. 7209182

Профайл викладача

Контакт:

e-mail: bkosoy@gmail.com,

т. 7232220

1. Загальна інформація

Тип дисципліни - вибіркова

Мова викладання - українська

Навчальна дисципліна викладається на 2 курсі в осінньому та весняному семестрах

Кількість кредитів – 9,5, годин - 285

Аудиторні заняття, годин:	всього	лекції	лабораторні	практичні
денна	130	68		62
заочна	12	6		6
Самостійна робота, годин	Денна -155		Заочна - 198	

Розклад занять

2. Анотація навчальної дисципліни

Технічна термодинаміка являється наукою феноменологічною (емпіричною), в основі якої лежать три закони або принципи, що були узагальнені на основі аналізу різноманітних явищ природи. Провідне місце займають перші два принципи, які являються основою для аналізу усіх перетворень енергії в теплотехнічному та холодильному устаткуванні. Третій принцип знаходить практичне застосування в хімічній термодинаміці та при аналізі процесів, які відбуваються в криогенній техніці в наближенні абсолютного термодинамічного нуля температур. Технічна термодинаміка в самому загальному виді вивчає закономірності в процесах взаємного перетворення тепла та роботи, які відповідають термомеханічним системам.

Технічна термодинаміка вивчає процеси та енергетичні перетворення з макроскопічних позицій. Вона не базує свої висновки на атомістичній структурі тіла та аналізі мікроскопічних процесів, що є предметом статистичної термодинаміки. Закони технічної термодинаміки розповсюджуються тільки на макросистеми, які складаються з великої кількості атомів та молекул.

Технічна термодинаміка являється наукою дедуктивною, так як два великі узагальнення (закони термодинаміки) використовуються для аналізу та розрахунків будь яких процесів та явищ, що відбуваються в навколишньому середовищі.

Технічна термодинаміка переважно займається дослідженням та вивченням систем, які знаходяться в стані рівноваги. Однак апарат технічної термодинаміки може бути суттєво розширений для аналізу не тільки рівноважних систем, але й для нерівноважних систем, що розглядаються в термодинаміці нерівноважних систем.

3. Мета навчальної дисципліни

Основна мета курсу полягає в тому, щоб навчити студента розрізняти та узагальнювати будь які процеси енергетичних перетворень, що мають місце теплоенергетичних та

холодильних та криогенних системах з єдиних позицій на основі якісного та кількісного енергетичного аналізу.

В результаті вивчення курсу студенти повинні

знати:

- основні закони за якими здійснюються процеси енергетичних перетворювань та відповідний аналітичний апарат ;
- термодинамічні методи розрахунку та аналізу основних процесів, які мають місце в теплоенергетичних та холодильних системах;
- термодинамічні властивості робочих тіл за допомогою яких здійснюються циклічні процеси
- найбільш відомі цикли теплосилових установок , теплових двигунів, холодильних машин та теплових насосів;
- основні напрямки та положення енергетичних та екологічних програм, які втілюються в життя в Україні.

вміти:

- будувати та розраховувати розімкнуті та циклічні термодинамічні процеси в енергетичних та холодильних системах;
- використовувати при розрахунках процесів аналітичні рівняння стану, таблиці та діаграми термодинамічних властивостей робочих тіл та холодильних агентів;
- визначати термодинамічну ефективність систем взаємного перетворення енергії з використанням відповідних кількісних та якісних енергетичних коефіцієнтів;
- виконувати термодинамічний аналіз енергетичних та холодильних систем на основі ентропійного та ексергетичного методів та прогнозувати способи підвищення термодинамічної ефективності

4. Програмні компетентності та результати навчання за дисципліною

5. Зміст навчальної дисципліни

Основні поняття технічної термодинаміки.

Предмет курсу технічна термодинаміка. Практичне застосування та значення для техніки. Місце дисципліни в підготовці фахівців з теплоенергетики, холодильної та криогенної техніки та кондиціювання повітря. Історія розвитку технічної термодинаміки як загальної науки про енергію. Основні особливості технічної термодинаміки як науки емпіричної, дедуктивної та феноменологічної .

Метод технічної термодинаміки та поняття рівноважного стану. Термодинамічні системи і їх різновидності. Параметри стану термодинамічної системи. Емпірична температура та нульовий закон термодинаміки. Інтенсивні та екстенсивні параметри стану. Зв'язок між параметрами стану. Характеристичні рівняння стану та методи їх узагальнення. Термодинамічна поверхня та квазістатичний процес. Діаграми стану речовини та їх практичне застосування.

Внутрішня енергія та її особливості. Тепло та робота як форми передачі енергії. Реакція термодинамічної системи на зовнішні дії. Узагальнена робота. Деформаційна робота та її графічне зображення в $P - V$ діаграмі.

Перший закон термодинаміки

Перший закон термодинаміки як закон збереження та перетворення енергії термомеханічних систем. Аналітичні форми запису першого закону та основні формулювання. Круговий процес та принцип еквівалентності. Функції процесу та функції стану. Математичні

особливості функцій стану. Теплоємність речовини як функція процесу. Теплоємність ідеального газу.

Рівняння першого закону через окремі похідні. Перший закон термодинаміки для стаціонарного потоку. Ентальпія. Технічна робота. Графічне зображення технічної роботи в діаграмі $P - V$.

Властивості речовин

Фізичні уявлення про різний агрегатні стан речовини. Ідеальний газ та його особливості. Закони ідеального газу. Рівняння стану ідеального газу. Властивості внутрішньої енергії та ентальпії ідеального газу. Експериментальні досліди Джоуля та Томсона.

Ентропія ідеального газу. Ентропійна діаграма $T - S$ та її властивості.

Реальний газ та його особливості. Досліди Ендрюса. Стисливість. Стан Бойля та крива Бойля. Зона насиченої пари. Граничні криві. Насичена рідина та насичена пара. Ступінь сухості пари. Критична точка. Аналіз процесу пароутворення. Волога насичена пара. Рівняння Клапейрона – Клаузіуса для фазового переходу. Діаграми $P - V$ $T - S$ та їх використання. Таблиці насиченої та перегрітої пари. Теорія подібності речовин. Рівняння реального газу Ван-дер-Ваальса в приведених координатах.

Другий закон термодинаміки

Проблема теплового двигуна. Необхідні та достатні умови для реалізації циклічних процесів. Поняття оборотних та необоротних процесів. Нерівновага, як джерело необоротності. Формулювання другого закону. Еквівалентність різних формулювань. Оборотний цикл Карно та його особливості. Теорема Карно та висновки з неї. Інтеграл Клаузіуса та поняття ентропії. Абсолютна термодинамічна температура та термодинамічна шкала Кельвіна. Об'єднане рівняння першого та другого законів.

Другий закон термодинаміки для необоротних процесів. Інтеграл Клаузіуса для необоротних процесів. Принцип зростання ентропії системи в реальних процесах. Зростання ентропії системи та страта роботи здатності. Теорема Гюї – Стодола. Принцип зростання ентропії адіабатично ізольованої системи. Теорія теплової смерті Всесвіту та її критика.

Статистична трактовка другого закону термодинаміки. Термодинамічна можливість. Рівняння Больцмана. Особливості ентропії та її визначення.

Оборотні цикли термотрансформаторів тепла. Коефіцієнти перетворення енергії (термотрансформації). Цикли прямі та зворотні. Ступінь термодинамічної стійкості реальних циклів. Відношення робіт розширення та стиснення оборотного циклу, як критерій ступені термодинамічного рівню реальних циклів. Еквівалентний та відповідний цикли Карно. Середньо планіметрична температура.

Ексергетичний метод термодинамічного аналізу

Максимальна робота в процесах при переході з нерівноважного стану в рівноважний. Ексергія теплоти, холоду, стану речовини. Необоротність реальних процесів та страти ексергії. Ексергія та Анергія. Ексергетичний аналіз енергетичних та холодильних систем. Діаграма потоків ексергії (Сенкі - Грасмана). Загальний та окремі ексергетичні коефіцієнт корисної дії та зв'язок між ними. Ексергетичний коефіцієнт корисної дії як ступень термодинамічного рівню системи або її окремого елемента.

Дослідження термодинамічних процесів з реальними та ідеальними газами.

Загальні застави дослідження термодинамічних процесів. Аналіз ізобарного, ізохорного, ізотермічного та адіабатного процесів з ідеальним та реальним газом. Графічне зображення процесів в діаграмах стану $P - V$, $T - S$, $h - S$.

Політропічні процеси з ідеальним газами та їх аналіз. Аналіз процесів в газових компресорах.

Аналіз процесу адіабатного дроселювання. Теоретичні засади та практичне використання. Диференційний та інтегральний ефекти Джоуля – Томсона. Температура інверсії та крива інверсії. Графічне відображення процесу в діаграмах стану.

Суміші ідеальних та реальних газів. Вологе повітря та його властивості. Діаграма $h - d$ волого повітря.

Теорія потоку газів та парів.

Практичне використання в енергетичних та холодильних системах. Рівняння нерозривності потоку. Взаємне перетворення потенційної та кінетичної енергій в соплах та

дифузорах. Швидкість потоку на виході із сопла. Аналіз процесу в соплах. Критична швидкість. Сопла та дифузори Лаваля. Критерій Маха. Вплив сили тертя на швидкість.

Калоричні властивості речовин

Взаємозв'язок між термічними та калоричними параметрами. Характеристичні та потенційні функції. Диференційні співвідношення термодинаміки. Рівняння Максвела. Способи розрахунку калоричних величин.

Цикли енергетичних установок.

Проблеми виробництва та споживання енергії. Енергетичні кризи. Пряме перетворення енергії. Термоелектричний, електрохімічний та магнітогідродинамічний способи. Термоядерний синтез. Використання природних не рівноваги. Перетворення теплової енергії в механічну за допомогою циклічних процесів. Практична недоцільність використання циклу Карно.

Цикли паросилових установок. Цикл Ренкіна – основний цикл теплової енергетики. Схема та графічне відображення в діаграмах стану. Методи підвищення термічного коефіцієнту корисної дії. Подвійний перегрів пари.

Регенерація тепла, як загальний метод підвищення коефіцієнтів термотрансформації циклів. Регенеративний цикл Карно. Схема регенеративного циклу Ренкіна. Теплофікаційні, паро газові та бінарні цикли.

Цикли двигунів внутрішнього згоряння. Графічне відображення в діаграмах. Цикл Отто, Дизеля та Саботе – Трінклера. Коефіцієнти перетворення енергії та їх порівняння. Цикли газотурбінних установок. Методи підвищення термічних коефіцієнтів корисної дії.

Цикли холодильних та кріогенних установок.

Практичне використання циклів. Цикл та схема газової холодильної установки. Схема та цикл Парової холодильної машини. Абсорбційна та парова ежекторна холодильні машини. Тепловий насос та його практичне застосування. Коефіцієнти перетворення енергії та методи їх підвищення.

Кріогенні установки. Мінімальна робота скраплення газу. Класичні цикли кріогенних установок. Методи досягнення понад низьких температур.

Третій принцип термодинаміки

Області практичного застосування третього закону термодинаміки. Теплова теорема Ненста та постулат Планка. Основні висновки. Властивості речовин при понад низьких температурах. Принцип недосяжності абсолютного термодинамічного нуля температур. Поняття про негативні (відємні) абсолютні температури.

Сучасні проблеми технічної термодинаміки.

Основні застави термoeкономічної оптимізації. Термодинаміка та екологія. Проблеми захисту озонового пласту та основні напрямки боротьби з парниковим ефектом. Огляд пройденого матеріалу.

6. Система оцінювання та інформаційні ресурси

Види контролю: поточний, підсумковий.

Нарахування балів

Інформаційні ресурси

1. Казавчинский Я.З., Лекции по технической термодинамике., Судостроение., 1970.
2. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндин А.Е., Техническая термодинамика., Энергия, М., 1974.
3. Констянтинов С.М., Технічна термодинаміка., Київ., Політехніка, 2001.
4. Новиков И.И. Термодинамика., Машиностроение., М., 1984.

7. Політика навчальної дисципліни

Політика всіх навчальних дисциплін в ОНАХТ є уніфікованою та визначена з урахуванням законодавства України, вимог [ISO 9001:2015](#), «[Положення про академічну добросесність в ОНАХТ](#)» та «[Положення про організацію освітнього процесу](#)».

Викладач _____ Б.В. Косой
підпис

Завідувач кафедри _____ Л.З. Бошков
підпис