



ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 «Електрична інженерія»</i>
Спеціальність	<i>141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»</i>
Освітня програма	НЕТРАДИЦІЙНІ ТА ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна(денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>6 кредитів ECTS / 180 години (лекцій – 54, лабораторних занять – 18, практичних занять – 18, самостійна робота – 90)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/МКР/РГР/ЛР/ПЗ.</i>
Розклад занять	<i>Лекційні заняття – 3 рази на два тижні; лабораторні заняття – 1 раз на два тижні; практичні заняття – 1 раз на два тижні</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>к.т.н. Вишневська Юлія Павлівна</i> Практичні: <i>к.т.н. Вишневська Юлія Павлівна</i> Лабораторні: <i>к.т.н. Вишневська Юлія Павлівна, Мельник Олександр Анатолійович</i>
Розміщення курсу	https://discord.gg/bsuVrYy

Програманавчальної дисципліни

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

Програма навчальної дисципліни «Технічна термодинаміка» складена відповідно до освітньо-професійної програми «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» підготовки бакалавра з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів наступних компетентностей: K02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; K05. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел; K07. Здатність працювати в команді; K08. Здатність працювати автономно; K12. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки; K13. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з роботою електричних систем та мереж, електричної частини станцій і підстанцій та техніки високих напруг.

Предмет навчальної дисципліни - методи отримання, передачі та використання теплоти, основні закони взаємного перетворення теплоти і роботи та основні умови таких перетворень.

Програмні результати навчання: 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; ПР07. Здійснювати аналіз процесів в електроенергетичному, електротехнічному та

електромеханічному обладнанні, відповідних комплексах і системах; 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; ПР13. Розуміти значення традиційної та відновлюваної енергетики для успішного економічного розвитку країни; ПР18. Вміти самостійно вчитися, опановувати нові знання і вдосконалювати навички роботи з сучасним обладнанням, вимірювальною технікою та прикладним програмним забезпеченням; ПР20. Знати існуючі підходи до проектування, виготовлення, випробувань та експлуатації обладнання та устаткування нетрадиційної та відновлюваної енергетики; ПР23. Знати існуючі конструкції обладнання та устаткування призначеного для перетворення енергії відновлюваних джерел в електричну та інші види енергій.

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

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен володіти знаннями, що ґрунтуються на матеріалах попередніх дисциплін: «Вища математика», «Фізика», та «Тепломасообмін». Компетенції, знання та уміння, одержані в процесі вивчення кредитного модуля є необхідними для подальшого вивчення дисциплін «Сонячна теплоенергетика», «Біоенергетика», «Перетворення та акумулювання енергії відновлюваних джерел енергії», «Комплексне використання відновлюваних джерел енергії».

3. Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розподілено на **6 розділів**, а саме:

1. **Загальні основи термодинаміки**, до якого ввійшли основні поняття та визначення технічної термодинаміки.
2. **Основні закони термодинаміки**, до якого ввійшли основні закони термодинаміки, властивості ідеальних газів, термодинамічний метод аналізу процесів та термодинамічні цикли.
3. **Термодинаміка реальних газів та їх сумішей. Термодинамічні процеси фазових перетворень речовин і водяної пари**, до якого ввійшли питання термодинаміки реальних газів, рівняння Ван-дер-Ваальса, фазові переходи першого та другого роду.
4. **Термодинаміка стаціонарного потоку маси**, до якого ввійшли питання про витікання газів, роботу проштовхування, течію ідеального газу через сопла і дифузори, дроселювання газів і пари.
5. **Цикли теплових машин і установок**, до якого ввійшли питання про цикли паросилових установок, цикли поршневих теплових двигунів, цикли газотурбінних установок та реактивних двигунів.
6. **Термодинамічні основи використання відновлюваних джерел енергії**, до якого ввійшли питання про використання геотермальної енергії для виробництва теплоти, використання сонячної енергії та ексергетичний аналіз термодинамічних систем.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Основні інформаційні ресурси:

1. Дубровська В.В. Термодинаміка та теплообмін: навч. посіб. / Автори: В.В. Дубровська, В.І. Шкляр – К.: НТУУ«КПІ», 2016. – 150 с.
2. Технічна термодинаміка: лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів денної форми навчання за освітньою програмою підготовки «Нетрадиційні та

- відновлювані джерела енергії» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Вишневська Ю.П. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 74 с
3. Технічна термодинаміка: розрахунково-графічна робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів денної форми навчання за освітньою програмою підготовки «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Вишневська Ю.П. – Електронні текстові дані (1 файл: 334 Кбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 19 с.
 4. Технічна термодинаміка: практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів денної форми навчання за освітньою програмою підготовки «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Вишневська Ю.П., Козачук О.В. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,42 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 60 с.
 5. Дистанційний курс «Технічна термодинаміка»

<https://discord.gg/bsuVrYy>
 6. А.В. Шурчков, Г.М. Забарний. Розвиток децентралізованого енергопостачання на основі нетрадиційних місцевих енергоресурсів. К. 2001 - 132 с.
 7. Г.М. Забарний, А.В. Шурчков. Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України. К. 2002 - 211 с.

Додаткові:

8. Несмашний Є.О. Класична механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – Кривий Ріг: КП «Криворізька друкарня», 2010. – 211 с.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на інформаційні джерела)
1	Вступ до дисципліни «Технічна термодинаміка». Термодинамічний метод аналізу. Види енергії та форми обміну енергією. Термодинамічна система, навколишнє середовище та взаємодія між ними. Стан термодинамічної системи, параметри та рівняння стану. Температура, теплота. Термодинамічні процеси. літературні джерела [1, 5]; дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 1 https://discord.gg/bsuVrYy
2,3	Стан термодинамічної системи: термічні параметри стану. Термодинамічна система, навколишнє середовище та взаємодія між ними. Замкнуті (ізолювані) та відкриті системи. Ступені свободи термодинамічної системи. Стан термодинамічної системи: термічні параметри стану. Рівняння стану; термодинамічні діаграми. Рівноважні й нерівноважні стани. Принцип самонепорушності рівноважного стану. літературні джерела [1, 5]; дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 2-3 https://discord.gg/bsuVrYy
4,5	Характеристики термодинамічної системи. Термодинамічні процеси. Форми обміну енергією: теплота і робота. Властивості роботи як форми обміну енергією. Робота процесу: робота зміни об'єму, корисна

	<p>зовнішня робота, робота проштовхування. Робоча діаграма процесу. Оборотні та необоротні процеси. Теплота процесу. Поняття теплоємності тіла: масова, об'ємна й мольна теплоємності. Закон збереження і перетворення енергії: еквівалентність теплоти й роботи.</p> <p>літературні джерела [1, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 4-5</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
6,7	<p>Перший закон термодинаміки, як форма закону збереження енергії. Робота. Властивості роботи як форми обміну енергією. Теплота як форма обміну енергією. Формулювання першого закону термодинаміки. Аналітичний вираз першого закону термодинаміки.</p> <p>літературні джерела [1, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 6-7</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
8,9	<p>Основні властивості ідеального газу. Елементи молекулярно-кінетичної теорії та термічне рівняння стану ідеальних газів (Менделєєва – Клапейрона). Закони зміни стану газів. Теплоємність газів та її зв'язок з молекулярною будовою речовини. Теоретична оцінка теплоємностей ідеального газу при постійному об'ємі та постійному тиску C_p і C_v. Формула Майєра. Істинна та середня теплоємності. Ентропія як параметр (функція) стану термодинамічної системи. Термодинамічні тотожності. Калоричні й термічні властивості речовини. Теплові діаграми. Внутрішня енергія, ентальпія й ентропія ідеального газу; теплоємність ідеального газу при $v = \text{const}$ і $p = \text{const}$.</p> <p>літературні джерела [1, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 8-9</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
10	<p>Основні термодинамічні процеси. Термодинамічний метод дослідження процесів. Ізохорний процес Ізобарний процес Ізотермічний процес. Адіабатний процес. Політропні процеси; визначення показника політропи. Визначення на Ts – діаграмі характеристик політропного процесу.</p> <p>літературні джерела [1, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 10</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
11	<p>Другий закон термодинаміки. Поняття про рівноважні та обернені термодинамічні процеси. Перетворення теплоти в роботу в теплових двигунах. Цикл Карно.</p> <p>літературні джерела [1, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 11</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
12-13	<p>Теплова характеристика оборотних циклів. Ентропія в оборотних та необоротних циклах. Умови роботи теплових машин. Кругові термодинамічні процеси (цикли). Термодинамічний аналіз кругових процесів: баланс теплоти й роботи в теплових машинах. Термічний к. к. д. і холодильний коефіцієнт циклів. Прямий оборотний цикл Карно та його термічний к. к. д. Зворотний оборотний цикл Карно та його холодильний коефіцієнт. Перша теорема Карно про к. к. д. довільного оборотного циклу. Середньоінтегральна температура підведення (відводу) теплоти й еквівалентний цикл Карно; друга теорема Карно. Узагальнений (регенеративний) цикл Карно.</p> <p>літературні джерела [1, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 12-13</p>

	https://discord.gg/bsuVrYy
14	<p>Властивості оборотних і необоротних циклів. Властивості оборотних і необоротних циклів та аналітичне вираження другого закону термодинаміки. Зміни ентропії в оборотних і необоротних процесах; об'єднані рівняння першого й другого законів термодинаміки. Принцип зростання ентропії та фізичний зміст другого закону термодинаміки. Рівняння Гюї – Стодоли. Статистичний зміст ентропії: рівняння Больцмана. Імовірнісний характер другого закону термодинаміки. Межі застосовності другого закону й класичної термодинаміки.</p> <p>літературні джерела [1, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 14</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
15	<p>Третій закон термодинаміки. Максимальна робота і термодинамічні потенціали. Загальні вираження для роботи процесу та зміна термодинамічних потенціалів системи. Характеристичні функції, їх диференціали та співвідношення Максвелла. Природні змінні характеристичних функцій і співвідношення між ними. Рівняння Гіббса-Гельмгольца. Хімічний потенціал і нерівність Гіббса. Загальні умови рівноваги термодинамічної системи. Теорема Нернста. Формулювання й аналітичне вираження третього закону термодинаміки. Практичні наслідки. Абсолютне значення ентропії.</p> <p>літературні джерела [1, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 15</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
16	<p>Властивості реальних газів. Відмінності станів реальних газів. Кипляча рідина й суха насичена пара. Критичні умови. Перегріта пара. Рівняння стану газів у віріальній формі. Рівняння стану Ван-дер-Ваальса і його фізичний зміст. Аналіз рішень рівняння Ван-дер-Ваальса: нестійкі стани перегрітої рідини й переохолодженої пари, абсолютна температура кипіння, особливості двофазного стану, пограничні криві. Волога пара. Сухість пари. Параметри критичного стану газу і константи рівняння Ван-дер-Ваальса. Приведені параметри та приведені рівняння Ван-дер-Ваальса. Закон відповідних станів.</p> <p>літературні джерела [1, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 16</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
17	<p>Фазові стани і фазові переходи речовин. Фазові діаграми речовин: pT-діаграма. Фазові pv- і Ts - діаграми. Теплоти фазових переходів: рівняння Клапейрона – Клаузіуса. Вода і водяна пара. Аномалії води. Отримання водяної пари та її характерні стани. Особливості pv - діаграми водяної пари. Основні параметри станів водяної пари; теплота пароутворення. Ts та is – діаграми водяної пари.</p> <p>літературні джерела [1, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 17</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
18	<p>Параметри вологого повітря. Температура мокрого термометра. Газові суміші: закон Дальтона. Газова стала та середня молекулярна маса газових сумішей. Парціальний тиск та теплоємність газових сумішей. Рівняння стану суміші й методика розрахунку її термодинамічних властивостей. Параметри вологого повітря. Абсолютна й відносна вологість. Вологовміст. Температура точки роси. Визначення вологості повітря по температурам вологого та сухого термометрів. Ентальпія й ентропія вологого повітря. Діаграма <i>i-d</i> та <i>i-s</i> вологого повітря. Термодинамічні процеси з вологим повітрям: нагрівання, охолодження й змішання, сушіння нагрітим повітрям;</p>

	<p>кондиціювання повітря. літературні джерела [1, 5]. дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 18</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
19	<p>Основне рівняння витікання. Адіабатне витікання газів та стисливої рідини. Сталі одномірні течії газів. Термодинаміка потоку. Основні визначення й рівняння: одномірна течія потоку, адіабатна течія потоку, усталена течія; рівняння нерозривності, імпульсів, першого закону термодинаміки, стану, рівняння енергії для стаціонарного потоку. Робота проштовхування й наявна робота потоку. Швидкість витікання й масова витрата ідеального газу із простого сопла. Максимальна швидкість і максимальна витрата. Криза течії. Швидкість звуку, режими течії: дозвуковий і надзвуковий. Критичні параметри течії.</p> <p>літературні джерела [1, 5]. дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 19</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
20-21	<p>Витікання з сопла Лавалю. Геометричний вплив на потік ідеального газу. Рівняння обернення зовнішніх впливів. Число Маха «М». Сопло й дифузор. Витікання з конічного сопла: тиск і швидкість потоку в усті сопла. Режими витікання: докритичний і критичний. Умови переходу через критичну швидкість. Одержання надзвукових швидкостей. Сопло Лавалю. Розрахунок сопла Лавалю. Витікання з тертям. Коефіцієнти швидкості й витрати, к.к.д. каналу. Розрахункові й нерозраховані режими сопла Лавалю. Стрибки ущільнення. Ударна хвиля. Процес дроселювання. Рівняння процесів адіабатного й ізотермічного дроселювання. Диференціальні й інтегральні дросельні ефекти. Ефект Джоуля-Томсона. Температура й крива інверсії. Технічне застосування процесів дроселювання.</p> <p>літературні джерела [5]. дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 20-21</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
22-23	<p>Аналіз роботи теплових машин. Паровий цикл Карно. Теоретичний паросиловий цикл. Дійсні цикли паротурбінних установок (ПСУ). Розширення меж робочого процесу. Вплив початкових і кінцевих параметрів пари на ККД циклу ПСУ. Цикл з проміжним перегрівом пари. Теоретичний і дійсний цикли із вторинним перегрівом пари. Ідеальні й теоретичний регенеративні цикли ПСУ. Схеми регенеративного підігріву з відборами пари. Оптимальна температура підігріву живильної води й максимальний ККД регенеративного циклу. Цикли поршневих двигунів внутрішнього згорання. Цикли двигунів внутрішнього згорання (ДВС). Ідеальні цикли ДВС із підведенням теплоти при постійному об'ємі, при постійному тиску, зі змішаним підводом теплоти. Параметри циклів: ступінь стиску, ступінь підвищення тиску, ступінь розширення. Термічний ККД, потужність і питомі витрати палива. Порівняння циклів ДВС по ефективності. Цикл двигуна Стірлінга.</p> <p>літературні джерела [5]. дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 22-23</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
24-25	<p>Цикли газотурбінних установок та реактивних двигунів. Принципова схема й ідеальний цикл газотурбінних установок (ГТУ) зі згоранням палива при постійному тиску. Ступінь підвищення тиску, термічний ККД циклу. Втрати потужності в турбіні й компресорі: ККД газотурбінних установок. Збільшення початкової температури газу перед</p>

	<p><i>турбіною, застосування регенеративного підігріву й багатоступінчастого стиснення повітря, східчасте підведення тепла в циклі. Порівняння ідеальних циклів ДВС і ГТУ з підведенням тепла при постійному тиску по ефективності. Термодинамічні цикли реактивних двигунів. Поняття про термодинамічні цикли реактивних двигунів. Схема, цикли та термічний ККД турбокомпресорних повітряно-реактивних двигунів. Схеми та розподіл тисків прямоточних повітряно-реактивних двигунів для дозвукових і надзвукових швидкостей. Схеми безкомпресорних пульсуючих реактивних двигунів. Схеми й цикли ракетних двигунів з хімічним паливом. Тяга реактивного двигуна.</i></p> <p><i>літературні джерела [5].</i></p> <p><i>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 24-25</i></p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
26	<p><i>Пряме використання термальних вод в системах теплопостачання. Особливості природних конденсацій термальних вод. Схеми прямого використання теплоти термальних вод. Геотермальні циркуляційні системи. Системи геотермального теплопостачання з піковими нагрівачами. Типи пікових нагрівачів: паливні котельні, електрокотли, теплові насоси. Оптимізація теплових схем. Сонячна енергія та її використання в Україні. Інтенсивність сонячної радіації на території України. Добові та сезонні графіки сонячної радіації. Енергетичні ресурси сонячної енергії в Україні. Фотоелектричні перетворювачі сонячної енергії. Використання геліоколекторів: їх конструкція та ефективність. Схеми сонячних водогрійних і холодильних установок. Сезонне акумулювання сонячної енергії. Термодинамічні основи використання теплоти низькопотенційних джерел енергії. Парокомпресійні, абсорбційні, адсорбційні та компресійно-резорбційні теплові насоси.</i></p> <p><i>літературні джерела [5, 6].</i></p> <p><i>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» лекція 26</i></p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>

Практичні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	<p>Аналіз термодинамічних систем з ідеальним газом. Основні термодинамічні процеси. Термодинамічна система та її стани. Основні термодинамічні процеси. Графічні задачі на газові закони.</p> <p>літературні джерела [1, 4, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» підбірка задач за темою 1</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
2	<p>Термодинаміка ідеального газу. Рівняння Менделєєва – Клапейрона. Розв'язання задач.</p> <p>літературні джерела [1, 4, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» підбірка задач за темою 2</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
3	<p>Перший закон термодинаміки. Розв'язання задач.</p> <p>літературні джерела [1, 4, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» підбірка задач за темою 3</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
4	<p>Теоретична оцінка теплоємностей ідеального газу при постійному об'ємі та постійному тиску C_p і C_v. Розв'язання задач.</p> <p>літературні джерела [1, 4, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» підбірка задач за темою 4</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
5	<p>Хімічна термодинаміка. Рівняння Гіббса-Гельмгольца. Розв'язання задач.</p> <p>літературні джерела [1, 4, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» підбірка задач за темою 5</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
6-7	<p>Термодинаміка реальних газів. Рівняння Ван-дер-Ваальса і його фізичний зміст. Визначення критичних параметрів рівняння Ван-дер-Ваальса. Приведене рівняння стану. Розв'язання задач.</p> <p>літературні джерела [1, 4, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» підбірка задач за темою 6-7</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
8	<p>Термодинамічні цикли. Теплова характеристика оборотних циклів. Прямий оборотний цикл Карно та його термічний к. к. д. Розв'язання задач.</p> <p>літературні джерела [1, 4, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» підбірка задач за темою 8</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
9	<p>Ентропія в оборотних та необоротних циклах. Розв'язання задач.</p> <p>літературні джерела [1, 4, 5].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка» підбірка задач за темою 9</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>

Лабораторні роботи

№ з/п	Короткий зміст лабораторної роботи
1	<p align="center">ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТІ МЕТАЛІВ (Лабораторна робота №1)</p> <p>Мета роботи – поглибити знання з теорії теплоємності, оволодіти методикою експериментального визначення теплоємностей металів.</p> <p>Програма проведення досліджень:</p> <p>1. визначити теплоємності залізного, мідного та алюмінієвих зразків; 2. Опрацювати дослідні дані та отримати значення теплоємності; 3. Розрахувати відносну похибку визначення теплоємності</p> <p>Література: [2].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка»</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
2	<p align="center">ВИЗНАЧЕННЯ ККД ДВИГУНА СТІРЛІНГА (Лабораторна робота №2)</p> <p>Мета роботи – ознайомитись з конструкцією та принципом роботи двигуна Стірлінга (α – Стірлінг) та визначити його ККД.</p> <p>Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Визначити питому потужність спиртового нагрівача: визначити витрату палива, визначити загальну кількість теплоти, що утворилась у процесі роботи нагрівача; питому потужність 2. Визначити електричну потужність генератора 3. Визначити загальний ККД перетворення теплової енергії у електричну: <p>Література: [1]</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка»</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
3	<p align="center">ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОТИ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ПЕРШОГО РОДУ (Лабораторна робота №3)</p> <p>Мета роботи – вивчення явища фазового переходу першого роду у процесах пароутворення і конденсації води.</p> <p>Програма проведення досліджень:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. визначити теплоту фазового переходу <p>Література: [2].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка»</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
4	<p align="center">ДОСЛІДЖЕННЯ БРОУНІВСЬКОГО РУХУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЧИСЛА АВОГАДРО (Лабораторна робота №4)</p> <p>Мета роботи – провести дослідження броунівського руху системи та визначити число Авогадро.</p> <p>Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. провести дослідження броунівського руху частинок фарби у воді та визначити число Авогадро. <p>Література: [1]</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка»</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
5	<p align="center">ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ ТЕПЛОЄМНОСТЕЙ C_p/C_v ПОВІТРЯ МЕТОДОМ КЛЕМАНА-ДЕЗОРМА</p> <p>Мета роботи – ознайомлення з методом визначення відношення теплоємностей при постійному тиску та постійному об'ємі Клемана–Дезорма та визначення $\gamma = C_p/C_v$</p>

	<p>повітря.</p> <p>Програма проведення досліджень: методом Клемана–Дезорма визначити відношення теплоємностей γ.</p> <p>Література: [2].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка»</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
6-7	<p style="text-align: center;">ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПСИХРОМЕТРІВ АСМАНА ТА АВГУСТА (Лабораторна робота №6-7)</p> <p>Мета роботи – засвоєння основних теоретичних відомостей, пов'язаних із визначенням абсолютної і відносної вологості повітря.</p> <p>Програма проведення і опрацювання результатів досліджень:</p> <p>1. Змочити батист вологого термометру в посудині з водою (можна разом з термометром). 2. Після стабілізації системи (температура вологого термометра перестане знижуватися), визначте за шкалою сухого і вологого термометрів температури t_1 та t_2 відповідно. 3. Повторити не менше 4 разів вимірювання показів сухого та волого термометрів через кожні наступні 5 хвилин. 4. Визначте за барометром атмосферний тиск H (мм.рт.ст.). 5. Знайти максимальні значення вологості повітря за показами сухого $\varphi_{\max,1}$ і волого $\varphi_{\max,2}$ термометрів, користуючись психрометричною таблицею. 6. Розрахувати значення абсолютної вологості повітря φ_i. 7. Визначте значення вологості графічним методом.</p> <p>Література: [2].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка»</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
8	<p style="text-align: center;">ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ ЗА ВИСОТОЮ ЇЇ ПІДНЯТТЯ В КАПІЛЯРНІЙ ТРУБЦІ (Лабораторна робота №8)</p> <p>Мета роботи – засвоєння основних теоретичних відомостей, пов'язаних із визначенням коефіцієнта поверхневого натягу рідини.</p> <p>Програма проведення досліджень: дана лабораторна установка складається з U-подібної трубки, що має коліна різного діаметру, яка розміщується на оптичній лаві. Лабораторна установка містить лінзу, що проектує збільшене зображення трубки з водою на екран.</p> <p>Література: [2].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка»</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>
9	<p style="text-align: center;">ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ТЕМПЕРАТУРИ КИПІННЯ ВОДНО-АМІАЧНОЇ СУМІШІ (Лабораторна робота 9)</p> <p>Мета роботи – визначення температури кипіння водно-аміачної суміші в залежності від її складу та розрахунок енергії Гіббса системи.</p> <p>Програма проведення досліджень:</p> <p>1. визначити температури кипіння водно-аміачної суміші</p> <p>Література: [2].</p> <p>дистанційний курс «Технічна термодинаміка»</p> <p>https://discord.gg/bsuVrYy</p>

6. Самостійна робота студента

№з/п	Вид самостійної роботи	Кількість годин СРС
1	Підготовка до аудиторних занять	18
2	Проведення розрахунків за первинними даними, отриманими на лабораторних заняттях	10
3	Розв'язок задач	10
4	Виконання розрахунково-графічної роботи	20
5	Підготовка до МКР	2
6	Підготовка до екзамену	30

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять: відповідно до Наказу 1-273 від 14.09.2020 р. заборонено оцінювати присутність або відсутність здобувача на аудиторному занятті, в тому числі нараховувати заохочувальні або штрафні бали. Відповідно до РСО даної дисципліни бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях. Відпрацювання лабораторних робіт з дисципліни є обов'язковою умовою допуску до екзамену;
- правила поведінки на заняттях: студент має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях, передбачені РСО дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Discord здійснюється за умови вказівки викладача;
- правила захисту лабораторних робіт: допускається як індивідуальний захист лабораторних робіт, так і колективний (у складі бригади, склад якої визначають на першому лабораторному занятті). В обох випадках оцінюють індивідуальні відповіді кожного студента.
- правила захисту індивідуальних завдань: захист розрахунково-графічної роботи з дисципліни здійснюється індивідуально;
- правила призначення заохочувальних: заохочувальні бали не входять до основної шкали РСО, а їх сума не перевищує 10% стартової шкали.
- політика дедлайнів та перескладань: якщо студент не проходив або не з'явився на МКР, його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання захисту лабораторних робіт та результатів МКР не передбачено;
- політика щодо академічної доброчесності: Кодекс честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» <https://kpi.ua/files/honorcode.pdf> встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в університеті, якими вони мають керуватись у своїй діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Технічна термодинаміка»;
- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соц.мережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

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

Поточний контроль: експрес-опитування, МКР, розв'язання задач, виконання лабораторних робіт.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.

Семестровий контроль: екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за розрахунково-графічну роботу, зарахування усіх лабораторних робіт, семестровий рейтинг більше 35 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

Загальна рейтингова оцінка студента після завершення семестру складається з балів, отриманих за:

- розв'язання задач на практичних заняттях;
- виконання та захист дев'яти лабораторних робіт;
- виконання індивідуальної роботи (РГР);
- виконання двох контрольних робіт у рамках модульної контрольної роботи (МКР).

Лаб. роботи	РГР	ПЗ	МКР	Рс	Рекз	Р
18	12	6	24	60	40	100

Виконання та захист лабораторних робіт

Ваговий бал – 2.

Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює $2 \times 9 = 18$ балів.

Критерії оцінювання

- повне виконання експериментальної частини роботи, точна обробка експериментальних даних, якісне оформлення протоколу і повна відповідь при захисті роботи – 2 бали;
- обробка експериментальних даних з незначними помилками або неякісне оформлення протоколу – 1,5... 1,9 балів;
- суттєві помилки в експериментальних даних але повне розуміння теми і матеріалу лабораторної роботи – 1 ... 1,5 балів;
- неповна або неточна відповідь при захисті роботи і погане оформлення протоколу – 0 балів;

Індивідуальне семестрове завдання (РГР)

Згідно з робочою навчальною програмою кожен студент виконує розрахунково-графічну роботу.

Максимальна кількість балів за виконання РГР – 12.

Критерії оцінювання

- повне, точне і вчасне виконання – 12 балів;
- розрахунок неточний є окремі несуттєві помилки – 7...11 балів;
- розрахунок неповний, є окремі суттєві помилки – 1...6 балів;
- розрахунок неправильний – 0 балів;
- на виконання РГР відводять 8 тижнів з моменту видачі завдання; здача РГР після встановленого терміну передбачає нарахування штрафного балу -2 за кожен тиждень понад встановлений термін.

Модульна контрольна робота

Завдання кожної контрольної роботи складається з двох теоретичних питань та задачі.

Ваговий бал кожної частини МКР – 4.

Максимальний бал за дві МКР – $(4 * 3) * 2 = 24$.

Критерії оцінювання

- правильне розв'язання задачі та повна відповідь на 2 теоретичних питання – 12 балів;
- часткове розв'язання задачі, наявність незначних помилок – 6-11 балів;
- відсутність відповіді – 0 балів.

Календарний контроль базується на поточній рейтинговій оцінці. Умовою позитивної атестації є значення поточного рейтингу студента не менше 50% від максимально можливого на час атестації.

Критерії нарахування балів за практичне розрахункове завдання (задачу):

0 – задача не вирішувалася, або були використані формули з грубими помилками, або як такі, що не мають відношення щодо суті задачі;

1-2 – задача вирішувалася, але результуючої відповіді немає і в розв'язку наведені тільки загальні формули та міркування або допущені грубі помилки у використанні формул;

3 – задача вирішувалася, вказана вірна відповідь, але приведені тільки самі загальні формули та міркування;

4 – задача вирішена в загальному вигляді, вказана вірна відповідь, проте містить грубі помилки у розрахунках;

5 – задача вирішена в основному правильно, але без відповідних пояснень, або допущена незначна помилка (неточність);

6 – задача вирішена правильно з відповідними поясненнями.

Форма семестрового контролю – екзамен

Умовою допуску до екзамену є зарахування всіх лабораторних робіт, двох модульних контрольних робіт та РГР і семестровий рейтинг не менше 35 балів.

Екзаменаційна робота складається з двох теоретичних запитань та задачі

Критерії оцінювання екзамену

Рейтинг R_c в межах $(0,3 - 0,59) * R$, тобто 30 – 59 балів – студенти складають екзамен.

Максимальний рейтинг екзамену $R_z = 40$ балів.

Критерії оцінювання кожного з двох теоретичних екзаменаційних питань.

Рейтинг екзамену $R_z = 15$ балів – студент дав вичерпні відповіді на питання, дає чіткі визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні.

Рейтинг екзамену $R_z = 12 - 14$ балів – студент дав вичерпні відповіді на питання, дає чіткі визначення всіх понять і величин, відповіді логічні і послідовні, але містять незначні неточності.

Рейтинг екзамену $R_z = 10 - 12$ балів – відповідаючи на питання, студент припускається окремих помилок, знає визначення основних понять і величин дисципліни, в цілому розуміє фізичну суть процесів.

Рейтинг екзамену $R_z = 8 - 9$ балів – студент частково відповідає на екзаменаційне питання, показує знання, але недостатньо розуміє суть процесів. Відповіді непослідовні і нечіткі.

Рейтинг екзамену $R_z \leq 7$ балів – у відповіді студент припускається суттєвих помилок, проявляє нерозуміння фізичної суті термодинамічних процесів, не може виправити помилки за допомогою викладача. Відповіді некоректні, а в деяких випадках не відповідають суті поставленого питання.

Критерії нарахування балів за практичне розрахункове завдання (задачу):

0 – задача не вирішувалася, або були використані формули з грубими помилками, або як такі, що не мають відношення щодо суті задачі;

1-3 – задача вирішувалася, але в підсумку відповіді не має і в розв'язку наведені тільки загальні формули та міркування або допущені грубі помилки у використанні формул;

4-5 – задача вирішувалася, вказана вірна відповідь, але приведені тільки самі загальні формули та міркування;

6-7 – задача вирішена в загальному вигляді, вказана вірна відповідь, проте містить грубі помилки у розрахунках;

8-9 – задача вирішена в основному правильно, але без відповідних пояснень, або допущена незначна помилка (неточність);

10 – задача вирішена правильно з відповідними поясненнями.

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік тем, які виносяться на семестровий контроль

1. Види енергії та форми обміну енергією. Термодинамічна система, навколишнє середовище та взаємодія між ними.
2. Стан термодинамічної системи, параметри та рівняння стану. Температура, теплота. Термодинамічні процеси.
3. Замкнуті (ізольовані) та відкриті системи. Ступені свободи термодинамічної системи.
4. Стан термодинамічної системи: термічні параметри стану. Рівняння стану; термодинамічні діаграми.
5. Рівноважні й нерівноважні стани. Принцип самонепорушності рівноважного стану.
6. Форми обміну енергією: теплота і робота.
7. Властивості роботи як форми обміну енергією. Робота процесу: робота зміни об'єму, корисна зовнішня робота, робота прогтовхування.
8. Оборотні та необоротні процеси.
9. Теплота процесу. Поняття теплоємності тіла: масова, об'ємна й мольна теплоємності. Закон збереження і перетворення енергії: еквівалентність теплоти й роботи.
10. Властивості роботи як форми обміну енергією. Теплота як форма обміну енергією.
11. Формулювання першого закону термодинаміки. Аналітичний вираз першого закону термодинаміки.
12. Елементи молекулярно-кінетичної теорії та термічне рівняння стану ідеальних газів (Менделєєва – Клапейрона). Закони зміни стану газів.
13. Теплоємність газів та її зв'язок з молекулярною будовою речовини. Теоретична оцінка теплоємностей ідеального газу при постійному об'ємі та постійному тиску C_p і C_v .
14. Формула Майєра. Істинна та середня теплоємності.
15. Ентропія як параметр (функція) стану термодинамічної системи. Термодинамічні тотожності. Калоричні і термічні властивості речовини.
16. Внутрішня енергія, ентальпія й ентропія ідеального газу; теплоємність ідеального газу при $v = \text{const}$ і $p = \text{const}$.
17. Термодинамічний метод дослідження процесів. Ізохорний процес Ізобарний процес Ізотермічний процес. Адіабатний процес.
18. Політропні процеси; визначення показника політропи. Визначення на Ts – діаграмі характеристик політропного процесу – теплообміну, енергії, ентальпії та роботи.
19. Формулювання другого закону термодинаміки та його сутність. Рівноважні та обернені термодинамічні процеси.
20. Перетворення теплоти в роботу в теплових двигунах. Цикл Карно.

21. *Кругові термодинамічні процеси, або цикли. Термодинамічний аналіз кругових процесів: баланс теплоти й роботи в теплових машинах. Термічний ККД і холодильний коефіцієнт циклів.*
22. *Прямий оборотний цикл Карно та його термічний к. к. д.*
23. *Зворотний оборотний цикл Карно та його холодильний коефіцієнт.*
24. *Перша теорема Карно про ККД довільного оборотного циклу. Середньоінтегральна температура підведення (відводу) тепла й еквівалентний цикл Карно.*
25. *Друга теорема Карно. Узагальнений (регенеративний) цикл Карно.*
26. *Абсолютна термодинамічна температура.*
27. *Аналітичне вираження другого закону термодинаміки. Властивості оборотних і необоротних циклів.*
28. *Зміни ентропії в оборотних і необоротних процесах; об'єднані рівняння першого й другого законів термодинаміки.*
29. *Принцип зростання ентропії та фізичний зміст другого закону термодинаміки.*
30. *Рівняння Гюї – Стодоли. Статистичний зміст ентропії: рівняння Больцмана.*
31. *Імовірнісний характер другого закону термодинаміки. Межі застосовності другого закону й класичної термодинаміки.*
32. *Третій закон термодинаміки. Максимальна робота і термодинамічні потенціали.*
33. *Загальні вираження для роботи процесу та зміна термодинамічних потенціалів системи.*
34. *Характеристичні функції, їх диференціали та співвідношення Максвелла. Природні змінні характеристичних функцій і співвідношення між ними. Рівняння Гіббса-Гельмгольца.*
35. *Хімічний потенціал і нерівність Гіббса. Загальні умови рівноваги термодинамічної системи. Теорема Нернста.*
36. *Формулювання й аналітичне вираження третього закону термодинаміки. Практичні наслідки. Абсолютне значення ентропії.*
37. *Властивості реальних газів. Відмінності станів реальних газів.*
38. *Кипляча рідина й суха насичена пара. Критичні умови. Перегріта пара.*
39. *Рівняння стану газів у віріальній формі.*
40. *Рівняння стану Ван-дер-Ваальса і його фізичний зміст.*
41. *Аналіз рішень рівняння Ван-дер-Ваальса: нестійкі стани перегрітої рідини й переохолодженої пари, абсолютна температура кипіння, особливості двофазного стану, пограничні криві.*
42. *Волога пара. Сухість пари.*
43. *Параметри критичного стану газу і константи рівняння Ван-дер-Ваальса. Приведені параметри та приведені рівняння Ван-дер-Ваальса. Закон відповідних станів.*
44. *Фазові стани і фазові переходи речовин. Теплоти фазових переходів: рівняння Клапейрона – Клаузіуса.*
45. *Вода і водяна пара. Аномалії води. Отримання водяної пари та її характерні стани.*
46. *Основні параметри станів водяної пари; теплота пароутворення.*
47. *Газові суміші: закон Дальтона. Газова стала та середня молекулярна маса газових сумішей.*
48. *Парціальний тиск та теплоємність газових сумішей. Рівняння стану суміші й методика розрахунку її термодинамічних властивостей.*

49. Параметри вологого повітря. Абсолютна й відносна вологість. Вологовміст.
50. Температура точки роси. Ентальпія й ентропія вологого повітря.
51. Термодинаміка потоку. Одномірна течія потоку, адіабатна течія потоку, усталена течія; рівняння нерозривності, імпульсів, першого закону термодинаміки, стану, рівняння енергії для стаціонарного потоку.
52. Робота прошовхування і наявна робота потоку.
53. Криза течії. Швидкість звуку, режими течії: дозвуківий і надзвуківий. Критичні параметри течії.
54. Витікання з конічного сопла: тиск і швидкість потоку в усті сопла. Режими витікання: докритичний і критичний. Умови переходу через критичну швидкість.
55. Розрахункові й нерозраховані режими сопла Лавалля. Стрибки ущільнення.
56. Ударна хвиля. Число Маха «М»
57. Рівняння процесів адіабатного й ізотермічного дроселювання. Диференціальні й інтегральні дросельні ефекти.
58. Фізична сутність ефекту Джоуля-Томсона.
59. Паровий цикл Карно. Ідеальні й теоретичний регенеративні цикли паросилових установок.
60. Цикл двигуна Стірлінга.

Сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою можуть бути зараховані за умови виконання вимог, наведених у НАКАЗІ № 7-177 від 01.10.2020 ПРО ЗАТВЕРДЖЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПРО ВИЗНАННЯ В КПІ ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ, НАБУТИХ У НЕФОРМАЛЬНІЙ/ІНФОРМАЛЬНІЙ ОСВІТІ

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри відновлюваних джерел енергії ФЕА, к.т.н. Вишневською Ю.П.

Ухвалено кафедрою відновлюваних джерел енергії ФЕА (протокол № 14 від 24.05.2024 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол №10 від 20.06.2024)

¹Методичною радою університету– для загальноуніверситетських дисциплін.