

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра Аерокосмічної теплотехніки (№ 205)

(назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Керівник проектної групи



(підпис)

П. Г. Гагал

(ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2019 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань

14 «Електрична інженерія»

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність:

144 «Теплоенергетика»

(код та найменування спеціальності)

Освітня програма:

«Енергетичний менеджмент», «Комп'ютерно-інтегровані технології
проектування енергетичних систем», «Теплофізика»

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Харків 2019 рік

Робоча програма Технічна термодинаміка
(назва дисципліни)

для студентів за спеціальністю 144 «Теплоенергетика»

освітніми програмами:

«Енергетичний менеджмент», «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування енергетичних систем»

«11» червня 2019 р., – 8 с.

Розробник: Гакал П. Г., зав. кафедри аерокосмічної теплотехніки (205), д.т.н., доцент
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)

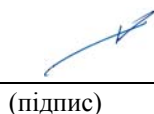


(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні каф. аерокосмічної теплотехніки (205)
(назва кафедри)

Протокол № 9 від « 21 » червня 2019 р.

Завідувач кафедри д.т.н., доц. _____
(науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

_____ П.Г. Гакал
(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни: Денна форма навчання	
Кількість кредитів – 10	Галузь знань <u>14 «Електрична інженерія»</u> (шифр та найменування)	Професійної підготовки	
Модулів - 4	Спеціальність: <u>144 «Теплоенергетика»</u> , (код та найменування) Освітні програми: «Енергетичний менеджмент» «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування енергетичних систем» «Теплофізика»	Навчальний рік	
Змістовних модулів - 4		2019/2020	
Індивідуальне завдання – 2 розрахункові роботи:		Семестр	
1. Термодинамічні параметри суміші продуктів згоряння палива та окиснювача ракетного двигуна			
2. Термодинамічний аналіз циклу турбореактивного двигуна			
Загальна кількість годин – 128/300		3-й	4-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: Аудиторних – 4 Самостійної роботи студента – 6	Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)	Лекції	
		32	32
		Практичні, семінарські	
		0	16
		Лабораторні	
		16	32
		Самостійна робота	
		50	130
		Вид контролю	
		Іспит	Іспит

Співвідношення кількості аудиторних занять до самостійної роботи становить: $128/172=0.74$

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета – в результаті вивчення дисципліни студент отримає здатність застосовувати кількісні математичні методи, методи природничих та технічних наук для вирішення інженерних завдань в теплоенергетичній галузі.

Завдання. У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

знати базові знання з термодинаміки та здатність їх використовувати:

- при проектуванні теплотехнологічного та теплоенергетичного устаткування та обладнання;
- розрахунку характеристик, технологічних параметрів теплотехнологічного та теплоенергетичного обладнання, їх елементів та процесів, що в них відбуваються;
- розрахунках ефективності роботи, матеріального, теплового, енергетичного балансів основного теплоенергетичного обладнання та відповідних елементів теплотехнологічного та теплоенергетичного устаткування.

вміти:

- Визначати термічні параметри стану в термодинамічному процесі, зміну калоричних параметрів стану в термодинамічному процесі.

- Визначати місцеположення, величини і джерела термодинамічної неефективності в системі.
- Аналізувати основні термодинамічні характеристики стану і процесу за допомогою методів диференціального числення.
- Графічно зображувати процеси в термодинамічних координатах. Скласти енергобаланси процесів і аналізувати належність процесу до певної групи.
- Використовувати таблиці, діаграми та ЕОМ програми теплофізичних властивостей для розрахунку термодинамічних процесів.
- Розраховувати параметри процесів витікання, дроселювання, нагнітання та розширення без урахування і з урахуванням незворотності.
- Розраховувати параметри процесів стиснення та розширення газів в компресорах та детандерах. Враховувати вплив незворотності на ефективність процесів стиснення та розширення в компресорах та детандерах.
- Використовуючи діаграми вологого повітря виконувати аналітичні розрахунки для вологого повітря.
- Розраховувати параметри процесів в системах з фазовим перетворенням.
- Розраховувати параметри термодинамічних циклів теплових двигунів, холодильних установок та теплових насосів;
- Скласти матеріальні, енергетичні баланси та розраховувати величини потоків енергії, які входять в рівняння енергетичного балансу. Визначати незворотності та їх вплив на термодинамічну ефективність теплових процесів та теплових машин і відносні ККД обладнання з урахуванням незворотності процесів.

Програмні результати навчання. У результаті вивчення навчальної дисципліни студент буде здатен:

- демонструвати знання законів та постулатів технічної термодинаміки, описувати в математичних термінах закони термодинаміки, основні термодинамічні процеси, цикли теплових двигунів, теплових насосів та холодильних установок;
- вирішувати технічні проблеми, пов'язані з підвищенням ефективності роботи теплоенергетичного обладнання, розрахунком матеріального, теплового, енергетичного балансів, використовуючи відповідні джерела та бібліографію;
- розраховувати термічні та калоричні параметри газу, паро-рідинної суміші, рідини;
- розраховувати параметри термодинамічного процесу; визначати місцеположення, величини і джерела термодинамічної неефективності в теплоенергетичному обладнанні;
- розраховувати параметри циклів та ефективність теплових машин, теплових насосів та холодильних установок;
- розраховувати параметри термодинамічних процесів у вологому повітрі; вибирати та обґрунтовувати засоби підтримки необхідних параметрів вологого повітря.

Міждисциплінарні зв'язки: вища математика, фізика, хімія, тепло- масообмін, теорія робочих процесів теплових машин, теплотехнічні процеси і установки, фізико-технічні основи теплових процесів.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовний модуль 1. Концептуально-методологічний базис термодинаміки.

Тема 1. Термічні параметри стану. Основні термодинамічні процеси. Структура рівняння стану. Рівняння стану для ідеального газу. Теплоємність. Визначення теплоємності за молекулярно-кінетичною теорією. Суміші ідеальних газів. Калоричні параметри стану. Параметри процесу: робота і теплота, поняття теплоємності.

Тема 2. Перший закон термодинаміки для закритої системи. Дві форми запису першого закону термодинаміки. та за допомогою таблиць. Закон Джоуля. Рівняння Майера. Характеристичні функції. Рівняння Максвелла.

Тема 3. Формулювання другого закону термодинаміки. Цикл Карно. Теорема Карно. Ентропія і другий закон. Основна термодинамічна тотожність – об'єднання першого і другого законів термодинаміки.

Змістовий модуль № 2. Процеси у термомеханічних системах.

Тема 4. Алгоритм аналізу термодинамічного процесу. Ізохорний процес. Ізобарний процес. Ізотермічний процес. Адіабатний процес. Політропний процес і його узагальнююче значення. Основні групи термодинамічних процесів.

Тема 5. Рівняння першого закону термодинаміки для потоку. Повні параметри.

Тема 6. Рівноважна течія газу зі звершенням технічної роботи. Робота стиснення газу в ідеальних компресорах об'ємного і динамічного типу. Багатоступеневі компресори. Вентилятори і насоси. Термодинамічний аналіз ідеальних компресорів і детандерів. Вплив нерівноважності на процеси стиснення і розширення в компресорах і детандерах. Дійсна робота реальних компресорів і детандерів.

Тема 7. Процеси в дифузорах та соплах. Термодинамічний розрахунок витікання газу через звужуючий насадок. Криза течії. Швидкість звуку. Нерівноважна течія в каналах з раптовою зміною перерізу. Адіабатне дроселювання і його використання для підвищення або зниження температури газу. Диференційний та інтегральний дросель-ефекти. Термодинаміка процесу змішування в ємкості. Змішання і розділення потоків газу. Термодинамічний аналіз систем наддуву і витиснення, камер згоряння і рекуперативних теплообмінників.

Змістовий модуль № 3. Системи з фазовими переходами. Вологе повітря.

Тема 8. Особливості опису систем з фазовими переходами. Рівняння перерозподілу фаз. Правило фаз Гіббса. Фазові діаграми. Межові криві, критична точка. Тепловий ефект фазового переходу. Параметри фаз на межовій кривій. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Питомий об'єм, ентальпія та ентропія пари та рідини на межовій кривій. Двофазова зона. Ступінь сухості. Термодинамічні властивості недогрітої рідини. Обчислення ентальпії та ентропії. Теплоємність недогрітої рідини, вплив на неї температури і тиску. Термодинамічні властивості перегрітої пари. Ентальпія та ентропія перегрітої пари. Теплота перегріву. Залежність теплоємності перегрітої пари від тиску і температури. Таблиці та діаграми термодинамічних властивостей фаз. Вологе повітря. Калоричні властивості вологого повітря. I-d діаграма вологого повітря. Термодинамічні процеси у вологому повітрі.

Змістовий модуль №4. Цикли теплосилових установках та холодильних установок, теплових насосів

Тема 9. Теплова машина; визначення її структури з використанням першого і другого законів термодинаміки. Прямий і обернений цикли, тепловий двигун і тепловий насос. Вплив нерівноважності на ефективність циклів. Цикл Карно та його ККД. Методи порівняння рівноважних циклів. Цикли газотурбінних установок. Цикл Брайтона як основа робочого процесу ГТУ. Регенеративний цикл. ГТУ з проміжним охолодженням і підігрівом робочого тіла. ГТУ замкнутого циклу. Цикли газотурбінних авіаційних двигунів: турбореактивного, турбогвинтового, турбовального, двоконтурного, з форсажною камерою. Загальне правило одержання високоефективного циклу теплового двигуна. Індикаторна діаграма теплового двигуна періодичної дії; перехід від неї до термодинамічного аналогу. Цикли двигунів: Отто, Дизеля, Тринклера; їх ККД та співставлення. Цикли паротурбінних установок. Цикл Карно та його технічна реалізація. Цикл Ренкіна простий і з перегрівом пари. Вплив параметрів циклу та властивостей робочого тіла на ефективність циклу Ренкіна. Когенераційний цикл. Бінарні

цикли. Комбіновані газопаротурбінні установки. ГТУ у складі паротурбінної установки. ГТУ з впорскуванням води або пари. Утилізаційний цикл.

Тема 10. Загальні відомості про холодильні та тепло насосні установки. Цикли повітряної та парокомпресорної холодильних установок. Тепло насосні установки.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
Модуль 1					
Змістовний модуль 1. Концептуально-методологічний базис термодинаміки.					
Тема 1. Термічні параметри стану. Основні термодинамічні процеси. Структура рівняння стану. Рівняння стану для ідеального газу. Теплоємність. Визначення теплоємності за молекулярно-кінетичною теорією. Суміші ідеальних газів. Калоричні параметри стану. Параметри процесу: робота і теплота, поняття теплоємності.	24	6	2	12	4
Тема 2. Перший закон термодинаміки для закритої системи. Дві форми запису першого закону термодинаміки. та за допомогою таблиць. Закон Джоуля. Рівняння Майера. Характеристичні функції. Рівняння Максвелла.	23	4	1	12	6
Тема 3. Формулювання другого закону термодинаміки. Цикл Карно. Теорема Карно. Ентропія і другий закон. Основна термодинамічна тотожність – об'єднання першого і другого законів термодинаміки.	11	4	1		6
Модульний контроль	2	2			
Разом за змістовним модулем 1	60	16	4	24	16
Змістовний модуль № 2. Процеси у термомеханічних системах.					
Тема 4. Алгоритм аналізу термодинамічного процесу. Ізохорний процес. Ізобарний процес. Ізотермічний процес. Адіабатний процес. Політропний процес і його узагальнююче значення. Основні групи термодинамічних процесів.	15	4	1		10
Тема 5. Рівняння першого закону термодинаміки для потоку. Повні параметри.	18	2	1		15
Тема 6. Рівноважна течія газу зі звершенням технічної роботи. Робота стиснення газу в ідеальних компресорах об'ємного і динамічного типу. Багатоступеневі компресори. Вентилятори та насоси. Термодинамічний аналіз ідеальних компресорів, детандерів. Вплив нерівноважності на процеси стиснення, розширення в компресорах і детандерах. Дійсна робота реальних компресорів і детандерів.	37	4	1	12	20
Тема 7. Процеси в дифузорах та соплах. Термодинамічний розрахунок витікання газу через звужуючий насадок. Криза течії. Швидкість звуку. Нерівноважна течія в каналах з раптовою зміною перерізу. Адіабатне дроселювання і його використання для підвищення або зниження температури	32	4	1	12	15

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
газу. Диференційний та інтегральний дросель-ефекти. Термодинаміка процесу змішування в ємкості. Змішання і розділення потоків газу. Термодинамічний аналіз систем наддуву і витиснення, камер згоряння і рекуперативних теплообмінників.					
Модульний контроль	2	2			
Індивідуальне завдання	16				16
Разом за змістовним модулем 2	120	16	4	24	76
Змістовий модуль № 3. Системи з фазовими переходами. Вологе повітря.					
Тема 8. Особливості опису систем з фазовими переходами. Рівняння перерозподілу фаз. Правило фаз Гіббса. Фазові діаграми. Межові криві, критична точка. Тепловий ефект фазового переходу. Параметри фаз на межовій кривій. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Питомий об'єм, ентальпія та ентропія пари та рідини на межовій кривій. Двофазова зона. Ступінь сухості. Термодинамічні властивості недогрітої рідини. Обчислення ентальпії та ентропії. Теплоємність недогрітої рідини, вплив на неї температури і тиску. Термодинамічні властивості перегрітої пари. Ентальпія та ентропія перегрітої пари. Теплота перегріву. Залежність теплоємності перегрітої пари від тиску і температури. Таблиці та діаграми термодинамічних властивостей фаз. Вологе повітря. Калоричні властивості вологого повітря. I-d діаграма вологого повітря. Термодинамічні процеси у вологому повітрі.	48	8	2		38
Модульний контроль	2	2			
Разом за змістовним модулем 3	50	10	2	0	38
Змістовний модуль №4. Цикли теплосилових установках та холодильних установок, теплових насосів.					
Тема 9. Теплова машина; визначення її структури з використанням першого і другого законів термодинаміки. Прямий і обернений цикли, тепловий двигун і тепловий насос. Вплив нерівноважності на ефективність циклів. Цикл Карно та його ККД. Методи порівняння рівноважних циклів. Цикли газотурбінних установок. Цикл Брайтона як основа робочого процесу ГТУ. Регенеративний цикл. ГТУ з проміжним охолодженням і підігрівом робочого тіла. ГТУ замкненого циклу. Цикли газотурбінних авіаційних двигунів: турбореактивного, турбогвинтового, турбовального, двоконтурного, з форсажною камерою. Загальне правило одержання високоефективного циклу теплового двигуна. Індикаторна діаграма теплового двигуна періодичної дії; перехід від неї до термодинамічного аналогу. Цикли двигунів: Отто, Дизеля, Тринклера; їх ККД та співставлення.	38	14	4		20

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
Цикли паротурбінних установок. Цикл Карно та його технічна реалізація. Цикл Ренкіна простий і з перегрівом пари. Вплив параметрів циклу та властивостей робочого тіла на ефективність циклу Ренкіна. Когенераційний цикл. Бінарні цикли. Комбіновані газопаротурбінні установки. ГТУ у складі паротурбінної установки. ГТУ з впорскуванням води або пари. Утилізаційний цикл.					
Тема 10. Загальні відомості про холодильні та тепло насосні установки. Цикли повітряної та парокомпресорної холодильних установок. Тепло насосні установки.	24	6	2		16
Модульний контроль	2	2			
Індивідуальне завдання	16				16
Разом за змістовним модулем 4	80	22	6	0	52
Усього годин	300	64	16	48	172

5. Теми семінарських занять

Навчальним планом не передбачені

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Термічні параметри стану. Основні термодинамічні процеси. Структура рівняння стану. Рівняння стану для ідеального газу. Суміші ідеальних газів. Калоричні параметри стану. Параметри процесу: робота і теплота, поняття теплоємності.	2
2.	Перший закон термодинаміки для закритої системи. Дві форми запису першого закону термодинаміки. Теплоємність. Визначення теплоємності за молекулярно-кінетичною теорією. Теплоємність суміші газів. Закон Джоуля. Рівняння Майера. Характеристичні функції. Рівняння Максвелла.	1
3.	Формулювання другого закону термодинаміки. Цикл Карно. Теорема Карно. Ентропія і другий закон. Основна термодинамічна тотожність – об'єднання першого і другого законів термодинаміки.	1
4.	Алгоритм аналізу термодинамічного процесу. Ізохорний процес. Ізобарний процес. Ізотермічний процес. Адіабатний процес. Політропний процес і його узагальнююче значення. Основні групи термодинамічних процесів.	1
5.	Рівняння першого закону термодинаміки для потоку. Повні параметри.	1
6.	Рівноважна течія газу зі звершенням технічної роботи. Робота стиснення газу в ідеальних компресорах об'ємного і динамічного типу. Багатоступеневі компресори. Вентилятори та насоси. Термодинамічний аналіз ідеальних компресорів,	1

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	детандерів. Вплив нерівноважності на процеси стиснення, розширення в компресорах і детандерах. Дійсна робота реальних компресорів і детандерів.	
7.	Процеси в дифузорах та соплах. Термодинамічний розрахунок витікання газу через звужуючий насадок. Криза течії. Швидкість звуку. Нерівноважна течія в каналах з раптовою зміною перерізу. Адіабатне дроселювання і його використання для підвищення або зниження температури газу. Диференційний та інтегральний дросель-ефекти. Термодинаміка процесу змішування в ємкості. Змішання і розділення потоків газу. Термодинамічний аналіз систем наддуву і витиснення, камер згоряння і рекуперативних теплообмінників.	1
8.	Особливості опису систем з фазовими переходами. Рівняння перерозподілу фаз. Правило фаз Гіббса. Фазові діаграми. Межові криві, критична точка. Тепловий ефект фазового переходу. Параметри фаз на межовій кривій. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Питомий об'єм, ентальпія та ентропія пари та рідини на межовій кривій. Двофазова зона. Ступінь сухості. Термодинамічні властивості недогрітої рідини. Обчислення ентальпії та ентропії. Теплоємність недогрітої рідини, вплив на неї температури і тиску. Термодинамічні властивості перегрітої пари. Ентальпія та ентропія перегрітої пари. Теплоперегріву. Залежність теплоємності перегрітої пари від тиску і температури. Таблиці та діаграми термодинамічних властивостей фаз. Вологе повітря. Калоричні властивості вологого повітря. I-d діаграма вологого повітря. Термодинамічні процеси у вологому повітрі.	2
9.	Теплова машина; визначення її структури з використанням першого і другого законів термодинаміки. Прямий і обернений цикли, тепловий двигун і тепловий насос. Вплив нерівноважності на ефективність циклів. Цикл Карно та його ККД. Методи порівняння рівноважних циклів. Цикли газотурбінних установок. Цикл Брайтона як основа робочого процесу ГТУ. Регенеративний цикл. ГТУ з проміжним охолодженням і підігрівом робочого тіла. ГТУ замкнутого циклу. Цикли газотурбінних авіаційних двигунів: турбореактивного, турбогвинтового, турбовального, двоконтурного, з форсажною камерою. Загальне правило одержання високоефективного циклу теплового двигуна. Індикаторна діаграма теплового двигуна періодичної дії; перехід від неї до термодинамічного аналогу. Цикли двигунів: Отто, Дизеля, Тринклера; їх ККД та співставлення. Цикли паротурбінних установок. Цикл Карно та його технічна реалізація. Цикл Ренкіна простий і з перегрівом пари. Вплив параметрів циклу та властивостей робочого тіла на ефективність циклу Ренкіна. Когенераційний цикл. Бінарні цикли. Комбіновані газопаротурбінні установки. ГТУ у складі паротурбінної установки. ГТУ з впорскуванням води або пари. Утилізаційний цикл.	4
10.	Загальні відомості про холодильні та тепло насосні установки. Цикли повітряної та парокомпресорної холодильних установок. Тепло насосні установки. Ексергія – міра якості енергоресурсів. Вплив необоротності на втрати ексергії.	2
Разом:		16

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Ізотермне стиснення вуглекислого газу.	4

2.	Аналіз продуктів згоряння як суміші ідеальних газів	6
3.	Визначення повноти згоряння палива в камері згоряння.	6
4.	Заповнення вакуумованого резервуару.	4
5.	Процеси в резервуарі, звідки витікає газ.	4
6.	Стиснення повітря в циліндрі поршневого двигуна.	6
7.	Енергобаланс вихрової труби.	6
8.	Технічна робота потоку газу в турбіні.	4
9.	Технічна робота потоку газу в компресорі.	4
10.	Енергобаланс в турбохолодильнику	4
Разом:		48

8. Самостійна робота

Назва теми	Кількість годин
Термічні параметри стану. Основні термодинамічні процеси. Структура рівняння стану. Рівняння стану для ідеального газу. Теплоємність. Визначення теплоємності за молекулярно-кінетичною теорією. Суміші ідеальних газів. Калоричні параметри стану. Параметри процесу: робота і теплота, поняття теплоємності.	4
Перший закон термодинаміки для закритої системи. Дві форми запису першого закону термодинаміки. та за допомогою таблиць. Закон Джоуля. Рівняння Майера. Характеристичні функції. Рівняння Максвелла.	3
Формулювання другого закону термодинаміки. Цикл Карно. Теореми Карно. Ентропія і другий закон. Основна термодинамічна тотожність – об'єднання першого і другого законів термодинаміки.	3
Алгоритм аналізу термодинамічного процесу. Ізохорний процес. Ізобарний процес. Ізотермічний процес. Адіабатний процес. Політропний процес і його узагальнююче значення. Основні групи термодинамічних процесів.	5
Рівняння першого закону термодинаміки для потоку. Повні параметри.	15
Рівноважна течія газу зі звершенням технічної роботи. Робота стиснення газу в ідеальних компресорах об'ємного і динамічного типу. Багатоступеневі компресори. Вентилятори і насоси. Термодинамічний аналіз ідеальних компресорів і детандерів. Вплив нерівноважності на процеси стиснення і розширення в компресорах і детандерах. Дійсна робота реальних компресорів і детандерів.	15
Процеси в дифузорах та соплах. Термодинамічний розрахунок витікання газу через звужуючий насадок. Криза течії. Швидкість звуку. Нерівноважна течія в каналах з раптовою зміною перерізу. Адіабатне дроселювання і його використання для підвищення або зниження температури газу. Диференційний та інтегральний дросель-ефекти. Термодинаміка процесу змішування в ємкості. Змішання і розділення потоків газу. Термодинамічний аналіз систем наддуву і витиснення, камер згоряння і рекуперативних теплообмінників.	15
Особливості опису систем з фазовими переходами. Рівняння перерозподілу фаз. Правило фаз Гіббса. Фазові діаграми. Межові криві, критична точка. Тепловий ефект фазового переходу. Параметри фаз на межовій кривій. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Питомий об'єм, ентальпія та ентропія пари та рідини на межовій кривій. Двофазова зона. Ступінь сухості. Термодинамічні властивості недогрітої рідини. Обчислення ентальпії та ентропії. Теплоємність недогрітої рідини, вплив на неї температури і тиску. Термодинамічні властивості перегрітої пари. Ентальпія та ентропія перегрітої пари. Теплота перегріву. Залежність теплоємності перегрітої	28

Назва теми	Кількість годин
пари від тиску і температури. Таблиці та діаграми термодинамічних властивостей фаз. Вологе повітря. Калоричні властивості вологого повітря. I-d діаграма вологого повітря. Термодинамічні процеси у вологому повітрі.	
Теплова машина; визначення її структури з використанням першого і другого законів термодинаміки. Прямий і обернений цикли, тепловий двигун і тепловий насос. Вплив нерівноважності на ефективність циклів. Цикл Карно та його ККД. Методи порівняння рівноважних циклів. Цикли газотурбінних установок. Цикл Брайтона як основа робочого процесу ГТУ. Регенеративний цикл. ГТУ з проміжним охолодженням і підігрівом робочого тіла. ГТУ замкненого циклу. Цикли газотурбінних авіаційних двигунів: турбореактивного, турбогвинтового, турбовального, двоконтурного, з форсажною камерою. Загальне правило одержання вискоефективного циклу теплового двигуна. Індикаторна діаграма теплового двигуна періодичної дії; перехід від неї до термодинамічного аналогу. Цикли двигунів: Отто, Дизеля, Тринклера; їх ККД та співставлення. Цикли паротурбінних установок. Цикл Карно та його технічна реалізація. Цикл Ренкіна простий і з перегрівом пари. Вплив параметрів циклу та властивостей робочого тіла на ефективність циклу Ренкіна. Когенераційний цикл. Бінарні цикли. Комбіновані газопаротурбінні установки. ГТУ у складі паротурбінної установки. ГТУ з впорскуванням води або пари. Утилізаційний цикл.	20
Загальні відомості про холодильні та тепло насосні установки. Цикли повітряної та парокомпресорної холодильних установок. Тепло насосні установки. Ексергія – міра якості енергоресурсів. Вплив необоротності на втрати ексергії.	6

9. Індивідуальні завдання.

Учебний план передбачає виконання в якості індивідуального завдання 2 розрахункових робіт. Витрати часу на їх виконання складають 10 та 18 годин відповідно за рахунок обсягу самостійної роботи. Результати виконання робіт студент подає у вигляді пояснювальних записок обсягом біля 10...15 сторінок.

В першій розрахунковій роботі студенти обчислюють термодинамічні параметри суміші продуктів згоряння палива та окиснювача ракетного двигуна.

Вхідні дані: тиск, температура, об'ємні долі продуктів згоряння. Треба визначити: газову сталу, показник ізоентропи, густину, питомий об'єм, молекулярну масу продуктів згоряння.

Роботу виконують протягом четвертого-восьмого тижнів третього семестру; на дев'ятий тиждень призначений її прийом. Бали за розрахункову роботу нараховують згідно якості та своєчасності її виконання.

Друга розрахункова робота має на меті закріпити відповідні теоретичні знання і одержати необхідні навички практичних розрахунків з дисципліни. З огляду на майбутній фах темою розрахункових робіт є термодинамічний аналіз циклу турбореактивного двигуна.

Оскільки дисципліна «Технічна термодинаміка» розглядає робочі процеси теплових машин та їх вузлів у ідеальному варіанті здійснення, в згаданій роботі усі розрахунки виконують відповідно до оборотних (рівноважних) процесів і станів.

В розрахунковій роботі студенти виконують термодинамічний розрахунок турбореактивного двигуна.

Вхідні дані: параметри оточуючого середовища, швидкість потоку повітря, повна температура на вході в турбіну, масова витрата повітря.

Розглядаються повні параметри. Треба визначити оптимальну ступінь стиснення в компресорі, що забезпечує максимальну роботу двигуна; для визначеної оптимальної ступені стиснення в компресорі обчислити термічні та калоричні параметри в характерних розтинах двигуна та побудувати цикли в $p-v$, $T-s$, $i-s$ координатах для повністю зворотних процесів та процесів з урахуванням втрат (незворотних). Також розраховуються інтегральні параметри двигуна з зворотними та незворотними процесами.

Роботу виконують протягом десятого-чотирнадцятого тижнів четвертого семестру; на п'ятнадцятий тиждень призначений її прийом. Бали за розрахункову роботу нараховують згідно якості та своєчасності її виконання.

10. Методи навчання

Навчання проводиться в словесній та практичній формах на лекціях, практичних та лабораторних роботах.

11. Методи контролю

Контроль виконується у вигляді поточного семестрового контролю під час здачі змістовних модулів, лабораторних робіт, розрахункових робіт.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Семестр №3

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекціях	0...0,5	8	0...4
Виконання і захист лабораторних робіт	1...4	3	3...12
Модульний контроль	20...30	1	20...30
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...0,5	8	0...4
Модульний контроль	25...35	1	25...35

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Виконання і захист РР	12...15	1	12...15
Усього за семестр			60...100

Семестр №4

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 3			
Робота на лекціях	0...0,5	6	0...3
Виконання і захист лабораторних робіт	1...4	4	4...16
Модульний контроль	21...25	1	21...25
Змістовний модуль 4			
Робота на лекціях	0...0,5	10	0...5
Модульний контроль	20...24	1	20...24
Виконання і захист лабораторних робіт	1...4	3	3...12
Виконання і захист РР	12...15	1	12...15
Усього за семестр			60...100

За виконання лабораторних робіт студент в залежності від оцінки отримує від 1 до 4 балів.

За розрахункову роботу студент в залежності від якості виконання роботи та відповідей на запитання у усній формі отримує наступні оцінки:

- «задовільно» - робота виконана та оформлена, студент відповідає на питання, які відносяться до роботи з помилками, але логіка відповідей правильна – 12 балів.
- «добре» - робота виконана та оформлена, студент відповідає на питання з незначними помилками- 13 балів.
- «відмінно» - робота виконана та оформлена, студент відповідає на питання - 15 балів.

Семестровий контроль (іспит/залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту/заліку.

Допуском до іспиту/заліку є здача усіх лабораторних робіт та розрахункової роботи.

Під час складання семестрового іспиту/заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту/заліку складається з 4 теоретичних, у відповідності до модуля, та двох практичних завдань. Максимальна сума балів за теоретичні запитання є 60, за практичні – 40 балів.

12.2. Якісні критерії оцінювання

Для отримання позитивної оцінки студент повинен отримати знання, які дозволять розробляти змістові та математичні моделі термодинамічних процесів в теплоенергетичних об'єктах.

Студент повинен вміти:

- Визначати термічні параметри стану в термодинамічному процесі, зміну калоричних параметрів стану в термодинамічному процесі.
- Визначати місцеположення, величини і джерела термодинамічної неефективності в системі.
- Аналізувати основні термодинамічні характеристики стану і процесу за допомогою методів диференціального числення.
- Графічно зображувати процеси в термодинамічних координатах. Скласти енергобаланси процесів і аналізувати належність процесу до певної групи.
- Використовувати таблиці, діаграми та ЕОМ програми теплофізичних властивостей для розрахунку термодинамічних процесів.
- Розраховувати параметри процесів витікання, дроселювання, нагнітання та розширення без урахування і з урахуванням незворотності.
- Розраховувати параметри процесів стиснення та розширення газів в компресорах та детандерах. Враховувати вплив незворотності на ефективність процесів стиснення та розширення в компресорах та детандерах.
- Скласти матеріальні, енергетичні баланси та розраховувати величини потоків енергії, які входять в рівняння енергетичного балансу. Визначати незворотності та їх вплив на термодинамічну ефективність теплових процесів та теплових машин і відносні ККД обладнання з урахуванням незворотності процесів.
- Використовуючи діаграми вологого повітря виконувати аналітичні розрахунки для вологого повітря.
- Розраховувати параметри процесів в системах з фазовим перетворенням.
- Розраховувати параметри термодинамічних циклів теплових двигунів, холодильних установок та теплових насосів;
- Скласти матеріальні, енергетичні баланси та розраховувати величини потоків енергії, які входять в рівняння енергетичного балансу. Визначати незворотності та їх вплив на термодинамічну ефективність теплових процесів та теплових машин і відносні ККД обладнання з урахуванням незворотності процесів.

12.3. Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Семестр №3

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Здати лабораторні роботи, захистити розрахункову роботу та здати тестування.

Знати термічні параметри стану, основні термодинамічні процеси, рівняння стану для ідеального газу, суміші ідеальних газів, калоричні параметри стану, параметри процесу (робота і теплота, теплоємності), перший закон термодинаміки для закритої системи, рівняння Майера, цикл Карно, алгоритм аналізу термодинамічного процесу, рівняння першого закону термодинаміки для потоку, повні параметри, термодинамічний аналіз компресорів і детандерів, дійсна робота компресорів і детандерів, термодинамічний розрахунок витікання газу, швидкість звуку, диференціальний та інтегральний дросель-ефекти.

Уміти: визначати термічні та калоричні параметри стану, розраховувати основні термодинамічні характеристики процесу, графічно зображувати процеси в термодинамічних координатах, розраховувати параметри процесу витікання, стиснення та розширення газів в

компресорах та детандерах, визначати відносні ККД обладнання з урахуванням незворотності процесів.

Добре (75-89). Твердо знати мінімум. Здати лабораторні роботи, захистити розрахункову роботу та здати тестування. Уміти: визначати місцеположення, величини і джерела термодинамічної неефективності, використовувати таблиці, діаграми теплофізичних властивостей для розрахунку термодинамічних процесів, розраховувати параметри суміші ідеальних газів, параметри реальних газів.

Відмінно (90-100). Здати всі контрольні точки з оцінкою «відмінно». Досконально знати всі теми та уміти застосовувати їх.

Семестр №4

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Здати лабораторні роботи, захистити розрахункову роботу та здати тестування.

Знати правило фаз Гіббса, рівняння Клапейрона-Клаузіуса, термічні та калоричні параметри двофазової зони. властивості вологого повітря, I-d діаграма вологого повітря, термодинамічні процеси у вологому повітрі, цикл Брайтона, цикли Отто, Дизеля, Тринклера, їх ККД та співставлення, цикли паротурбінних установок, цикли повітряної та парокомпресорної холодильних установок.

Уміти: виконувати розрахунки процесів у вологому повітрі, у системах з фазовим перетворенням, розраховувати параметри термодинамічних циклів теплових двигунів, холодильних установок та теплових насосів;

Добре (75-89). Твердо знати мінімум. Здати лабораторні роботи, захистити розрахункову роботу та здати тестування. Уміти: скласти матеріальні, енергетичні баланси та розраховувати величини потоків енергії, які входять в рівняння енергетичного балансу, визначати ККД обладнання з урахуванням незворотності процесів.

Відмінно (90-100). Здати всі контрольні точки з оцінкою «відмінно». Досконально знати всі теми та уміти застосовувати їх.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

13. Методичне забезпечення

1. Блинков В.Н., Горбенко Г.А., Костиков А.О. Теоретические основы аэрокосмической теплотехники. Часть 1: Основы термодинамики объектов аэрокосмической техники. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2003. – 94 с.

2. Техническая термодинамика. Уч. пособие по лабор. практикуму /Беспятов М.А. и др. Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1990 – 80 с.
3. Горбенко Г.А., Костиков О.Н., Селиванов В.Г. Первичный термодинамический анализ рабочих процессов в энергетических установках и системах летательных аппаратов. Уч. пособие. Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1995 – 68 с.
4. Техническая термодинамика: Учеб. пособие/ М. А. Беспятов, К. Ф. Нечитайло, В. Г. Селиванов, В. Л. Симбирский, С. Д. Фролов. – Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1990. – 82 с.
5. Амброжевич М. В. Сборник задач по технической термодинамике / М. В. Амброжевич, К. С. Епифанов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», – 2010. Ч. 1. – 90 с.

14. Рекомендована література.

Базова

1. Техническая термодинамика /Под ред. В.И. Крутова. М.: Высшая школа, 1991 – 384 с.
2. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. М.: Энергия, 1983 – 385 с.
3. Беляев Н.М. Термодинамика. Киев: Вища школа, 1987 – 344 с.
4. Рабинович О. М. Сборник задач по технической термодинамике. М.: «Машиностроение», 1969 – 376 с.

Допоміжна

5. Исаев С.И. Курс химической термодинамики. – М.: Машиностроение, 1986.

15. Інформаційні ресурси

www.k205.khai.edu

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Технічна термодинаміка

галузь знань: 14 «Електрична інженерія»

спеціальність: 144 «Теплоенергетика»

1. Охарактеризуйте сутність феноменологічного підходу термодинаміки.
2. Що таке термодинамічна система? Вкажіть як класифікуються термодинамічні системи.
3. Дайте визначення термічним параметрам стану: температура, тиск, об'єм.
4. Сформулюйте нульовий та перший постулат термодинаміки.
5. Дайте визначення термодинамічного процесу. Що таке зворотній та незворотній, рівноважний та нерівноважний термодинамічний процес? В чому відмінність термодинамічного циклу від зворотного процесу?
6. Дайте визначення потенціалу та координаті взаємодії термодинамічної системи з оточуючим середовищем.
7. Охарактеризуйте структуру рівняння стану.
8. Вкажіть припущення, при виконанні яких газ можна вважати ідеальним.
9. Виведіть рівняння стану ідеального газу виходячи з законів Бойля-Маріотта та Гей-Люссака.
10. Охарактеризуйте універсальну газову сталу. Як вона визначається, виходячи з закону Авогадро?

11. Що таке газова стала газу? Як вона розраховується?
12. Вкажіть форми запису рівняння стану ідеального газу.
13. Вкажіть параметри, які характеризують кількісний склад суміші ідеальних газів.
14. Охарактеризуйте поняття парціальний тиск та парціальний об'єм.
15. Дайте визначення законів Амага та Дальтона.
16. Приведіть співвідношення для розрахунку удаваної молекулярної маси, масової, об'ємної та мольної долі компонентів суміші, парціального тиску.
17. Охарактеризуйте калоричні параметри стану. Дайте їх визначення.
18. Що таке інтенсивні та екстенсивні параметри? Який між ними взаємозв'язок?
19. Дайте визначення теплоти, деформаційної роботи, корисної зовнішньої роботи, технічної роботи.
20. Охарактеризуйте поняття теплоємності. Вкажіть види теплоємності, що використовуються на практиці. Вкажіть зв'язок між масовою, мольною та об'ємною теплоємністю.
21. Охарактеризуйте види взаємодії термодинамічної системи з оточуючим середовищем.
22. Дайте розрахункові співвідношення для деформаційної, термічної, витратної та хімічної взаємодії.
23. Запишіть та охарактеризуйте перший закон термодинаміки для закритої термодинамічної системи.
24. Запишіть та охарактеризуйте основне рівняння термодинаміки.
25. Запишіть базові форми основного рівняння термодинаміки.
26. Як визначається ізобарна та ізохорна теплоємність на базі основного рівняння термодинаміки?
27. Як визначається ізохорна та ізобарна теплоємність ідеального газу на основі молекулярно-кінетичної теорії?
28. Як розрахувати теплоємність суміші ідеальних газів?
29. Охарактеризуйте закон Джоуля. Для яких газів він виконується?
30. Виведіть рівняння Майера.
31. Дайте формулювання другого закону термодинаміки згідно Клаузіуса та Томсона-Планка.
32. Охарактеризуйте прямий та обернений цикл Карно.
33. Виведіть рівняння к.к.д. прямого циклу Карно. Виведіть холодильний коефіцієнт оберненого циклу Карно.
34. Дайте визначення ентропії та перерахуйте її властивості.
35. Як змінюється ентропія в зворотніх та незворотніх процесах? Наведіть приклади.
36. Запишіть та охарактеризуйте основну термодинамічну тотожність.
37. Охарактеризуйте характеристичні функції. Перерахуйте їхні властивості.
38. Запишіть рівняння Максвела.
39. Запишіть диференціальні рівняння внутрішньої енергії, ентальпії.
40. Запишіть диференціальні рівняння ентропії.
41. Вкажіть основні етапи алгоритму аналізу термодинамічних процесів.
42. Запишіть рівняння та основні співвідношення для розрахунку зміни параметрів, роботи, теплоти, теплоємності для ізохорного процесу.
43. Запишіть рівняння та основні співвідношення для розрахунку зміни параметрів, роботи, теплоти, теплоємності для ізобарного процесу.
44. Запишіть рівняння та основні співвідношення для розрахунку зміни параметрів, роботи, теплоти, теплоємності для ізотермічного процесу.
45. Запишіть рівняння та основні співвідношення для розрахунку зміни параметрів, роботи, теплоти, теплоємності для адіабатного процесу.
46. Виведіть рівняння політропного процесу.
47. Виведіть рівняння для розрахунку зміни параметрів політропного процесу: внутрішньої енергії, ентальпії, ентропії, деформаційної роботи, корисної зовнішньої роботи, теплоємності, теплоти.
48. Наведіть основні групи термодинамічних процесів та охарактеризуйте їх.

49. Запишіть рівняння першого закону термодинаміки для потоку.
50. Запишіть механічну форму запису першого закону термодинаміки для потоку.
51. Охарактеризуйте поняття повної температури (температури загальмованого потоку).
52. Охарактеризуйте поняття повного тиску (тиску загальмованого потоку).
53. Запишіть рівняння першого закону термодинаміки для потоку через повні параметри.
54. Охарактеризуйте типи компресорів.
55. Визначте та обґрунтуйте найбільш ефективний процес стиснення газу в компресорі.
56. Визначте та обґрунтуйте найбільш ефективний процес розширення газу в детандері.
57. Як розраховується робота компресора для політропного, ізохорного, ізотермічного та ізоентропного процесів стиснення?
58. Як розраховується робота детандера для політропного, ізохорного, ізотермічного та ізоентропного процесів розширення?
59. Як розраховується робота компресора для ізоентропного процесу стиснення з використанням повних параметрів?
60. Як розраховується робота детандера для ізоентропного процесів розширення використанням повних параметрів?
61. Як впливає нерівноважність на процеси стиснення в компресорі та розширення в детандері? Як враховується цей вплив? Проілюструвати з використанням $i-s$ діаграми стану.
62. Що таке відносний внутрішній к.к.д. компресора?
63. Що таке відносний внутрішній к.к.д. турбіни?
64. Рівняння першого закону термодинаміки для рівноважної течії газу без звершення технічної роботи. Механічна форма запису першого закону термодинаміки для рівноважної течії газу без звершення технічної роботи.
65. Рівняння першого закону термодинаміки для рівноважної течії газу без звершення технічної роботи з використанням повних параметрів.
66. Термодинамічний аналіз ідеального дифузора та сопла.
67. Криза витікання. Швидкість звуку.
68. Визначте та обґрунтуйте найбільш ефективний процес стиснення газу в дифузорі.
69. Визначте та обґрунтуйте найбільш ефективний процес розширення газу в соплі.
70. Як розраховується тиск на виході із дифузора для політропного, ізохорного, ізотермічного та ізоентропного процесів стиснення?
71. Як розраховується швидкість витікання для політропного, ізохорного, ізотермічного та ізоентропного процесів розширення в соплі?
72. Як розраховуються параметри дифузора для ізоентропного процесу стиснення з використанням повних параметрів? Що таке коефіцієнт відновлення повного тиску дифузора?
73. Як розраховується параметри сопла для ізоентропного процесів розширення використанням повних параметрів? Що таке коефіцієнт швидкості сопла?
74. Охарактеризуйте особливості нерівноважної течії в каналах з раптовою зміною перерізу.
75. Охарактеризуйте дросель-ефект та його використання для підвищення або зниження температури.
76. Що таке коефіцієнт Джоуля-Томсона, як він розраховується?
77. Що таке крива інверсії?
78. Як розраховується зниження температури під час ізоентропного розширення? Порівняйте зміну температури при адіабатному дроселюванні та при ізоентропному розширенні.
79. Виконайте термодинамічний аналіз процесів змішування в ємкості, змішуванні та розділенні потоків газу, систем наддуву і витіснення, камер згоряння та рекуперативних теплообмінників.
80. Ознайомитися з рівнянням стану Ван-дер-Ваальса.
81. Ознайомитися з рівнянням стану з використанням коефіцієнта стиснення.
82. Обґрунтуйте необхідність введення в розгляд поняття ентропії.
83. Охарактеризуйте внутрішню енергію плазми.

84. Як розраховуються параметри стану плазми?
85. Охарактеризуйте діаграми стану плазми.
86. Наведіть співвідношення для розрахунку повної ентальпії, повної температури, повного тиску.
87. Що характеризує повна ентальпія, повний тиск?
88. Що таке сопло Лавалю?
89. Дайте визначення термодинамічної системи з фазовими переходами. Що таке фаза?
90. Сформулюйте правило фаз Гіббса. Наведіть приклади використання правила фаз Гіббса.
91. Які існують види фазових діаграм? Зобразіть основні ізолії на фазових діаграмах.
92. В чому сутність теплового ефекту фазового переходу?
93. Охарактеризуйте та обґрунтуйте умови рівноваги двофазної системи.
94. Виведіть рівняння Клапейрона-Клаузіуса.
95. Охарактеризуйте ізолії в двофазній області.
96. Що таке ступінь сухості? Як визначаються термодинамічні параметри в двофазній області?
97. Як визначаються термодинамічні властивості рідини та пари?
98. Наведіть співвідношення для розрахунку ентальпії та ентропії речовин.
99. Запишіть та охарактеризуйте рівняння для розрахунку теплоємності речовин.
100. Від чого залежать теплоємність?
101. Вкажіть параметри, які характеризують кількісний склад вологого повітря. Приведіть розрахункові співвідношення для розрахунку цих параметрів.
102. Виведіть співвідношення для розрахунку ентальпії вологого повітря.
103. Охарактеризуйте ізолії на $I-d$ діаграмі вологого повітря.
104. Вкажіть та охарактеризуйте основні термодинамічні процеси на $I-d$ діаграмі вологого повітря, охарактеризуйте ці процеси.
105. Охарактеризуйте структуру теплової машини з використанням 1-го та 2-го законів термодинаміки.
106. Дайте визначення прямого та оберненого циклу. Як вони використовуються в термодинаміці?
107. Які показники ефективності використовуються в теплових машинах, в холодильних установках, теплових насосах?
108. Охарактеризуйте цикл Карно. Виведіть співвідношення для показників ефективності циклу Карно.
109. Вкажіть та охарактеризуйте методи порівняння к.к.д. термодинамічних циклів.
110. Охарактеризуйте цикл Брайтона, виведіть співвідношення для його к.к.д.
111. Виведіть вираз для розрахунку к.к.д. циклу Гемфри. Порівняйте ефективність ГТУ з циклом Гемфри та з циклом Брайтона.
112. Як реалізується регенерація теплоти в ГТУ? Як враховується вплив регенерації на к.к.д. ГТУ?
113. Наведіть цикли газотурбінних двигунів, ракетних двигунів.
114. Вкажіть загальні правила отримання високоефективного циклу теплового двигуна.
115. Зобразіть індикаторну діаграму теплового двигуна періодичної дії та вкажіть як реалізується перехід від неї до її термодинамічного аналогу.
116. Охарактеризуйте цикл Отто та виведіть вираз для розрахунку його к.к.д.
117. Охарактеризуйте цикл Дизеля та виведіть вираз для розрахунку його к.к.д.
118. Охарактеризуйте цикл Тринклера та виведіть вираз для розрахунку його к.к.д.
119. Проведіть співставлення к.к.д. циклів Отто, Дизеля, Тринклера з використанням діаграм стану.
120. Виведіть вираз для к.к.д. паротурбінної установки з циклом Карно.
121. Виведіть вираз для к.к.д. простого циклу Ренкіна.
122. Вкажіть переваги та недоліки циклу Ренкіна з перегрівом пари у порівнянні з простим циклом Ренкіна.
123. Виведіть співвідношення для розрахунку к.к.д. циклу Ренкіна з перегрівом пари.
124. Обґрунтуйте вплив параметрів циклу Ренкіна з перегрівом пари та параметрів робочого тіла на ефективність циклу.

125. Охарактеризуйте когенераційні цикли, наведіть принципову схему, та вираз для розрахунку к.к.д.
126. Охарактеризуйте бінарні цикли, наведіть принципову схему, та вираз для розрахунку к.к.д.
127. Охарактеризуйте комбіновані газопаротурбінні установки, наведіть принципову схему, та вираз для розрахунку к.к.д.
128. Охарактеризуйте газотурбінні установки у складі паротурбінної установки, наведіть принципову схему, та вираз для розрахунку к.к.д.
129. Як впливає впорскування води або пари на ефективність циклу? обґрунтуйте цей вплив.
130. Охарактеризуйте утилізаційний цикл: де він застосовується.
131. Охарактеризуйте обернений термодинамічний цикл та обґрунтуйте його застосування в холодильних та теплонасосних установках з урахуванням 2-го закону термодинаміки.
132. Наведіть показники ефективності холодильних та теплонасосних установок.
133. Наведіть показники ефективності холодильних та теплонасосних установок з циклом Карно.
134. Охарактеризуйте обернений термодинамічний цикл та обґрунтуйте його застосування в холодильних та теплонасосних установках з урахуванням 2-го закону термодинаміки.
135. Наведіть показники ефективності холодильних та теплонасосних установок.
136. Наведіть показники ефективності холодильних та теплонасосних установок з циклом Карно.
137. Охарактеризуйте термодинамічний цикл пароежекторної холодильної машини.
138. Наведіть принцип дії абсорбційної холодильної машини.