Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Кафедра
Атомної енергетики

Технічна термодинаміка.
Частина 1. Закони термодинаміки.
Властивості робочих тіл (рідин газів)
Робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

Реквізити навчальної дисципліни	
Рівень вищої освіти	***Перший (бакалаврський)***
Галузь знань	*14 Електрична інженерія*
Спеціальність	*143 Атомна енергетика*
Освітня програма	*Атомні електричні станції*
Статус дисципліни	*Нормативна*
Форма навчання	*очна(денна)*
Рік підготовки, семестр	*ІІ курс, осінній семестр*
Об'єм дисципліни	*4,0 кредитів ЄКТС (120 годин), 36 години лекцій, 36 годин практичні заняття, 48 годин самостійної роботи*
Семестровий контроль/ контрольні заходи	*залік/модульна контрольна робота*
Розклад занять	*http://roz.kpi.ua/*
Мова викладання	*Українська*
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: *к.т.н, ас. Баскова Олександра Олександрівна, oleksandrabask@gmail.com* Практичні заняття: *к.т.н, доц. Воробйов Микита Валерійович, , vorobiov.nikv@gmail.com*
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua/ , https://classroom.google.com/c/ODA1MzYwOTA4NDUx?

Програма навчальної дисципліни

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

Силабус навчальної дисципліни «Технічна термодинаміка» складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів за спеціальністю 143 Атомні електричні станції.

«Технічна термодинаміка» належить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки і є одні- єю з найважливіших складових теоретичних основ теплотехніки і являється фундаментом прикладних дис- циплін в фаховій підготовці інженерів теплоенергетичних спеціальностей.

Предметом навчальної дисципліни «Технічна термодинаміка» є фізична сутність та закономірності процесів енергетичних, в основному тепломеханічних, взаємодій і перетворень, а також пов'язаними з ци- ми процесами властивостей робочих тіл.

Метою кредитного модуля є формування у студентів таких компетенцій:

– Здатність використовувати аналітичні та експериментальні методи, а також методи моделювання для вирішення професійних завдань (ФК 10).

– Здатність розробляти енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання для об'єктів атомної енергетики (ФК 14).

Набуті знання забезпечують подальше успішне засвоєння студентами спеціальних дисциплін. В наслі- док вивчення курсу студенти набувають наступних програмних результатів навчання:

– Знання і розуміння математики, фізики, хімії та інженерних наук на рівні, необхідному для досяг- нення результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях в галузі (ПРН 1).

– Обирати і застосовувати типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи для розв'язування складних спеціалізованих задач і практичних проблем у галузі атомної енергетики; правиль- но інтерпретувати результати виконаних досліджень та розрахунків (ПРН 3).

– Здійснювати розрахунки об'єктів атомно-енергетичного комплексу, виробів, процесів і систем в га- лузі атомної енергетики, що задовольняють конкретні технічні, економічні, законодавчі та інші вимоги; об- рання і застосовування адекватної методології проектування (ПРН 5).

– Застосовувати загальне і спеціалізоване програмне забезпечення, а також навички програмування для вирішення професійних завдань в галузі атомної енергетики (ПРН 6).

– Знати і розуміти основні характеристики, сферу застосування та обмеження обладнання, матеріалів та інструментів, інженерних технологій і процесів, що використовуються при вирішенні професійних завдань (ПРН 12).

– Знання і розуміння інженерних дисциплін на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях атомної енергетики (ПРН 20).

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

Пререквізити: Фізика.

Постреквізити: Технічна термодинаміка. Частина 2. Термодинамічні процеси та цикли.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Основні поняття технічної термодинаміки

Тема 1.1. Предмет і метод технічної термодинаміки

Основні визначення технічної термодинаміки

Тема 1.2. Термодинамічна система і стан робочого тіла

Термічні та калоричні параметри стану.

Тема 1.3. Термодинамічний процес

Основні термодинамічні процеси. Закони ідеального газу. Рівняння стану для ідеального газу.

Тема 1.4. Робота і теплота

Характеристики термодинамічного процесу: робота і теплота, поняття теплоємності.

Розділ 2. Перший закон термодинаміки

Тема 2.1. Перший закон для закритої системи

Перший закон термодинаміки для закритої системи. Форми запису першого закону термодинаміки. Теплоємність. Визначення теплоємності за молекулярно-кінетичною теорією та за допомогою таблиць. Теплоємність суміші газів

Тема 2.2. Перший закон для стаціонарних поточних процесів

Перший закон для стаціонарних поточних процесів

Розділ 3. Другий закон термодинаміки

Тема 3.1. Ентропія і другий закон

Формулювання другого закону термодинаміки. Цикл Карно. Теореми Карно. Ентропія і другий закон. Інтеграл Клаузіуса.

Тема 3.2. Застосування другого закону до перетворень енергії.

Ентропія і термодинамічна вірогідність. Основна термодинамічна тотожність – об’єднання першого і другого законів термодинаміки.

Розділ 4. Загальні співвідношення між термодинамічними величинами

Тема 4.1 Загальні термодинамічні співвідношення

Основні математичні методи. Рівняння Максвела.

Тема 4.2 Характеристичні функції і третій закон ТТД

Частинні похідні внутрішньої енергії та ентальпії. Диференціальні рівняння для теплоємності.

Розділ 5. Ідеальні гази і газові процеси

Тема 5.1. Термічні і калоричні характеристики стану ідеальних газів

Алгоритм аналізу будь-якого термодинамічного процесу.

Тема 5.2. Термодинамічні процеси з ідеальними газами

Ізохорний, ізобарний, ізотермічний, адіабатний процеси. Політропний процес і його узагальнююче значення. Основні групи термодинамічних процесів.

Розділ 6. Реальні гази і процеси з реальними газами

Тема 6.1. Загальні властивості реальних газів

Загальні властивості реальних газів.

Тема 6.2. Таблиці і діаграми для газів і рідин

Таблиці і фазові діаграми для газів і рідин.

Тема 6.3. Термодинамічні процеси з реальними газами

Термодинамічні процеси з реальними газами. Ізохорний, ізобарний, ізотермічний, адіабатний процеси.

Розділ 7. Газові та парогазові суміші

Тема 7.1. Ідеальні газові суміші

Поняття про газові суміші. Основні визначення. Характеристики сумішей. Зв'язок між ними.
Тема 7.2. Парогазові суміші. Вологе повітря
Поняття про вологе повітря. Основні визначення. Характеристики вологого повітря. Зв'язок між ними. Діаграма вологого повітря. Розрахунки процесів у вологому повітрі.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники) література.

1. Константінов С.М. Технічна термодинаміка. – К.: Політехніка, 2001. – 368 с.
2. Буляндра О.Ф. Технічна термодинаміка. – К.: Техніка, 2001. - 320 с.
3. Пеньков В.І. Технічна термодинаміка. – Рівне: НУВГП, 2010. - 209 с.
4. Дубровська В.В., Шкляр В.І. Термодинаміка та теплообмін. – К.: НТУУ«КПІ», Вид-во "Політехніка», 2016. – 152 с.

Додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література.

5. Василенко С.М. Теплохолодотехніка. – К.: Вид-во Ліра-К, 2019. – 258 с.
6. Мінаковський В.М., Соломаха А.С.. Технічна термодинаміка. Приклади, задачі та типові розрахунки. – К.: «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 172 с.
7. Приходько М.А., Герасимов Г.Г. Термодинаміка та теплопередача. - Рівне: НУВГП, 2008. - 250 с.
8. Шестаков В.Л. Термодинаміка. - Рівне: НУВГП, 2009. -150 с.
9. Desmet B. Thermodynamics of Heat Engines. - ISTE Ltd 2022. - Library of Congress Control Number: 2022941652. – 528 p.
10. Baehr H.D., Kabelac S. Thermodynamic. – Springer-Lehrbuch, 2022. - ISBN: 978-3-642-24161-1. – 520 p.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено лекційні та практичні заняття

Зміст навчальної роботи	СРС
Лекція 1. Розділ 1. Тема 1.1. 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. 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: [1, 2].	Термодинамічна система і зовнішнє середовище. Робоче тіло. Види робочих тіл. Література: [1].
Практичне заняття 1. Розділ 1. Тема 1.1. 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. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1].	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2].
Лекція 2. Розділ 1. Тема 1.2. 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, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2].	Термодинамічні процеси і їх види. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1].
Практичне заняття 2. Розділ 1. Тема 1.2. Різниця між фізичними поняттями маси і кількості речовини. Питомі і молярні величини, загальні способи їх обчислення. Відношення питомих і молярних значень однойменних величин. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1].	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 3. Розділ 1. Тема 1.3. 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. Різні форми вираження кількості механічної роботи в процесах при рівноважних змінах стану робочого тіла - робота об'ємна (деформаційна), переміщення і технічна. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2].	Визначення кількості роботи і теплоти в рівноважних процесах. Вирази кількості роботи при умовно рівно-

Лекція 4. Розділ 1. Тема 1.4. 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: [1, 2].	важних змінах стану. Література: [1, 2].
Практичне заняття 3. Розділ 1. Тема 1.3, 1.4. Характеристики стану тіл. Термічні властивості речовини. Термічне рівняння стану ідеальних газів. Газова стала, питома (індивідуальна) і молярна. Калоричні властивості і теплоємність газів. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1].	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 5. Розділ 2. Тема 2.1. 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, що , для вивчення курсу: [1, 2].	Перший закон термодинаміки для закритих систем Література: [1].
Практичне заняття 4. Розділ 2. Тема 2.1. Характеристики зміни стану тіл і термодинамічних процесів. Показники зміни стану робочих тіл. Формування співвідношень для показників політропної зміни стану по їх термічним властивостям. Аналіз політропних змін стану в діаграмі p-v. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1].	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 6. Розділ 2. Тема 2.2. Рівняння першого закону термодинаміки для стаціонарних поточних процесів (алгебраїчна форма). Енергообмін відкритої системи з оточенням в формі теплоти, технічної роботи і з потоком речовини. Робота проштовхування. Виведення рівняння енергобалансу. Врахування дисипативних ефектів. Рівняння першого закону термодинаміки для стаці- онарних поточних процесів (модульна форма). Виведення рівняння, його особ- ливості. Зв'язок між об'ємною (деформаційною) роботою, роботою переміщення і технічною в поточних процесах. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2].	Енергообмін відкритої системи в формі теплоти, технічної роботи. Рівняння першого закону термодинаміки для стаціонарних поточних процесів. Література: [1].
Практичне заняття 5. Розділ 2. Тема 2.1. Визначення кількості роботи і теплоти. Енергетичні результати механічної та теплової взаємодії між тілами в рівноважних процесах і при наявності тертя. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1].	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 7. **Розділ 2.** Тема 2.2. Застосування першого закону до циклічних процесів. Виведення рівняння для циклів. Особливості його запису для прямих і зворотних циклів. Оцінка ефективності прямих і зворотних циклів. За допомогою коефіцієнтів перетворення. Тепломеханічний коефіцієнт (прямі цикли), холодильний коефіцієнт (цикли холодильних установок), опалювальний коефіцієнт (цикли тепло насосних установок). Література, що рекомендується, для вивчення курсу: (Л1, Л2).	Оцінка ефективності прямих і зворотних циклів. Література: [1, 2].
Практичне заняття 6. Розділ 2. Тема 2.2. Перший закон термодинаміки для закритих систем. застосування виразів першого закону для закритих систем через деформаційну роботу і роботу переміщення до термодинамічних процесів. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 8. Розділ 2. Тема 2.2. Застосування першого закону до циклічних процесів. Виведення рівняння для циклів. Особливості його запису для прямих і зворотних циклів. Оцінка ефективності прямих і зворотних циклів. За допомогою коефіцієнтів перетворення. Тепломеханічний коефіцієнт (прямі цикли), холодильний коефіцієнт (цикли холодильних установок), опалювальний коефіцієнт (цикли тепло насосних установок). Застосування 1-го закону термодинаміки для стаціонарних поточних процесів до теплотехнічних пристроїв. Особливості складання	Оцінка ефективності прямих і зворотних циклів. Застосування 1-го закону термодинаміки для стаціонарних поточних процесів. Літе-

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, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	ратура, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2].
Практичне заняття 7. Розділ 2. Тема 2.2. Рівняння енергетичного балансу стаціонарних поточних процесів (алгебраїчна і модульна форми). 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. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 8. Розділ 3. Тема 3.1. Ентропія і другий закон. 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, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Зміст другого закону і його формулювання. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2].
Практичне заняття 8. ***<u>Перша частина модульної контрольної роботи</u>***. **Розділ 3.** Тема 3.1. Оборотні цикли Карно. Оборотні цикли Карно для термомеханічних, холодильних і тепло насосних установок. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 9. Розділ 3. Тема 3.1. Особливості взаємоперетворень теплоти і роботи. Перетворення теплоти в роботу. Вічний двигун 2-роду. Перетворення роботи в теплоту. Особливості теплообміну в ізольованій системі. Застосування 1-го та 2-го законів термодинаміки до адіабатних машин та теплообмінників. Тема 3.2. 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 внутрі- шній к.к.д. адіабатної турбіни та адіабатного нагнітача. Процеси в теплообмінни- ках з тертям і без тертя по ходу робочого тіла. Врахування кінцевої різниці температур між потоками робочих тіл за допомогою середніх термодинамічних температур. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Особливості взаємоперетворень теплоти і роботи. Причини необоротності процесів, що протікають в адіабатних машинах та теплообмінниках. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2].
Практичне заняття 9. Розділ 3. Тема 3.1. Еквівалентний цикл Карно. Еквівалентні цикли Карно для прямих і зворотних ідеальних циклів. Поняття про еталонний цикл Карно. Термічний коефіцієнт корисної дії циклу Карно. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 10. **Розділ 3.** Тема 3.2. 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. Ефективність термодинамічних циклів. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Термодинамічні цикли: прямі і зворотні. Література: [1, 2]
Практичне заняття 10. Розділ 3. Тема 3.2. Калоричні характеристики стану. Обчислення калоричних параметрів и, h, s у випадку c = const і c = c (τ). Таблиці термодинамічних властивостей ідеальних газів. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 11. Розділ 3. Тема 3.2. Оборотний і еквівалентний цикли Карно. Оборотний цикл Карно як цикл граничної ефективності в межах заданих температур гарячого (Тг) та холодного (Тх) джерел. Прямий і зворотний цикли Карно. Еквівалентний прямий і зворотний цикли Карно і його значення. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2] **Лекція 17. Розділ 4.** Тема 4.1. Диференційні рівняння для калоричних величин.	Оборотний і еквівалентний цикли Карно. Диференційні рівняння термодинаміки. Література, що рекомендується,

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, и за допомогою термічних рівнянь стану. Теплоємності (Ср, Cv) тіл. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	для вивчення курсу: [1, 2]
Практичне заняття 11. Розділ 3. Тема 3.1. Часткові термодинамічні процеси. Розрахунки рівноважних процесів з ідеальними газами (t, s, v, p = const і політропні). Прикладні задачі на процеси з ідеальними газами. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 12. Розділ 4. Тема 4.2. 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 Ср, Cv ідеального газу від температури, об'єму і тиску. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Термічне рівняння ідеальних газів. Теплоємності ідеальних газів. Література: [1, 2].
Практичне заняття 12. Розділ 4. Тема 4.1., 4.2 Визначення параметрів, обчислення енергетичних результатів, зображення принципових схем і процесів в pv, ts - діаграмах: адіабатні турбіни і нагнітачі (повітряний компресор, повітродувка), ТО поверхневого типу, охолоджуваний компресор. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1].	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 13. Розділ 5. Тема 5.1. Калоричні параметри ідеальних газів та зміна їх в процесі. Вихідні диференційні та інтегральні рівняння для внутрішньої енергії, ентальпії і ентропії. Рівняння для обчислення и, h, s. Вибір початку відліку для калоричних параметрів. Таблиці термодинамічних властивостей ідеальних газів. Тема 5.2. Рівняння термодинамічних процесів з ідеаль- ними газами. Рівняння основних термодинамічних процесів - ізобарного, ізохор- ного, ізотермічного, ізоентропного. Співвідношення між параметрами крайніх станів процесів. Політропні процеси та їх аналіз. 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, що рекомендується, для вивчення курсу: (Л1, Л2).	Калоричні параметри ідеальних газів та зміна їх в процесі. Рівняння основних термодинамічних процесів. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]
Практичне заняття 13. Розділ 5. Тема 5.1, 5.2. 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. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2].
Лекція 14. Розділ 6. Тема 6.1, 6.2. Загальні властивості реальних газів. 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. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Кількісні і якісні відмінності реальних газів від ідеальних. Література: [1, 2].
Практичне заняття 14. Розділ 6. Тема 6.1, 6.2. T -s, h - s діаграми водяної пари. Визначення параметрів води і водяної пари за допомогою діаграм в різних станах. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 15. Розділ 6. Тема 6.2. Процес пароутворення при p ? pкр і його характеристики. Трійна точка. Критичні умови. Волога насичена пара. Ступінь сухості. Теплоти фазових переходів. Рівняння Клапейрона - Клаузіуса. Надкритична область станів. Тема 6.3. Термодинамічні процеси з реальними газами. Ізобарний, ізохорний, ізотермічний, адіабатний процеси на прикладі води і водя- ної пари. Зображення процесів за донки процесів зміни стану водяної пари за допомогою таблиць та діаграм. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Процес пароутворення. . Термодинамічні процеси з реальними газами. Література: [1, 2].

Практичне заняття 15. ***Друга частина модульної контрольної роботи.*** **Розділ 6.** Тема 6.2. Термодинамічні процеси з реальними газами. Термодинамічні процеси з водяною парою. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 16 Розділ 6. Тема 6.3. Таблиці і діаграми для газів і рідин. 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, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]
Практичне заняття 16. Розділ 6. Тема 6.3. Розрахунки часткових процесів і прикладних задач на процеси з водяною парою (адіабатні турбіни і нагнітачі, парогенератор, конденсатор, охолоджувальний компресор, ТО змішувального типу). Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 17. Розділ 7. Тема 7.1. Склад суміші та термічні рівняння. Переведення складу газової суміші від завдання 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 компо- нентів. Парціальний об'єм. Рівність молярних і об'ємних часток, що визначають склад суміші. Визначення парціальних тисків газів, що входять до складу суміші. Калоричні характеристики газової суміші. Обчислення калоричних характеристик газової суміші: внутрішньої енергії, ентальпії, ентропії і теплоємності (Ср, Cv). Ентропія змішування. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Склад газової суміші, способи її завдання. Характеристики газової суміші. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]
Практичне заняття 17. Розрахунки часткових процесів з водяною парою (адіабатні турбіни і нагнітачі, парогенератор). Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	Опрацювання пройденого на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]
Лекція 18. Розділ 7. Тема 7.2. Парогазові суміші і вологе повітря. 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: [1, 2].	Парогазові суміші і вологе повітря. Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2].
Практичне заняття 18. Розрахунки часткових процесів з водяною парою (конденсатор, охолоджувальний компресор, ТО змішувального типу). Література, що рекомендується, для вивчення курсу: [1, 2]	деного на матеріалу і вирішення задач ДЗ за [1, 2]

6. Самостійна робота студента

Теми до самостійної роботи з лекційних занять:

1. Історія розвитку ТТД як науки (1 год.).
2. Термодинамічні діаграми. Процеси з тілами, що перебувають в спокої, та поточні процеси (1 год.).
3. Відмінність характеристик процесу від характеристик стану. Графічне зображення роботи і теплоти (1 год.).
4. Внутрішня енергія як функція стану. Врахування дисипативних ефектів, Ознаки необоротності (1 год.).
5. Опалювальний коефіцієнт (1 год.).
6. Зв'язок між об'ємною (деформаційною) роботою, роботою переміщення і технічною в поточних процесах (1 год.)
7. Теплообмінники поверхневого і змішувального типів (1,5год.).
8. Особливості теплообміну в ізольованій системі. Процеси в теплообмінниках з тертям і без тертя по ходу робочого тіла (1 год.).
9. Необоротності в прямих циклах. Еквівалентний прямий і зворотний цикли Карно і його значення (1 год.).
10. Характеристичні функції і третій закон термодинаміки. Умови рівноваги простих тіл. Приклади використання загальних термодинамічних співвідношень (1 год.).
11. Поняття про характеристичні функції. Практичні наслідки. Абсолютне значення ентропії (1 год.).
12. Таблиці термодинамічних властивостей ідеальних газів. Наочні графічні ілюстрації газових процесів. Надкритична область станів (2 год.)
13. Термодинамічні процеси з реальними газами (1 год.).
14. Процеси нагрівання та охолодження вологого повітря в діаграмі h-d (1 год.).

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Викладачі курсу очікують від студентів активного залучення та безпосередньої участі у опануванні дисципліни, зокрема:

- відвідування занять, дотримання правил поведінки на заняттях (активність, уникнення телефонних розмов під час аудиторних занять, зосередженість на матеріалі заняття, відключення телефонів, використання відповідних засобів для оперативного пошуку інформації);регулярний перегляд повідомлень та виконання призначених завдань; регулярний перегляд та обробка повідомлень на електронну пошту;
- оперативне реагування на запити та питання викладача;
- самостійне оформлення та виконання необхідних розрахунків, побудова графіків та написання висновків до роботи; дотримання узгоджених з викладачем правил підготовки, та подальшого виправлення (у разі необхідності) завдань; індивідуальний їх захист.
- вчасною здачею індивідуальних завдань є захист отриманих результатів згідно розкладу.
- розуміння та дотримання рейтингової системи оцінювання (РСО);
- дотримання політики дедлайнів та перескладань;
- дотримання політики щодо академічної доброчесності;
- інші вимоги, що не суперечать законодавству України та нормативним документам університету.

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

Поточний контроль: опитування за темами, МКР

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

Семестровий контроль: Залік.

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за опитуваннями, зарахування усіх видів робіт, виконання МКР, семестровий рейтинг більше 30 балів.

Сума максимальних вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає :

$$\mathbf{R=R_C=\Sigma\, r_k = 100\ бал\text{ів}}.$$

Рейтингова оцінка студента з кредитного модуля формується як сума рейтингових балів r_k, а також заохочувальних балів rs:

$$\mathbf{R_D =\Sigma\, r_k+ \Sigma\, r_s}$$

Студенти, які набрали протягом семестру рейтинг з кредитного модуля менше RD<25, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до заліку і мають академічну заборгованість.

Студенти, що набрали протягом семестру кількість балів 25 ≤ RD < 60 балів зобов'язані виконувати залікову контрольну роботу.

Студенти, які набрали протягом семестру рейтинг з дисципліни RD ≥ 60 мають можливості:

- отримати залікову оцінку відповідно набраного рейтингу «автоматом»;
- виконувати залікову контрольну роботу з метою підвищення оцінки;
- у разі отримання оцінки, більшої ніж «автоматом» з рейтингу, студент отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи;
- у разі отримання оцінки, меншої ніж «автоматом» з рейтингу, застосовується жорстка РСО – попередній рейтинг студента скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів залікової контрольної роботи.

Ваговий бал залікової контрольної роботи $\mathbf{R_{кр}}$ **= 100 балів.** Робота містить три завдання, з них два теоретичних і одне практичне. Оцінювання кожного завдання виконується за 100 бальною шкалою, а підсумкова оцінка виводиться як середньоарифметична трьох завдань. Приклад завдання наведений в Додатку 2.

95-100 балів – студент демонструє повні і міцні знання навчального матеріалу в заданому обсязі, необхідний рівень умінь і навичок, правильно і обґрунтовано приймає необхідні рішення.

85-94 балів – студент засвоює в повному обсязі робочу програму кредитного модуля, правильно і обґрунтовано використовує знання для вирішення стандартних і деяких нестандартних завдань.

75-84 балів – студент засвоює в повному обсязі робочу програму кредитного модуля, уміє використовувати знання для вирішення стандартних завдань.

65-74 балів – студент засвоїв основний теоретичний матеріал, уміє використовувати знання для вирішення стандартних завдань, але допускає неточності, що не є перешкодою для подальшого навчання.

60-64 балів – студент засвоїв слабо основний теоретичний матеріал, дає неповні відповіді на теоретичні запитання, при застосуванні знань для вирішення стандартних завдань допускає помилки, які може виправити після додаткових запитань або зауважень викладача.

<60 балів – незасвоєння окремих розділів робочої програми кредитного модуля, нездатність застосувати знання на практиці, що робить неможливим розв'язування найпростіших стандартних завдань; потрібна додаткова робота над матеріалом кредитного модуля.

Застосовується «жорстка» РСО: залікова складова R_3 шкали дорівнює: **R_3 = 40 балів**, не враховуються бали за відповіді на заняттях і виконання завдань МКР.

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

R_D = Rc + R_3 = 60 + 40= 100 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

<u>Шкала балів та відповідні рівні оцінювання з кожного виду контролю.</u>

1. *Модульна контрольна робота*. (10 балів за всю роботу)

Складається МКР із двох частин відповідно до термінів рубіжного атестаційного контролю. Містить три завдання з теорії і практики – одна задача і два теоретичних питання. Кожне питання оцінюється за 10 бальною шкалою. Підсумкова оцінка виводиться як середньоарифметична. Кожна частина МКР також оцінюється за 10 бальною шкалою, а підсумкова оцінка виводиться як середньоарифметична.

«відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 10-9 балів;

«добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними помилками – 8-7 балів;

«задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 6-4 балів;

«незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 3-0 балів.

2. *Практичне заняття* (по 1 балу за роботу на практичному занятті):

«відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 1 бал;

«добре», глибоке розкриття питань – 0,7 балів;

«задовільно», не достатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 0,5 бали.

3. *Виконання самостійної роботи* і роботи над конспектом під час лекційних занять.

Лекційний курс (робота над конспектом за кожну лекцію по 1 балу за роботу над конспектом, завдання на срс за кожне завдання по 1 балу):

«зараховано», виконання завдання у строк – 1 бал;

«зараховано», завдання виконано, але не у строк – 0…0,5 бала.

4. *Опитування за темами*.

«відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 1 бал;

«добре», глибоке розкриття питань – 0,7 балів;

«задовільно», не достатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 0,5 бали.

5. *Домашні завдання*.

«відмінно», творче розкриття питань, вільне володіння матеріалом – 1 бал;

«добре», глибоке розкриття питань – 0,7 балів;

«задовільно», не достатньо повне розкриття питань, достатня робота на практичному занятті – 0,5 бали.

6. *Заохочувальні.*

Передбаченні заохочення за наступні досягнення:

Ведення конспекту лекцій – до 10 балів

Шкала балів за відповідні рівні оцінювання з кожного виду контролю.

Вид занять	Кількість занять	Характер виконання	Кількість балів	Сума
Лекції	18	робота на занятті	1	18
Практичні заняття	18	робота на занятті	1	18
Домашні завдання	18	виконання	1	18
Модульна контрольна робота	1	виконання	10	10
Опитування за темами	18	відповідь	1	18
СРС	18	виконана СРС	1	18
Сума за семестр				100
Залікова контрольна робота	1	виконання і захист	100	100

Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають право і можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами (детальніше: https://osvita.kpi.ua/2020_7-170, https://document.kpi.ua/files/2020_7-170.pdf).

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (детальніше: https:// kpi.ua/code).

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

1. *Дистанційне навчання:*

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі Zoom).

2. *Навчання в умовах правового режиму воєнного стану*:

– передбачає проведення усіх видів занять дистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;

– кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);

– у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

3. Для студентів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 10 балів):

– сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;

– сертифікатів, які підтверджують участь у науково–практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни.

Додаток 1

Перелік залікових питань

1. Предмет і метод технічної термодинаміки.
2. Робота і теплота - дві форми енергообміну між тілами.
3. Термодинамічна система і стан ТДС. Термодинамічна система і зовнішнє середовище.
4. Робоче тіло. Види робочих тіл. Термодинамічний стан тіл і його характеристики.
5. Рівноважний стан тіл і рівняння стану.
6. Термодинамічний процес
7. Зміни стану тіл та їх особливості. Рівноважна, не рівноважна і умовно рівноважна зміна стану тіл.
8. Дисипація роботи і її міра. Теплота тертя.
9. Термодинамічні процеси і їх види: адіабатні і не адіабатні, кругові і некрутові, оборотні і необоротні.
10. Визначення кількості роботи і теплоти в рівноважних процесах.
11. 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.
12. Різні форми вираження кількості механічної роботи в процесах при рівноважних змінах стану робочого тіла - робота об'ємна (деформаційна), переміщення і технічна.
13. Визначення кількості роботи і теплоти в процесах з тертям.
14. Вирази кількості роботи при умовно рівноважних змінах стану з врахуванням прояву дисипації.
15. Узагальнене рівняння кількості роботи. Способи обчислення кількості теплоти в термодинамічних процесах.
16. Теплоємності тіла - дійсна і середня, масова (питома), молярна і об'ємна, ізобарна і ізохорна.
17. Перший закон термодинаміки для закритих систем.
18. Зміст і основні формулювання першого закону. Коротка історична довідка розвитку досліджень, які визначили суть першого закону.
19. Філософське значення 1-го закону.
20. Внутрішня енергія як функція стану.
21. Аналітичні вирази 1-го закону для закритих систем - через деформаційну роботу і роботу переміщення.
22. Рівняння першого закону термодинаміки для стаціонарних поточних процесів (алгебраїчна форма).
23. Енергообмін відкритої системи з оточенням в формі теплоти, технічної роботи і з потоком речовини.
24. Робота проштовхування. Виведення рівняння енергобалансу. Врахування дисипативних ефектів.
25. Рівняння першого закону термодинаміки для стаціонарних поточних процесів (модульна форма).
26. Виведення рівняння, його особливості. Зв'язок між об'ємною (деформаційною) роботою, роботою переміщення і технічною в поточних процесах.
27. Застосування першого закону до циклічних процесів.
28. Виведення рівняння для циклів. Особливості його запису для прямих і зворотних циклів.
29. Оцінка ефективності прямих і зворотних циклів за допомогою коефіцієнтів перетворення.
30. Тепломеханічний коефіцієнт (прямі цикли), холодильний коефіцієнт (цикли холодильних установок), опалювальний коефіцієнт (цикли тепло насосних установок).
31. Застосування 1-го закону термодинаміки для стаціонарних поточних процесів до теплотехнічних пристроїв.
32. Особливості складання енергетичних балансів на базі рівняння в частковій і модульній формах.
33. Схеми дій при складанні енергобалансів.
34. Енергетичні баланси адіабатних машин (турбін, компресорів), теплообмінників поверхневого і змішувального типів, охолоджувального компресора.
35. Ентропія і другий закон термодинаміки.
36. Зміст другого закону і його формулювання.
37. Принцип існування термодинамічної температури і ентропії як функцій стану та принцип неможливості зменшення сумарної ентропії ізольованих термодинамічних систем.
38. Ознаки протікання реальних (необоротних) і оборотних процесів. Неможливі процеси.
39. Основні причини необоротності процесів. Ознаки необоротності. Узагальнене тертя.
40. Особливості взаємоперетворень теплоти і роботи.
41. Перетворення теплоти в роботу. Вічний двигун 2-роду.

42. Перетворення роботи в теплоту. Особливості теплообміну в ізольованій системі.
43. Застосування 1-го та 2-го законів термодинаміки до адіабатних машин та теплообмінників.
44. Причини необоротності процесів, що протікають в адіабатних машинах та теплообмінниках.
45. Основні необоротності, які підлягають врахуванню в термодинамічному аналізі.
46. Оборотний (адіабатний рівноважний, ізоентропний) та необоротний процеси в адіабатних машинах.
47. Відносний внутрішній к.к.д. адіабатної турбіни та адіабатного нагнітача.
48. Процеси в теплообмінниках з тертям і без тертя по ходу робочого тіла.
49. Врахування кінцевої різниці температур між потоками робочих тіл за допомогою середніх термодинамічних температур.
50. Другий закон і циклічні процеси
51. Загальні відомості про термодинамічні цикли: прямі і зворотні, оборотні і необоротні (реальні), ідеальні.
52. Застосування 1-го та 2-го законів термодинаміки до прямих та зворотних циклів, основні висновки.
53. Оборотний і еквівалентний цикли Карно
54. Оборотний цикл Карно як цикл граничної ефективності в межах заданих температур гарячого (Тг) та холодного (Тх) джерел.
55. Прямий і зворотний цикли Карно. Еквівалентний прямий і зворотний цикли Карно і його значення.
56. Диференційні рівняння для калоричних величин.
57. Диференційні рівняння термодинаміки, їх призначення і методика складання.
58. Вихідні термодинамічні співвідношення - диференціали характеристичних функцій. Рівняння Максвела.
59. Диференційні рівняння для ентропії, теплоємності, внутрішньої енергії та ентальпії тіл.
60. Обчислення s, h за допомогою термічних рівнянь стану.
61. Теплоємності (Ср, Cv) тіл.
62. Термічне рівняння стану та теплоємність ідеальних газів.
63. Фізичні особливості ідеальних газів як граничного стану газоподібних речовин.
64. Термічне рівняння ідеальних газів.
65. Особливості теплоємності ідеальних газів по даним молекулярно-кінетичної та квантово-статичної теорії.
66. Залежність теплоємності Ср, Cv ідеального газу від температури, об’єму і тиску.
67. Калоричні параметри ідеальних газів та зміна їх в процесі.
68. Вихідні диференційні та інтегральні рівняння для внутрішньої енергії, ентальпії і ентропії.
69. Рівняння для обчислення и, h, s. Вибір початку відліку для калоричних параметрів.
70. Таблиці термодинамічних властивостей ідеальних газів.
71. Рівняння термодинамічних процесів з ідеальними газами.
72. Рівняння основних термодинамічних процесів - ізобарного, ізохорного, ізотермічного, ізоентропного.
73. Співвідношення між параметрами крайніх станів процесів.
74. Політропні процеси та їх аналіз. Енергетичні результати газових процесів.
75. Обчислення теплоти та різного виду робіт в термодинамічних процесах з ідеальним газом.
76. Наочні графічні ілюстрації газових процесів: p-v, T-s діаграми і схеми енергобалансів.
77. Загальні властивості реальних газів.
78. Кількісні і якісні відмінності реальних газів від ідеальних.
79. Термічне рівняння стану реального газу.
80. Розрахунки калоричних властивостей реальних газів по термічному рівнянню стану.
81. Фазові діаграми p-v, p-T.
82. Процес пароутворення при сталому тиску і його характеристики.
83. Трійна точка. Критичні умови.
84. Волога насичена пара. Ступінь сухості.
85. Теплоти фазових переходів. Рівняння Клапейрона - Клаузіуса. Надкритична область станів.
86. Таблиці і діаграми для газів і рідин. Зміст і структура таблиць термодинамічних властивостей води і водяної пари.
87. Обчислення термодинамічних властивостей вологої насиченої пари. T-s і h-s діаграми водяної пари.
88. Термодинамічні процеси з реальними газами.
89. Розрахунки процесів зміни стану водяної пари за допомогою таблиць та діаграм.
90. Склад суміші та термічні рівняння.
91. Склад газової суміші, способи її завдання. Переведення складу газової суміші від завдання в одних

частках в інші.

92. Обчислення уявного моля і газової сталої суміші. Модель ідеальної газової суміші.
93. Парціальний тиск. Закон Дальтона. Термічні рівняння стану суміші і окремих її компонентів.
94. Парціальний об'єм. Рівність молярних і об'ємних часток, що визначають склад суміші.
95. Визначення парціальних тисків газів, що входять до складу суміші.
96. Калоричні характеристики газової суміші.
97. Обчислення калоричних характеристик газової суміші: внутрішньої енергії, ентальпії, ентропії і теплоємності (Ср, Cv). Ентропія змішування.
98. Парогазові суміші і вологе повітря. Парогазові суміші, визначення та основні закономірності.
99. Характеристики вологого повітря: абсолютна, максимальна абсолютна та відносна вологість; температура точки роси, вологовміст.
100. Діаграма h-d для вологого повітря.

Додаток 2

Приклад завдання залікової роботи

1. Види роботи. Аналітичний вираз роботи термодинамічної, розширення, стискання, переміщування, технічної.

2. Основні процеси зміни стану водяної пари. Зображення процесів у P-v, T-s, h-s координатах. Теплота і робота.

3. Повітря об`ємом 8 м$^3$ при початкових параметрах $P_1$= 0.09 МПа, $t_1$= 20 $^0$С стискається за умови сталої температури до тиску 0.81 МПа. Визначити кінцевий об`єм робочого тіла, роботу і теплоту процесу.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):
Складено *ас., к.т.н., Басковою Олександрою Олександрівною*
Ухвалено: кафедрою АЕ (протокол № 26 від 23.06. 2025 р.)
Погоджено: Методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 9 від 27. 06. 2025 р.)