

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

Кафедра \_\_\_\_\_ аерокосмічної теплотехніки \_\_\_\_\_ (№ 205 )

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Голова НМК



(підпис)

Шевцова М.А.

(ініціали та прізвище)

« 30 » серпня 2019 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОBOB'ЯЗКОВОЇ  
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**Термодинаміка і теплообмін**

(назва навчальної дисципліни)

**Галузь знань:** 13 «Механічна інженерія», 14 «Електрична інженерія»  
(шифр і найменування галузі знань)

**Спеціальність:** 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування»,  
134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка», 142 «Енергетичне машинобудування»  
(код і найменування спеціальності)

**Освітня програма:** «Роботомеханічні системи та логістичні комплекси»,  
«Комп'ютерний інжиніринг», «Проектування та виробництво композитних  
конструкцій», «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології  
виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок», «Експлуатаційна  
діагностика, технічне обслуговування та ремонт авіаційних двигунів та ЕУ»,  
«Безпілотні літальні комплекси», «Ракетні двигуни та енергетичні установки»,  
«Ракетні та космічні комплекси», «Супутники, двигуни та енергетичні установки»  
«Комп'ютерно-інтегроване управління в енергетиці», «Газотурбінні установки і  
компресорні станції», «Газотурбінні установки і компресорні станції (скорочена  
форма)»

(найменування освітньої програми)

**Форма навчання: денна**

**Рівень вищої освіти:**  
перший (бакалаврський)

**Харків 2019 рік**

Робоча програма Термодинаміка і теплообмін

(назва навчальної дисципліни)

для студентів за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 142 «Енергетичне машинобудування»

освітньою програмою «Роботомеханічні системи та логістичні комплекси», «Комп'ютерний інжиніринг», «Проектування та виробництво композитних конструкцій», «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок», «Експлуатаційна діагностика, технічне обслуговування та ремонт авіаційних двигунів та ЕУ», «Безпілотні літальні комплекси», «Ракетні двигуни та енергетичні установки», «Ракетні та космічні комплекси», «Супутники, двигуни та енергетичні установки» «Комп'ютерно-інтегроване управління в енергетиці», «Газотурбінні установки і компресорні станції», «Газотурбінні установки і компресорні станції (скорочена форма)»

«06» червня 2019 р., – 16 с.

Розробник: Петухов Ілля Іванович, доцент, к.т.н., доцент

(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)



(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри аерокосмічної теплотехніки

Протокол № 9 від «26» червня 2019 р.

Завідувач кафедри д.т.н., доцент

(науковий ступінь і вчене звання)



(підпис)

Гакал П.Г.

(ініціали та прізвище)

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки (спеціальність, спеціалізація), рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни
		<i>Денна форма навчання</i>
Кількість кредитів – 3	<p><b>Галузь знань</b> <u>13 «Механічна інженерія», 14 «Електрична інженерія»</u> (шифр та найменування)</p> <p><b>Спеціальність:</b> <u>131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 142 «Енергетичне машинобудування»</u> (код та найменування)</p> <p><b>Освітня програма:</b> <u>«Роботомеханічні системи та логістичні комплекси», «Комп'ютерний інжиніринг», «Проектування та виробництво композитних конструкцій», «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок», «Експлуатаційна діагностика, технічне обслуговування та ремонт авіаційних двигунів та ЕУ», «Безпілотні літальні комплекси», «Ракетні двигуни та енергетичні установки», «Ракетні та космічні комплекси», «Супутники, двигуни та енергетичні установки»</u> <u>«Комп'ютерно-інтегроване управління в енергетиці», «Газотурбінні установки і компресорні станції», «Газотурбінні установки і компресорні станції (скорочена форма)»</u> (найменування)</p> <p><b>Рівень вищої освіти:</b> <u>перший (бакалаврський)</u></p>	Цикл професійної підготовки
Кількість модулів – 2		<b>Навчальний рік</b>
Змістових модулів – 2		2019/2020
Індивідуальне завдання: -розрахункова робота		<b>Семестр</b>
Загальна кількість годин – 40/90		3-й
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 3  самостійної роботи студента – 3,5	<b>Лекції *</b>	
	24 годин	
	<b>Практичні, семінарські</b>	
	Не передбачено	
	<b>Лабораторні *</b>	
	16 годин	
	<b>Самостійна робота</b>	
	50 годин	
	<b>Вид контролю</b>	
	модульний контроль, залік	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить  $40/50=0.8$ .

Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять

## **2. Мета та завдання навчальної дисципліни.**

**Мета вивчення:** надбання знань, вмінь і навичок для термодинамічного аналізу та оптимізації процесів перетворення видів енергії, визначення максимально можливої ефективності енергоустановок і основних джерел втрат працездатності; розрахунку температурного стану найпростіших геометричних аналогів елементів теплотехнічних об'єктів, визначення методів впливу на нього і засобів реалізації цих методів.

**Завдання:** в результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

**знати:**

- вихідні поняття і основні рівняння термодинаміки і теплообміну;
- головні особливості та умови реалізації термодинамічних процесів і явищ теплообміну, припущення під час їх математичного моделювання;
- методи оцінки ефективності термодинамічних процесів в енергетичних установках;
- методи теплового захисту та інтенсифікації теплообміну;
- принципи терморегулювання об'єктів.

**вміти:**

- розробляти змістові та математичні моделі термодинамічних аналогів робочих процесів у об'єктах і процесів теплообміну в її елементах;
- визначати максимально можливу ефективність енергоустановок і основні джерела втрат працездатності;
- визначати розподіл температури і теплового потоку в найпростіших геометричних об'єктах;
- складати рівняння теплового балансу.

**Програмні результати навчання:** у результаті вивчення навчальної дисципліни студент буде здатен:

- демонструвати знання і розуміння термодинаміки і теплообміну;
- обирати і застосовувати придатні типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; правильно інтерпретувати результати таких досліджень;
- здійснювати пошук необхідної інформації в технічній літературі, використовувати наукові бази даних та інші відповідні джерела інформації;
- здійснювати моделювання з метою детального вивчення і дослідження інженерних питань;

- демонструвати розуміння застосовуваних методик проектування і дослідження, а також їх обмежень.

**Міжпредметні зв'язки:** "Фізика", "Математика", "Газова динаміка".

### 3. Програма навчальної дисципліни

#### Модуль 1.

##### Змістовий модуль 1. Термодинаміка.

**Тема 1.** Термодинамічна система та її характеристики.

Поняття термодинамічної системи, різновиди ТДС. Довколишнє середовище. Термодинамічний процес. Термічні та калоричні параметри. Структура рівнянь стану. Формули кількостей теплоти і деформаційної роботи. Робоче тіло і види його термодинамічних аналогів. Ідеальний газ. Суміш ідеальних газів. Вологе повітря.

**Тема 2.** Фундаментальні закони термодинаміки.

Сутність і формулювання першого закону. Основне рівняння термодинаміки. Аналітичний запис першого закону для потоку. Механічна форма запису. Види механічних робіт, співвідношення між ними. Сутність і формулювання другого закону, його аналітичний вираз. Генерація ентропії. Вплив нерівноважності на перебіг процесу. Об'єднаний вираз першого і другого законів. Калоричні властивості суміші ідеальних газів.

**Тема 3.** Термодинамічні процеси в елементах енергетичних установок і систем.

Математичні моделі ізопараметричних процесів. Політропний процес, його рівняння. Окремі випадки політропного процесу, зображення їх на термодинамічних діаграмах. Термодинамічний аналіз рівноважної течії газу в каналах. Сопла і дифузори. Рівноважна течія газу зі звершенням технічної роботи. Робота стиснення газу в ідеальних компресорах. Багатоступеневі компресори. Термодинамічний аналіз ідеальних детандерів. Урахування нерівноважності процесу. Ексергія та її застосування.

**Тема 4.** Термодинамічні цикли теплових машин.

Теплова машина; визначення її структури з використанням першого і другого законів термодинаміки. Прямий і обернений цикли, тепловий двигун і трансформатор теплоти. Цикл Карно та його ККД. Методи порівняння рівноважних циклів. Цикли ДВС періодичної дії (Отто, Дизеля). Цикл Брайтона як основа робочого процесу авіаційних ДВС безперервної дії. Різновиди трансформаторів теплоти. Оцінка ефективності термотрансформаторів.

##### Модульний контроль 1.

##### Змістовий модуль 2. Теплообмін.

**Тема 5.** Основні закони переносу теплоти. Теорія теплопровідності.

Основні поняття та закони переносу теплоти. Поля температури і вектора густини теплового потоку. Закони Фур'є, Н'ютона-Рихмана, Стефана-Больцмана.

Диференційні рівняння збереження маси, імпульсу та енергії. Диференційне рівняння теплопровідності. Умови однозначності. Стационарна теплопровідність плоскої однорідної та багат шарової стінки з рівномірним розподілом температури на поверхнях і незмінним значенням коефіцієнту теплопровідності. Термічний опір. Стационарна теплопровідність циліндричної стінки.

**Тема 6.** Конвективний теплообмін.

Природна та вимушена конвекція. Диференційне рівняння тепловіддачі. Методи визначення коефіцієнту тепловіддачі. Динамічний і тепловий межові шари. Ламінарний і турбулентний режими руху текучого середовища. Поняття фізичної подібності. Визначальні фактори процесу. Критерії подібності. Одержання їх з диференційних рівнянь. Фізичний і математичний зміст критеріїв. Число Нусельта. Рівняння подібності та їх структура. Визначальні параметри. Моделювання процесів конвективного теплообміну. Теплообмін при вільному та вимушеному русі однофазового теплоносія. Особливості теплообміну при русі газу з великою швидкістю.

**Тема 7.** Елементи теплообміну випромінюванням та при фазових перетвореннях. Теплообмін з киплячою рідиною. Криза кипіння. Теплообмін у разі конденсації. Методи опису променевого теплообміну в інженерній практиці. Особливості теплового випромінювання газу. Променевий теплообмін між двома паралельними плоскими поверхнями. Теплообмін випромінюванням між газом і оболонкою.

**Тема 8.** Деякі задачі складного теплообміну.

Поняття складного теплообміну. Передавання теплоти через стінку. Коефіцієнт теплопередачі. Типи теплообмінників. Основи теплового розрахунку поверхневих теплообмінників.

**Модульний контроль 2.**

**Модуль 2.**

Розрахункова робота «Термодинамічний розрахунок турбореактивного двигуна».

#### 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
<b>Модуль 1</b>					
<b>Змістовий модуль 1. Термодинаміка</b>					
Тема 1. Термодинамічна система та її характеристики.	13	4		3	6
Тема 2. Фундаментальні закони термодинаміки.	12	4		2	6
Тема 3. Термодинамічні процеси в елементах енергетичних установок і систем.	14	4		2	6
Тема 4. Термодинамічні цикли теплових машин.	14	4			2
<b>Модульний контроль</b>	1			1	
<b>Разом за змістовим модулем 1</b>	<b>54</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>20</b>
<b>Змістовий модуль 2. Теплообмін</b>					
Тема 5. Основні закони переносу теплоти. Теорія теплопровідності.	11	3		3	5
Тема 6. Конвективний теплообмін.	11	2		4	5
Тема 7. Елементи теплообміну випромінюванням та при фазових перетвореннях.	8	2			6
Тема 8. Деякі задачі складного теплообміну.	5	1			4
<b>Модульний контроль</b>	1			1	
<b>Разом за змістовим модулем 2</b>	<b>36</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>20</b>
<b>Модуль 2</b>					
Розрахункова робота					10
<b>Усього годин</b>	<b>90</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>16</b>	<b>50</b>

**5. Теми семінарських занять (навчальним планом не передбачені)**

**6. Теми практичних занять (навчальним планом не передбачені)**

## 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Дослідження ізотермічного стиску вуглекислого газу.	3
2	Енергобаланс у турбохолодильнику.	2
3	Аналіз процесу стиснення повітря в циліндрі поршневого двигуна. Модульний контроль.	3
4	Визначення коефіцієнтів теплопровідності порошкоподібних тіл методом кульового шару / Визначення коефіцієнтів теплопровідності твердих тіл методом безмежного плаского шару.	3
5	Експериментальне визначення коефіцієнтів теплопередачі при вільно-конвективному теплообміні: горизонтальний короткий циліндр.	2
6	Експериментальне визначення коефіцієнтів тепловіддачі при вимушеному перебігу повітря в трубі. Модульний контроль.	3
	<b>Разом</b>	<b>16</b>

## 8. Самостійна робота:

Назва теми	Кількість годин
Тема 1. Термодинамічна система та її характеристики.	6
Тема 2. Фундаментальні закони термодинаміки.	6
Тема 3. Термодинамічні процеси в елементах енергетичних установок і систем.	6
Тема 4. Термодинамічні цикли теплових машин.	2
Тема 5. Основні закони переносу теплоти. Теорія теплопровідності.	5
Тема 6. Конвективний теплообмін.	5
Тема 7. Елементи теплообміну випромінюванням та при фазових перетвореннях.	6
Тема 8. Деякі задачі складного теплообміну.	4
Розрахункова робота «Термодинамічний розрахунок турбореактивного двигуна».	10
<b>Разом</b>	<b>50</b>

Сутністю самостійної роботи над матеріалом модулю є опрацювання лекційних тем за допомогою підручників та формулювання відповідей на запитання з цих тем, що задає викладач у поточному режимі. Цей розділ передбачає 50 годин самостійної підготовки, з них на підготовку до занять 25 годин, виконання розрахункової роботи – 10 годин, підготовка до поточного зрізу та участь в ньому – 15 годин.

## 9. Індивідуальні завдання

В якості індивідуального завдання передбачено виконання розрахункової роботи. Індивідуальне завдання має на меті закріпити відповідні теоретичні знання і одержати необхідні навички практичних розрахунків з дисципліни.



В розрахунковій роботі студенти виконують одне з завдань посібника [5]. В поточному році це термодинамічний розрахунок турбореактивного двигуна. Методичні вказівки по його виконанню містяться на с. 8-15 зазначеного посібника.

## 10. Методи навчання

Лекційні заняття проводяться з застосуванням електронних засобів навчання та додаткового друкованого допоміжного матеріалу.

## 11. Методи контролю

Поточний контроль здійснюється під час лабораторних занять, тестового модульного контролю та виконання розрахункової роботи, фінальний контроль – у вигляді заліку.

Оцінювання поточних занять:

- Опрацювання матеріалу лекції оцінюється в 1 бал;
- Виконана лабораторна робота оцінюється максимум в 3 бали;
- Виконання завдання тесту модульного контролю оцінюється максимум в 30 балів для модуля 1 та 15 балів для модуля 2. Модульний контроль являє собою тест з 15 питань. Повністю правильна відповідь на кожне з них оцінюється в 2 бали для модуля 1 та в 1 бал для модуля 2.

Критерії оцінювання поточних занять:

- a) Повністю вирішене завдання дає 100% відповідного балу оцінювання;
- b) Завдання, виконане з несуттєвими помилками оцінюється в 80-90% (загальні питання повністю розкриті, вірні базові математичні формули, графічні побудови, але є незначні помилки в визначеннях, математичних перетвореннях, розрахунках);
- c) Часткове виконане завдання оцінюється в 60-70% (загальні питання повністю розкриті, вірні вихідні математичні формули та графічні побудови, правильно обрана логіка рішення але є грубі помилки в визначеннях, математичних перетвореннях, розрахунках);
- d) Часткове виконане завдання оцінюється в 10-40%, якщо загальні питання розкриті не повністю, є помилки у вихідних математичних формулах та графічних побудовах, але правильно обрана логіка рішення задачі;
- e) Неправильно виконане завдання оцінюється в 0 балів.

- Виконання розрахункової роботи оцінюється максимум у 25 балів. Після перевірки пояснювальної записки студент допускається до захисту роботи. Йому видаються два завдання за темою роботи. Оцінка виставляється з урахуванням повноти і правильності рішення цих задач. Повністю і правильно виконане завдання розрахункової роботи без вирішених завдань оцінюється не вище 7 балів. Кожне із завдань дозволяє отримати додатково не більше 6 балів. Ще 6 балів можна

отримати при відповіді на 3 теоретичних питання за темою розрахункової роботи. Правильно вирішене, але недбало оформлене завдання розрахункової роботи оцінюється в 6 балів, завдання з математичними помилками оцінюється в 4-5 балів, рішення з методичними помилками оцінюється в 1-3 бали.

- Виконання розрахункової та лабораторних робіт є обов'язковою умовою для одержання заліку.

## 12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

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

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
<b>Модуль 1</b>			
Робота на лекціях	0...1	8	0...8
Виконання і захист лабораторних робіт	1...3	3	3...9
Модульний контроль	0...30	1	24...30
Виконання і захист РР	0...22	1	20...25
<b>Модуль 2</b>			
Робота на лекціях	0...1	4	0...4
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	1...3	3	3...9
Модульний контроль	0...15	1	10...15
<b>Усього за семестр</b>			<b>60...100</b>

Семестровий контроль (залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до заліку. **Умовою допуску до заліку є здача усіх лабораторних робіт та розрахункової роботи.**

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

Підсумковий тест (залік) являє собою письмову відповідь на тридцять тестових теоретичних питань з курсу лекцій. Ці питання та максимальна сума балів відповідають модулям 1 та 2. Час підготовки: дві хвилини на питання. Студенти, що пропустили більше 3-х лекцій, одержують додаткові питання у відповідності до числа пропусків.

## 12.2. Якісні критерії оцінювання

*Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки.*

Студент повинен знати вихідні поняття і основні рівняння термодинаміки і теплообміну; умови реалізації термодинамічних процесів і явищ теплообміну; методи оцінки ефективності термодинамічних процесів в енергетичних установках; методи теплового захисту та інтенсифікації теплообміну.

*Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки.*

Студент повинен вміти визначати максимально можливу ефективність енергоустановок і основні джерела втрат працездатності; розподіл температури і теплового потоку в найпростіших геометричних об'єктах; складати рівняння теплового балансу та теплопередачі.

## 12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

**Задовільно (60-74).** Мати мінімум знань та умінь по предмету. Відпрацювати та захистити всі лабораторні завдання та розрахункову роботу. Знати основні рівняння термодинаміки і теплообміну; методи оцінки ефективності термодинамічних процесів в енергетичних установках; методи теплового захисту та інтенсифікації теплообміну.

**Добре (75 - 89).** Твердо знати матеріал курсу, виконати усі завдання в обумовлений викладачами строк. Показати розуміння суті та теоретичної бази лабораторних робіт, вміння самостійно виконувати практичні завдання та розрахункову роботу. Твердо знати математичне формулювання основних законів термодинаміки та теплообміну. Вміти самостійно обґрунтувати модель робочого середовища, та види процесів в енергоустановках, розрахувати їхню досяжну ефективність, розраховувати тепловий стан пласкої стінки при теплопередачі, температури теплоносіїв у поверхневому теплообміннику.

**Відмінно (90 - 100).** Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати усі теми. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Безпомилково виконати лабораторні роботи та розрахункову роботу, продемонструвати тверді знання відповідної теоретичної бази. Досконально знати математичні формулювання основних законів термодинаміки та теплообміну, визначення та графічне представлення роботи та теплоти процесів. Вміти виконати термодинамічний аналіз енергоустановки, розрахунки теплового потоку у поверхневому теплообміннику.

### Шкала оцінювання: бальна, ECTS та національна

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. Костиков О.Н. Термодинамика и теплообмен. Консп. лекций по норм. дисц. бакалаврата «Авиация и космонавтика». Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т, 2007 – 218 с.
1. Беспятов М.А., Нечитайло К.Ф. Техническая термодинамика. Учебное пособие, ХАИ 1990 г., 82 с.
2. Кулешов В.Н. Теплопередача. Учебное пособие, ХАИ 1989 г., 102 с.
3. Костиков О.Н., Петухов И.И. Лабораторный практикум. Харьков, Нац. аэрокосм. ун-т, «ХАИ», 2008 – 64 с.
4. Амброжевич М.В., Костиков О.Н., Петухов И.И. Термодинамика и теплообмен. Учебное пособие по выполнению расчётных работ нормативной дисциплины бакалаврата «Авиация и космонавтика» – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2008. – 79 с.
5. Амброжевич М.В., Елифанов К.С. Сборник задач по технической термодинамике. Часть 1. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2010. – Ч. 1. – 90 с.

### 14. Рекомендована література

#### Базова

1. Алабовский А.Н., Недужий И.А. Техническая термодинамика и теплопередача. К.: Выща шк., 1990 – 255 с.
2. Мухачев Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа, 2011 – 480 с.
3. Техническая термодинамика / Под ред. В.И. Крутова. М.: Высшая школа, 1991 – 384 с.

#### Допоміжна

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. М.: Энергия, 1985 – 416 с.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. – 344 с.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергия, 1981 – 418 с.
4. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. Под ред. В.К. Кошкина. - М.: Машиностроение, 1991.

### 15. Інформаційні ресурси

1. Бібліотека НАКУ «ХАИ».
2. Методичний кабінет кафедри.
3. Мережа Internet.
4. Сайт кафедри. [www.k205.khai.edu](http://www.k205.khai.edu)

## Тести до заліку по курсу "Термодинаміка і теплообмін" (модуль 1 "Термодинаміка")

1. Поняття макросистеми.
2. Які параметри системи називаються внутрішніми?
3. Які параметри системи називаються зовнішніми?
4. Вкажіть зовнішні параметри термомеханічної системи.
5. Поняття внутрішньої енергії макросистеми.
6. Дайте визначення рівноважного стану системи.
7. Вкажіть можливі форми обміну термомеханічної системи з навколишнім середовищем.
8. Чим не обмінюється замкнута система з навколишнім середовищем?
9. Чим не обмінюється адіабатна система з навколишнім середовищем?
10. Способи класифікації ТД систем.
11. Поняття "гетерогенна система". Поняття "гомогенна система".
12. Поняття "багатокомпонентна система".
13. Поняття "робоче тіло".
14. Поняття "теплоносій".
15. Чи може багатокомпонентна система бути гомогенною?
16. Сутність постулатів ТД.
17. Поняття "інтенсивні параметри стану".
18. Що таке питомі параметри системи?
19. Вкажіть термічні параметри стану.
20. Вкажіть калоричні параметри стану.
21. Скільки параметрів стану рівноважної термомеханічної системи фіксованої маси є незалежними?
22. Поняття "термічне рівняння стану".
23. Поняття "калоричного рівняння стану".
24. Визначення терміна "температура".
25. Визначення терміна "тиск".
26. Визначення терміна "щільність".
27. Визначення терміна "питомий об'єм".
28. Основні припущення моделі ідеального газу.
29. Термічне рівняння стану 1 кг ідеального газу.
30. Як визначити газову постійну при відомій молекулярній масі речовини?
31. Яка розмірність універсальної газової постійної  $R_u$ ?
32. Математичне визначення масової частки компонента суміші.
33. Математичне визначення мольної частки компонента суміші.
34. Математичне визначення об'ємної частки компонента газової суміші.
35. Що таке парціальний тиск?
36. Що таке парціальний обсяг?
37. Математичне вираження закону Дальтона.
38. Як обчислити газову постійну суміші?
39. Як обчислити уявну молекулярну масу суміші?

40. Що таке абсолютна вологість повітря?
41. Що таке відносна вологість повітря?
42. Що таке вологовміст повітря?
43. Що таке "точка роси" вологого повітря?
44. Чи залежить внутрішня енергія ідеального газу від тиску?
45. Чи залежить ентальпія ідеального газу від тиску?
46. Чи залежить ентропія ідеального газу від тиску?
47. Який газ називають калорично досконалим?
48. Зв'язок ентальпії і внутрішньої енергії.
49. Математичне визначення теплоємності.
50. Що означає нижній індекс у теплоємності?
51. Який зв'язок числа ступенів свободи молекули і теплоємності?
52. Формула Майера.
53. Показник адіабати.
54. Зв'язок ентальпії і теплоємності  $C_p$  в ідеальному газі.
- 55.
56. Зв'язок внутрішньої енергії і теплоємності  $C_v$  в ідеальному газі.
57. Сутність ТД процесу.
58. Як називається процес переходу системи з нерівноважного стану в рівноважний?
59. Поняття "рівноважний процес".
60. Чи є теплота і робота параметрами стану ТД системи?
61. Який знак теплоти, підведеної до системи?
62. Який знак роботи, підведеної до системи (досконалої над системою)?
63. Математичне визначення роботи розширення (деформаційної роботи).
64. Математичне визначення корисної зовнішньої (що розташовується) роботи.
65. Математичне визначення роботи проштовхування.
66. Графічне представлення роботи розширення в  $p, v$  - діаграмі.
67. Графічне представлення корисної зовнішньої роботи в  $p, v$ -діаграмі.
68. Що таке технічна робота?
69. Повна енергія ТД системи.
70. Математичне вираз 1 початку ТД в рухомій системі координат.
71. Математичне вираз 1 початку ТД в нерухомій системі координат.
72. Механічна форма запису 1 початку ТД.
73. Що таке повна (загальмованого потоку) ентальпія?
74. Математичне вираз 1 початку ТД з використанням повної ентальпії.
75. Основне тотожність термодинаміки.
76. Поняття ентропії змішання.
77. Математичний вираз ентропії через теплоту.
78. Графічне представлення теплоти в  $T, s$ - діаграмі.
79. Графічне представлення теплоємності процесу в  $T, s$ - діаграмі.
80. Сутність другого закону термодинаміки.
81. Аналітичний вираз другого закону термодинаміки через ентропію.
82. Чи може змінюватися ентропія в ізольованій системі?
83. Вираз другого закону термодинаміки через ККД циклу.

84. Об'єднане рівняння першого і другого почав термодинаміки.
85. Який параметр не змінюється в ізобарном процесі?
86. Який параметр не змінюється в Ізохоричний процесі?
87. Рівняння адиабатного процесу.
88. Який процес називають Політропний?
89. Рівняння політропної процесу.
90. Чому дорівнює показник політропи для ізотермічного процесу?
91. Чому дорівнює показник політропи для ізобарного процесу?
92. Чому дорівнює показник політропи для адиабатного процесу?
93. Чому дорівнює показник політропи для ізохоричного процесу?
94. Зобразіть ізотерму і адиабати в  $p, v$  - діаграмі.
95. Зображення ізобари і ізохори в  $T, s$ - діаграмі.
96. Що таке число Маха?
97. Зобразіть профілі дозвукового дифузора і сопла.
98. Як визначити швидкість звуку в ідеальному газі?
99. Що таке критичне перетин сопла?
100. Як визначити максимально можливу швидкість адиабатного потоку?
101. Проілюструйте поняття "коефіцієнт швидкості сопла".
102. Проілюструйте поняття "коефіцієнт відновлення повного тиску".
103. Проілюструйте поняття "Адиабатний ККД компресора".
104. Як зменшити роботу, затрачену на стиск газу в компресорі?
105. Проілюструйте поняття "Адиабатний ККД детандера".
106. Яке умова процесу дроселювання газу?
107. Поняття ексергії.
108. Поняття циклу і його роботи.
109. Схема теплового двигуна.
110. Схема термотрансформатора.
111. Графічне представлення роботи циклу в  $p, v$  - діаграмі і її знак.
112. Графічне представлення роботи циклу в  $T, s$ - діаграмі.
113. Математичне визначення термічного ККД циклу.
114. Поняття холодильного коефіцієнта.
115. Поняття опалювального коефіцієнта.
116. Які процеси становлять цикл Карно?
117. Покажіть цикл Карно в  $T, s$ - діаграмі.
118. Вираз для термічного ККД циклу Карно.
119. Який рівноважний цикл має максимальний термічний ККД при фіксованих значеннях верхньої та нижньої температур?
120. Як визначити максимально можливий ККД циклу, якщо відомі верхня і нижня його температури?
121. Дайте визначення поля температури і вектора густини теплового потоку.
122. Запишіть та сформулюйте закони Фур'є, Н'ютона-Рихмана, Стефана-Больцмана.
123. Запишіть та сформулюйте диференційні рівняння збереження маси, імпульсу та енергії.
124. Запишіть та сформулюйте диференційне рівняння теплопровідності.

125. Сформулюйте умови однозначності.
126. Як розраховується стаціонарна теплопровідність пласкої однорідної та багатшарової стінки з рівномірним розподілом температури на поверхнях і незмінним значенням коефіцієнту теплопровідності.
127. Що таке термічний опір?
128. Як розраховується стаціонарна теплопровідність циліндричної стінки?
129. Запишіть та сформулюйте диференційне рівняння тепловіддачі.
130. Вкажіть методи визначення коефіцієнту тепловіддачі.
131. Що таке динамічний і тепловий межові шари?
132. Що таке ламінарний і турбулентний режими руху текучого середовища?
133. Сформулюйте основні поняття фізичної подібності.
134. Що таке визначальні фактори процесу, критерії подібності?
135. Як отримують критерії подібності, їх фізичний і математичний зміст.
136. Що таке число Нусельта?
137. Що таке рівняння подібності та його структура?
138. Як моделюють процеси конвективного теплообміну?
139. Як визначають теплообмін при вільному та вимушеному русі однофазового теплоносія?
140. Які особливості теплообміну при русі газу з великою швидкістю?
141. Особливості теплообміну з киплячою рідиною.
142. Що таке криза кипіння?
143. Як розраховують теплообмін у разі конденсації?
144. Які існують методи опису променевого теплообміну в інженерній практиці?
145. Вкажіть особливості теплового випромінювання газу.
146. Як розраховують променевий теплообмін між двома паралельними пласкими поверхнями?
147. Як розраховують теплообмін випромінюванням між газом і оболонкою?
148. Що таке складний теплообмін?
149. Запишіть рівняння передавання теплоти через стінку.
150. Що таке коефіцієнт теплопередачі?
151. Які існують типи теплообмінників?
152. Дайте основи теплового розрахунку поверхневих теплообмінників.