



ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА - 1

ТЕРМОДИНАМІКА НЕРУХОМИХ СИСТЕМ

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалавр)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>144 Теплоенергетика</i>
Освітня програма	<i>ОНП Теплоенергетика</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)/ заочна</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів, 150 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік</i>
Розклад занять	<i>Лекційні заняття – один раз на тиждень; практичні заняття – один раз на тиждень; лабораторні – один раз на два тижні</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектори: <i>к.т.н, доц. Соломаха Андрій Сергійович, as_solomaha@ukr.net</i> Практичні: <i>к.т.н, доц. Соломаха Андрій Сергійович, as_solomaha@ukr.net</i> Лабораторні: <i>к.т.н, доц. Соломаха Андрій Сергійович, as_solomaha@ukr.net</i>
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&sd=10188&cm=24033&rcms=188834&ssm=cm&tree_list=

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Метою вивчення та засвоєння студентами навчальної дисципліни «Технічна термодинаміка –

1. Термодинаміка нерухомих систем» є формування у студента таких компетенцій:

- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- Здатність працювати в команді;
- Здатність приймати обґрунтовані рішення;
- Здатність виявляти, класифікувати і оцінювати ефективність систем і компонентів на основі використання аналітичних методів і методів моделювання в теплоенергетичній галузі;
- Здатність забезпечувати якість в теплоенергетичній галузі;
- Здатність аналізувати методи та засоби підвищення теплової економічності енергетичного обладнання теплових та атомних електростанцій; визначати шляхи модернізації теплової схеми з метою підвищення економічності та надійності роботи теплових та атомних електростанцій;
- Здатність розробляти і реалізовувати заходи з підвищення рівня енерго-екологічної ефективності при проектуванні та експлуатації теплоенергетичного обладнання, аналізувати схеми теплоенергетичних і теплотехнологічних установок та процесів з

урахуванням вимог безпеки і сучасних тенденцій розвитку енергетики в залежності від призначення і типу палива, яке використовується;

- Здатність розробляти оптимальні конструкції та експлуатаційні режими теплообмінного обладнання; оцінювати ефективність і загальну економічність використання різних видів ВЕР, нетрадиційних джерел енергії, об'єктів з теплонасосними системами теплопостачання.

Предметом¹ навчальної дисципліни «Технічна термодинаміка – 1. Термодинаміка нерухомих систем» є фізична сутність та закономірності процесів енергетичних, в основному тепломеханічних, взаємодій і перетворень, а також пов'язаними з цими процесами властивостей робочих тіл.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі програмні результати навчання:

- | | |
|-------|--|
| ПРН2 | Знати і розуміти інженерні науки, що лежать в основі спеціальності «Теплоенергетика» відповідної спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки у сфері теплоенергетики.. |
| ПРН5 | Обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень. |
| ПРН11 | Мати лабораторні / технічні навички, планувати і виконувати експериментальні дослідження в теплоенергетиці за допомогою сучасних методик і обладнання, оцінювати точність і надійність результатів, робити обґрунтовані висновки |
| ПРН12 | Розуміти основні методики проектування і дослідження в теплоенергетиці, а також їх обмеження. |
| ПРН13 | Розуміти ключові аспекти та концепції теплоенергетики, технології виробництва, передачі, розподілу і використання енергії. |
| ПРН19 | Володіти необхідним науковим підґрунтям, методиками та методами планування та здійснення експериментальних досліджень теплового устаткування теплоенергетичних об'єктів муніципальної, промислової сфер та електростанцій. |

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для вивчення дисципліни «Технічна термодинаміка» необхідні знання в області фізики (шифр за ОПП – ЗО 2), хімії (шифр за ОПП – ЗО 8), вищої математики (шифр за ОПП – ЗО 1), гідрогазодинаміки (шифр за ОПП – ЗО 12) та тепломасообміну (шифр за ОПП – ЗО 15). В свою чергу, знання в області «Технічна термодинаміка» використовуються далі в тепломасообміні (шифр за ОПП – ЗО 15), Теплові електричні станції, Теплові насоси та їх використання, Нагнітачі та теплові двигуни, а також при підготовці дипломних проектів бакалавра.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основні поняття технічної термодинаміки

Тема 1.1. Вступ

Тема 1.2. Система і стан

Тема 1.3. Термодинамічний процес

Тема 1.4. Робота і теплота

Розділ 2. Перший закон термодинаміки

¹ Для нормативних дисциплін зазначається згідно матриці відповідності програмних компетентностей та результатів навчання в освітній програмі.

Тема 2.1. Перший закон для закритої системи

Тема 2.2. Перший закон для стаціонарних поточних процесів

Розділ 3. Другий закон термодинаміки

Тема 3.1. Ентропія і другий закон

Тема 3.2. Застосування другого закону до перетворень енергії

Розділ 4. Загальні співвідношення між термодинамічними величинами

Тема 4.1 Загальні термодинамічні співвідношення

Тема 4.2 Характеристичні функції і третій закон ТТД

Розділ 5. Ідеальні гази і газові процеси

Тема 5.1. Термічні і калоричні характеристики стану ідеальних газів.

Тема 5.2. Термодинамічні процеси з ідеальними газами

Розділ 6. Реальні гази і процеси з реальними газами

Тема 6.1. Загальні властивості реальних газів

Тема 6.2. Таблиці і діаграми для газів і рідин

Тема 6.3. Термодинамічні процеси з реальними газами

Розділ 7. Газові та парогазові суміші

Тема 7.1. Ідеальні газові суміші

Тема 7.2. Парогазові суміші. Вологе повітря

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Технічна термодинаміка в прикладах і задачах [Електронний ресурс]: Навчальний посібник / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко. – Електрон. текстові дані, 77 сторінок
2. Буляндра, О. Ф. Технічна термодинаміка : підруч. для студентів енерг. спец. вищ. навч. закладів / О. Ф. Буляндра. – К.: Техніка, 2001. – 320 с.: іл. – Бібліогр.: с. 315.
3. Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. – Одесса: Студия «Негоциант». – 2006. – 712 с.
4. А. А. Александров. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок, Москва, 2004.
5. Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar. Thermodynamics: an engineering approach, eighth edition, eight edition, 2015.
6. Michael J. Moran, howard n. Shapiro, daisie d. Boettner, margaret b. Bailey. Fundamentals of engineering thermodynamics, 8 edition, 2014.

Допоміжна література

1. Куделя П.П. Методи термодинамічного аналізу установок та систем. – Київ, 2010. Свідоцтво про надання грифа електронному виданню НМУ № Е9/10-150, протокол №5 від 21.01.2010. – 127 с.
2. Низькоексергетичні опалювальні системи / П.П.Куделя, А.С. Соломаха. – К.:НТУУ «КПІ», 2015. – 153 с.: іл. – Бібліогр.: с.149-153
3. Hans Dieter Baehr, Stephan Kabelac Thermodynamik. Grundlagen und technische Anwendungen. 2012
4. Claus Borgnakke, Richard E. Sonntag. Fundamentals of thermodynamics seventh edition, 2009

Рекомендації

Сайт наукової бібліотеки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» <http://library.kpi.ua> в розділі «Електронні ресурси», підрозділі «Загальний електронний каталог НТБ» дозволяє знайти та замовити рекомендовану літературу до навчальної дисципліни та отримати доступ до електронних ресурсів бібліотеки та роботи з ними

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва лекцій та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	2
1.	Предмет і метод технічної термодинаміки. Технічна термодинаміка, як розділ теоретичних основ теплотехніки. Метод технічної термодинаміки. Основні задачі курсу. Сучасний стан і основні перспективи розвитку енергетики України. Робота і теплота - дві форми енергообміну між тілами. Література: (Л1), с.4; (Л6), с.5-20; (Л1д), с.15-23 Завдання на СРС. Історія розвитку ТТД як науки
2.	Система і стан Термодинамічна система і зовнішнє середовище. Робоче тіло. Види робочих тіл. Термодинамічний стан тіл і його характеристики. Рівноважний стан тіл і рівняння стану.. Література: (Л1), с.4, с.20-23; (Л6), с.5-20; (Л1д), с.15-23 Завдання на СРС. Термодинамічні діаграми
3.	Термодинамічний процес Зміни стану тіл та їх особливості. Рівноважна, нерівноважна і умовно рівноважна зміна стану тіл. Дисипація роботи і її міра. Теплота тертя. Термодинамічні процеси і їх види: адіабатні і не адіабатні, кругові і некрутові, оборотні і необоротні. Література: (Л1), с.7; (Л1д), с.41-50 Завдання на СРС. Процеси з тілами, що перебувають в спокої, та поточні процеси.
4.	Визначення кількості роботи і теплоти в рівноважних процесах. Кількісна міра механічної та теплової взаємодії через відповідні узагальнені сили і координати при рівноважних змінах стану тіл. Відображення в цих співвідношеннях єдності природи різних форм руху ($\delta E = ydx$). Різні форми вираження кількості механічної роботи в процесах при рівноважних змінах стану робочого тіла - робота об'ємна (деформаційна), переміщення і технічна.. Література: (Л1), с.23-26; (Л6), с.13-44; (Л1д), с.58-61 Завдання на СРС. Відмінність характеристик процесу від характеристик стану.
5.	Визначення кількості роботи і теплоти в процесах з тертям. Вирази кількості роботи при умовно рівноважних змінах стану з врахуванням прояву дисипації. Узагальнене рівняння кількості роботи. Способи обчислення кількості теплоти в термодинамічних процесах. Теплоємності тіла - дійсна і середня, масова (питома), молярна і об'ємна, ізобарна і ізохорна. Література: (Л6), с.13-44 Графічне зображення роботи і теплоти
6.	Перший закон термодинаміки для закритих систем. Зміст і основні формулювання першого закону. Коротка історична довідка розвитку досліджень, які визначили суть першого закону. Філософське значення 1-го закону. Внутрішня енергія як функція стану. Аналітичні вирази 1-го закону для закритих систем - через деформаційну роботу і роботу переміщення. Література: (Л1), с.20-25; (Л6), с.44-48; (Л1д), с.73-89

	Внутрішня енергія як функція стану.
7.	<i>Рівняння першого закону термодинаміки для стаціонарних поточних процесів (алгебраїчна форма).</i> Енергообмін відкритої системи з оточенням в формі теплоти, технічної роботи і з потоком речовини. Робота прогтовхування. Виведення рівняння енергобалансу. Врахування дисипативних ефектів. Література: (Л1), с.36-40; (Л6), с.44-54; (Л1д), с.89-113 Врахування дисипативних ефектів
8.	<i>Рівняння першого закону термодинаміки для стаціонарних поточних процесів (модульна форма).</i> Виведення рівняння, його особливості. Зв'язок між об'ємною (деформаційною) роботою, роботою переміщення і технічною в поточних процесах. Література: (Л1), с.36-40; (Л6), с.44-54 Зв'язок між об'ємною (деформаційною) роботою, роботою переміщення і технічною в поточних процесах.
9.	<i>Застосування першого закону до циклічних процесів.</i> Виведення рівняння для циклів. Особливості його запису для прямих і зворотних циклів. Оцінка ефективності прямих і зворотних циклів. За допомогою коефіцієнтів перетворення. Тепло механічний коефіцієнт (прямі цикли), холодильний коефіцієнт (цикли холодильних установок), опалювальний коефіцієнт (цикли теплонасосних установок). Література: (Л1д), с.106-113 опалювальний коефіцієнт
10.	<i>Застосування 1-го закону термодинаміки для стаціонарних поточних процесів до теплотехнічних пристроїв.</i> Особливості складання енергетичних балансів на базі рівняння в частковій і модульній формах. Схеми дій при складанні енергобалансів. Енергетичні баланси адіабатних машин (турбін, компресорів...), теплообмінників поверхневого і змішувального типів, охолоджувального компресора. Література: (Л1д), с.298-303, с.289-290 теплообмінники поверхневого і змішувального типів
11.	<i>Ентропія і другий закон.</i> Зміст другого закону і його формулювання. Принцип існування термодинамічної температури і ентропії як функцій стану та принцип неможливості зменшення сумарної ентропії ізольованих термодинамічних систем. Ознаки протікання реальних (необоротних) і оборотних процесів. Неможливі процеси. Основні причини необоротності процесів. Ознаки необоротності. Узагальнене тертя. Література: (Л1), с.40-84; (Л6), с.54-94; (Л1д), с.114-156 Ознаки необоротності
12.	<i>Особливості взаємоперетворень теплоти і роботи.</i> Перетворення теплоти в роботу. Вічний двигун 2-роду. Перетворення роботи в теплоту. Особливості теплообміну в ізольованій системі. Література: (Л1), с.92-101; (Л6), с.54-94; (Л1д), с.156-189 Завдання на СРС: Особливості теплообміну в ізольованій системі.
13.	<i>Застосування 1-го та 2-го законів термодинаміки до адіабатних машин та теплообмінників.</i> Причини необоротності процесів, що протікають в адіабатних машинах та теплообмінниках. Основні необоротності, які підлягають врахуванню в

	термодинамічному аналізі. Оборотний (адіабатний рівноважний, ізоентропний) та необоротний процеси в адіабатних машинах. Відносний внутрішній к.к.д. адіабатної турбіни та адіабатного нагнітача. Процеси в теплообмінниках з тертям і без тертя по ходу робочого тіла. Врахування кінцевої різниці температур між потоками робочих тіл за допомогою середніх термодинамічних температур. Література: (Л1д), с.289-290, с.330-335 Завдання на СРС: Процеси в теплообмінниках з тертям і без тертя по ходу робочого тіла
14.	Другий закон і циклічні процеси Загальні відомості про термодинамічні цикли: прямі і зворотні, оборотні і необоротні (реальні), ідеальні. Застосування 1-го та 2-го законів термодинаміки до прямих та зворотних циклів, основні висновки. Література: (Л1), с.40; (Л6), 57-58 Завдання на СРС: Необоротності в прямих циклах
15.	Оборотний і еквівалентний цикли Карно Оборотний цикл Карно як цикл граничної ефективності в межах заданих температур гарячого (T_g) та холодного (T_x) джерел. Прямий і зворотний цикли Карно. Еквівалентний прямий і зворотний цикли Карно і його значення. Література: (Л1), с.252-254; (Л6), с.59-94 Завдання на СРС: Еквівалентний прямий і зворотний цикли Карно і його значення.
16.	Диференційні рівняння для калоричних величин. Диференційні рівняння термодинаміки, їх призначення і методика складання. Вихідні термодинамічні співвідношення - диференціали характеристичних функцій. Рівняння Максвела. Диференційні рівняння для ентропії, теплоємності, внутрішньої енергії та ентальпії тіл. Обчислення s, h, u за допомогою термічних рівнянь стану. Теплоємності (C_p, C_v) тіл. Література: (Л1), с.102-109; (Л6), с.94-106 Завдання на СРС: Характеристичні функції і третій закон термодинаміки. Термічні коефіцієнти - температурні (α_p і α_v) і стисливості (β_t і β_s). Умови рівноваги простих тіл. Приклади використання загальних термодинамічних співвідношень. Поняття про характеристичні функції. Формулювання та аналітичні вирази третього закону термодинаміки. Практичні наслідки. Абсолютне значення ентропії. Література: (Л1), с.102-109; (Л6), с.94-106
17.	Термічне рівняння стану та теплоємність ідеальних газів. Фізичні особливості ідеальних газів як граничного стану газоподібних речовин. Термічне рівняння ідеальних газів. Особливості теплоємності ідеальних газів по даним молекулярно-кінетичної та квантово-статичної теорії. Залежність теплоємності C_p, C_v ідеального газу від температури, об'єму і тиску. Література: (Л1), с.10-11; (Л6), с.107-132; (Л1д), с.239-244 Калоричні параметри ідеальних газів та зміна їх в процесі. Вихідні диференційні та інтегральні рівняння для внутрішньої енергії, ентальпії і ентропії. Рівняння для обчислення u, h, s. Вибір початку відліку для калоричних параметрів. Таблиці термодинамічних властивостей ідеальних газів. Література: (Л6), с.132-136; (Л1д), с.245-247 Завдання на СРС: Таблиці термодинамічних властивостей ідеальних газів.
18.	Рівняння термодинамічних процесів з ідеальними газами.

	Рівняння основних термодинамічних процесів - ізобарного, ізохорного, ізотермічного, ізентропного. Співвідношення між параметрами крайніх станів процесів. Політропні процеси та їх аналіз. Література: (Л1), с.185-202; (Л6), с.208-246 Енергетичні результати газових процесів. Обчислення теплоти та різного виду робіт в термодинамічних процесах з ідеальним газом. Наочні графічні ілюстрації газових процесів: p-v, T-s діаграми і схеми енергобалансів. Література: (Л1), с.185-202; (Л6), с.178-190, с.243-246 Завдання на СРС: Наочні графічні ілюстрації газових
19.	<i>Загальні властивості реальних газів.</i> Кількісні і якісні відмінності реальних газів від ідеальних. Термічне рівняння стану реального газу. Розрахунки калоричних властивостей реальних газів по термічному рівнянню стану. Фазові діаграми p-v, p-T. Процес пароутворення при $p < p_{кр}$ і його характеристики. Трійна точка. Критичні умови. Волога насичена пара. Ступінь сухості. Теплоти фазових переходів. Рівняння Клапейрона - Клаузіуса. Надкритична область станів. Література: (Л1), с.138-178; (Л6), с.137-154, (Л1д), с.190-213 Завдання на СРС: Надкритична область станів
20.	<i>Таблиці і діаграми для газів і рідин.</i> Зміст і структура таблиць термодинамічних властивостей води і водяної пари. Обчислення термодинамічних властивостей вологої насиченої пари. T-s і h-s діаграми водяної пари. Література: (Л1), с.179-181; (Л6), с.154-156, с.178-190, (Л1д), с.213-230
21.	<i>Термодинамічні процеси з реальними газами.</i> Розрахунки процесів зміни стану водяної пари за допомогою таблиць та діаграм. Література: (Л1), с.185-211; (Л6), с.208-243 Завдання на СРС: Термодинамічні процеси з реальними газами
22.	<i>Склад суміші та термічні рівняння.</i> Склад газової суміші, способи її задання. Переведення складу газової суміші від задання в одних частках в інші. Обчислення уявного моля і газової сталої суміші. Модель ідеальної газової суміші. Парціальний тиск. Закон Дальтона. Термічні рівняння стану суміші і окремих її компонентів. Парціальний об'єм. Рівність молярних і об'ємних часток, що визначають склад суміші. Визначення парціальних тисків газів, що входять до складу суміші. Література: (Л1), с.15-20, (Л6), с.190-194; (Л1д), с.248-251 Калоричні характеристики газової суміші. Обчислення калоричних характеристик газової суміші: внутрішньої енергії, ентальпії, ентропії і теплоємності (C_p, C_v). Ентропія змішування. Література: (Л6), с.190-194; (Л1д), с.251-256 Завдання на СРС: Ентропія змішування
23.	<i>Парогазові суміші і вологе повітря.</i> Парогазові суміші, визначення та основні закономірності. Характеристики вологого повітря: абсолютна, максимальна абсолютна та відносна вологість; температура точки роси, вологовміст. Діаграма h-d для вологого повітря. Література: (Л1), с.371-382; (Л6), с.195-203; (Л1д), с.257-274 Завдання на СРС: Процеси нагрівання та охолодження вологого повітря в діаграмі h-d.

Практичні заняття

Основним завданням практичних занять є – поглиблення розуміння студентами лекційного матеріалу, навчити студентів виконувати самостійно розрахунки.

При проведенні практичних занять від студента вимагається вивчення відповідного розділу лекційного матеріалу, як за допомогою конспекту лекцій, так і за допомогою підручника, а також рекомендованих посібників. При цьому особливу увагу необхідно приділяти фізичній суті тих чи інших процесів і засвоєнню на її основі методів розрахунку конкретних термодинамічних процесів.

Слід зауважити, що набуття умінь і навичок виконання розрахунків може бути досягнуто студентом тільки у процесі регулярного самостійного виконання конкретних задач і завдань.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	2
1	Одиниці термодинамічних величин. Послідовність розв'язку задач. Основні і похідні одиниці. Одиниці температури, сили, енергії, тиску. Нормальні умови. Визначення тиску. Маса і кількість речовини. Питомі і молярні величини. Різниця між фізичними поняттями маси і кількості речовини. Питомі і молярні величини, загальні способи їх обчислення. Відношення питомих і молярних значень однойменних величин.
2	Характеристики зміни стану тіл Характеристики стану тіл. Термічні властивості речовини. Термічне рівняння стану ідеальних газів. Газова стала, питома (індивідуальна) і молярна. Калоричні властивості і теплоємність газів.
3	Термодинамічні процеси. Показники зміни стану робочих тіл. Формування співвідношень для показників політропної зміни стану по їх термічним властивостям. Аналіз політропних змін стану в діаграмі $p-v$.
4	Визначення кількості роботи. Енергетичні результати механічної взаємодії між тілами в рівноважних процесах і при наявності тертя.
5	Визначення кількості теплоти. Енергетичні результати теплової взаємодії між тілами в рівноважних процесах і при наявності тертя.
6	Перший закон термодинаміки для закритих систем. Застосування виразів першого закону для закритих систем через деформаційну роботу і роботу переміщення до термодинамічних процесів.
7	Рівняння енергетичного балансу стаціонарних поточних процесів (алгебраїчна форма). Рішення конкретних науково-технічних задач, що відносяться до тепломеханічних процесів, і перш за все - по складанню і використанню енергетичних балансів цих процесів: адіабатні турбіни і компресори, охолоджуваний компресор, теплообмінники (ТО) поверхневого і змішуючого типу, прямі і зворотні цикли.
8	Рівняння енергетичного балансу стаціонарних поточних процесів (модульна форма). Рішення конкретних науково-технічних задач, що відносяться до тепломеханічних процесів, і перш за все - по складанню і використанню

	енергетичних балансів цих процесів: адіабатні турбіни і компресори, охолоджуваний компресор, теплообмінники (ТО) поверхневого і змішуючого типу, прямі і зворотні цикли.
9	Матеріальні і енергетичні баланси стаціонарних поточних процесів. Використання енергетичних балансів в інженерній практиці. Приклади застосування різних форм рівняння до важливих для практики стаціонарних поточних систем: адіабатні турбіни, теплообмінні апарати поверхневого і змішувального типу, складні відкриті системи (камера змішування, камера згоряння випарник, парогенератор, осушник кондиціонера).
10	Другий закон ТТД. Оборотні цикли Карно для термомеханічних, холодильних і теплонасосних установок. Еквівалентний цикл Карно. Еквівалентні цикли Карно для прямих і зворотних ідеальних циклів.
11	Калоричні характеристики стану. Обчислення калоричних параметрів u , h , s у випадку $c = \text{const}$ і $c = c(t)$. Таблиці термодинамічних властивостей ідеальних газів Часткові термодинамічні процеси. Розрахунки рівноважних процесів з ідеальними газами (t , s , v , $p = \text{const}$ і політропні). Прикладні задачі на процеси з ідеальними газами. Визначення параметрів, обчислення енергетичних результатів, зображення принципових схем і процесів в p - v , t - s діаграмах: адіабатні турбіни і нагнітачі (повітряний компресор, повітродувка), ТО поверхневого типу, охолоджуваний компресор.
12	Прикладні задачі на процеси з ідеальними газами. Визначення параметрів, обчислення енергетичних результатів, зображення принципових схем і процесів в p - v , t - s діаграмах: адіабатні турбіни і нагнітачі (повітряний компресор, повітродувка), ТО поверхневого типу, охолоджуваний компресор.
13	Таблиці термодинамічних властивостей води і водяної пари. Визначення параметрів насиченої рідини ($x=0$) і сухої насиченої пари ($x=1$), води і перегрітої пари, вологої насиченої пари.
14	Таблиці термодинамічних властивостей води і водяної пари. T - s , h - s діаграми водяної пари. Визначення параметрів води і водяної пари за допомогою діаграм в різних станах.
15	Термодинамічні процеси з реальними газами. Термодинамічні процеси з водяною парою. Розрахунки часткових процесів і прикладних задач на процеси з водяною парою (адіабатні турбіни і нагнітачі, парогенератор, конденсатор, охолоджувальний компресор, ТО змішувального типу)
16	Процеси в газових сумішах
17	Вологе повітря

6. ЛАБОРАТОРНІ ЗАНЯТТЯ

Лабораторні роботи по курсу «Технічна термодинаміка» сприяють кращому розумінню фізичних процесів, які мають місце у різних теплотехнічних пристроях.

Лабораторні заняття по технічній термодинаміці включають три основні елементи: відтворення вивчаемого явища, вимірювання характерних для явища показників, обробка, аналіз і узагальнення одержаних результатів. Ціль лабораторних робіт - набування студентами навичок експериментування і обробки дослідних даних, поповнення і закріплення теоретичних знань, розвиток професійних умінь

Нижче наводиться перелік лабораторних робіт.

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість ауд. годин
1	Дослідження процесу охолодження повітря в побутовому кондиціонері	3
2	Дослідження парокомпресорного холодильного циклу	3
3	Дослідження роботи теплового насоса	3

7. Самостійна робота студентів

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання
1.	Історія розвитку ТТД як науки
2.	Термодинамічні діаграми
3.	Процеси з тілами, що перебувають в спокої, та поточні процеси.
4.	Відмінність характеристик процесу від характеристик стану.
5.	Графічне зображення роботи і теплоти
6.	Внутрішня енергія як функція стану
7.	Врахування дисипативних ефектів
8.	Зв'язок між об'ємною (деформаційною) роботою, роботою переміщення і технічною в поточних процесах
9.	опалювальний коефіцієнт
10.	теплообмінники поверхневого і змішувального типів
11.	Ознаки необоротності
12.	Особливості теплообміну в ізолюваній системі
13.	Процеси в теплообмінниках з тертям і без тертя по ходу робочого тіла
14.	Необоротності в прямих циклах
15.	Еквівалентний прямий і зворотний цикли Карно і його значення
16.	Таблиці термодинамічних властивостей ідеальних газів.
17.	Наочні графічні ілюстрації газових процесів
18.	Надкритична область станів
19.	Термодинамічні процеси з реальними газами
20.	Ентропія змішування
21.	Процеси нагрівання та охолодження вологого повітря в діаграмі $h-d$

8. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Набуття умінь і навичок застосування основних теоретичних положень курсу до розв'язання практичних інженерних задач може бути досягнуто у процесі виконання різного роду індивідуальних завдань. З метою поглиблення вивчення дисципліни та набуття стійких вмінь та навичок самостійних кваліфікованих розрахунків передбачено виконання студентами денної форми навчання на основі першого кредитного модуля дисципліни в третьому семестрі розрахунково-графічної роботи. Студенти денної форми навчання виконують також домашні завдання за тематикою практичних занять.

Тема розрахунково-графічної роботи: «Розрахунок та аналіз термодинамічних процесів з ідеальним газом і водяною парою». Виконується індивідуально студентом розрахунок та аналіз одного із ізопараметричних процесів (p , v , t , $s = \text{const}$).

Задача – засвоїти і закріпити методику аналізу термодинамічних процесів з врахуванням їх енергетичних особливостей та навички користування довідковими таблицями води і водяної пари, а також масштабними h - s , t - s - діаграмами.

Зміст РГР та методика її виконання, а також зміст і методика виконання домашніх контрольних робіт та вимоги до оформлення індивідуальних завдань визначаються відповідними методичними вказівками

Політика та контроль

9. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Зазначається система вимог, які викладач ставить перед студентами:

- *на заняттях дозволяється використання засобів зв'язку для пошуку інформації та виконання індивідуальних завдань;*
- *захист практичних завдань відбувається на практичному занятті у виділений для цього викладачем час;*
- *захист розрахункової роботи відбувається на практичному занятті у виділений для цього викладачем час;*
- *захист лабораторних робіт відбувається на занятті у виділений для цього викладачем час;*

10. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Види контролю знань студентів з дисципліни:

- *відповіді на лекційних заняттях;*
- *відповіді на практичних заняттях;*
- *захист розрахунково-графічної роботи;*
- *захист лабораторних робіт;*
- *виконання завдань СРС;*
- *виконання МКР (дві частини);*
- *відповідь на заліку.*

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- 1) відповіді на лекційних заняттях;
- 2) виконання студентом домашніх завдань;
- 3) виконання РГР
- 4) виконання завдань СРС;
- 5) виконання МКР;
- 6) відповідь на заліку..

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на лекційних заняттях

Ваговий бал — 1. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: = **5 балів**.

Критерії оцінювання:

1 бал — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **0,5 бали** — відповідь має несуттєві похибки; **0 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

2. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 5.

Критерії оцінювання:

5 балів — повна вірна відповідь на поставлене запитання; **4 бали** — відповідь має несуттєві похибки; **3 бали** — неповна відповідь... **0 балів** — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

3. Виконання завдань РГР

Ваговий бал – 20. Виконане завдання надається викладачу у вигляді оформленої розрахунково-графічної роботи, виконання завдання РГР обов'язкове.

Критерії оцінювання:

20 балів – в повному об'ємі, правильно і вчасно виконана РГР.

Штрафні бали:

– несвоєчасне представлення виконаного завдання РГР без поважної причини (хвороба) – -2 бал.

4. Модульна контрольна робота (МКР)

Проводиться чотири частини МКР. Ваговий бал кожної частини – 10. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_4 = 10 \times 4 = 40$ балів.

Критерії оцінювання:

10 балів – повна вірна відповідь на завдання; 7...9 бали – відповідь має несуттєві похибки; 2...6 бали – неповна відповідь; 0...2 бали – наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, МКР не зараховано.

5. Відповіді на заліку

Залік проводиться у письмово-усній формі. Заліковий білет складається з чотирьох практичних питань. Перелік приблизних питань надається студентам перед заліком. Кожне завдання оцінюється у 10 балів, тобто максимальна кількість балів за виконане завдання $10+10+10+10 = 40$ балів.

Критерії оцінювання:

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 9...10 балів;

достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 7...8 балів;

неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки) – 5...6 балів;

незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 50% потрібної інформації та помилки) – менше 5 балів.

Штрафні бали:

додаткове питання з тем лекційного курсу отримують студенти, які не брали участі у роботі певного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на 3 бали.

Заохочувальні бали

- участь у наукових та/або науково-практичних конференціях, семінарах, симпозіумах – 5 балів.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_d):

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:

$$R_i = r_1 + r_2 + r_3 + r_4.$$

де R_i — рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни.

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 60$ балів.

Необхідною умовою допуску до заліку є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, захист розрахункової роботи та стартовий рейтинг не менше 40 балів.

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 40 балів, зобов'язані до початку сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Екзаменаційна складова R_E шкали дорівнює: $R_E = 40$ балів.

Таким чином, максимальна кількість балів за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = R_c + R_E = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосовувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100-бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену. Аспірантам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливого (тобто $R_c \geq 54$), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 60 + \frac{40 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де R – оцінка за 100-бальною шкалою;

R_i – сума балів, набраних студентом продовж семестру;

R_c – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

R_D – бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку з кредитного модуля, виконують екзаменаційну роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено к.т.н., доц. Соломаха Андрій Сергійович

Ухвалено кафедрою теоретичної і промислової теплотехніки (протокол № 14 від 24.06.2020 р.)

Погоджено Методичною комісією теплоенергетичного факультету (протокол № 10 від 25.06.2020р.)