

Міністерство освіти і науки України

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра № 201 «Теорії авіаційних двигунів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



(підпис)

Л. Г. Бойко

(ініціали та прізвище)

«24» 08 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Термодинамічний аналіз парогазових циклів

(назва навчальної дисципліни)

Галузі знань: 14 «Електрична інженерія»
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: «Газотурбінні установки і компресорні станції»
(найменування)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Харків 2023 рік


Розробник: Кіслов О.В., проф. каф. 201, к.т.н., доц.
(прізвище та ініціал, посада, науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри _____ № 201
«Теорії авіаційних двигунів»
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 24 » _____ 08 _____ 2023 р.

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


(підпис)

Л.Г. Бойко
(ініціал та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників		Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни. Денна форма навчання		
Кількість кредитів – 6		Галузь знань <u>14 «Електрична інженерія»</u> (шифр і назва)	Обов'язкова		
Кількість модулів – 2			Навчальний рік: 2023/2024		
Змістових модулів – 3					
Розрахункова робота « <u>Порівняльний аналіз енергоефективності КІПУ з утилізацією тепла вихлопних газів</u> »		Спеціальність <u>142 «Енергетичне машинобудування»</u> (шифр і назва)	Семестр		
Загальна кількість годин – 64/180		Освітня програма <u>«ГТУ і компресорні станції»</u>	Лекції		
Тижневих годин для денної форми навчання			32 год.	–	
Семестр 1			Практичні		
Аудиторних – 4 год.	Самостійної роботи – 7 год.		–	–	
		Рівень вищої освіти: другий (магістерський)	Лабораторні		
			32 год.	–	
			Самостійна робота		
			116 год.	–	
			Індивідуальна робота		
			–	–	
			Вид контролю		
			Модульний контроль, іспит	–	

Примітка: співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання – $64/116=0.55$.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета – теоретично і практично підготувати майбутніх фахівців до проектування парогазових теплоенергетичних установок.

Завдання – вивчення методів аналізу циклів; схем та циклів паросилових установок; принципів комбінування циклів; схем та циклів комбінованих парогазових теплоенергетичних установок; впливу регенерації, утилізації тепла вихлопних газів ГТД, хімічного складу газу на вході в турбіну (урахування упорскування пари) на основні показники енергоустановок; методів визначення оптимальних параметрів циклу.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей:**

1) Загальні :

- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;
- здатність до проведення досліджень;

- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;
- здатність генерувати нові ідеї (креативність);
- здатність приймати обґрунтовані рішення;
- здатність вести професійну, у тому числі науково-дослідну діяльність у міжнародному середовищі;
- здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт
- прагнення до збереження навколишнього середовища.

2) Фахові :

- здатність продемонструвати всебічні знання в галузі газотурбобудування та перспективи її розвитку;
- здатність продемонструвати передові знання в газотурбобудуванні: енергозберігаючих технологіях; компресорних технологіях;
- здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення складних інженерних завдань з використанням спеціальних і загальноживаних методів;
- здатність до систематичного вивчення та аналізу науково-технічної інформації, вітчизняного і закордонного досвіду з досягнень в галузі енергетичного машинобудування;
- здатність аналізувати необхідну інформацію, технічні дані, показники та результати роботи, систематизувати їх і узагальнювати з метою покращення характеристик енергетичного і теплотехнологічного обладнання, створення нових технологій і модернізації виробництва;
- здатність розробляти і впроваджувати енергозберігаючі технології та енергоощадні заходи під час проектування та експлуатації енергетичного і теплотехнологічного обладнання;
- здатність проводити аналіз конкурентних розробок та здійснювати техніко-економічне обґрунтування, організувати та виконувати наукові дослідження, пов'язані з розробленням та впровадженням інноваційних проектів і програм в галузі енергетичного машинобудування;
- здатність розробляти фізичні й математичні моделі процесів в енергетичному і технологічному обладнанні з аналізом результатів і розробкою методик розрахунку обладнання (шляхом порівняння з результатами експериментальних досліджень).

Програмні результати навчання:

- знання і розуміння спеціальних розділів термодинаміки, теорії тепломасообміну, гідрогазодинаміки, трансформації (перетворення) енергії, технічної механіки, що лежать в основі освітньої програми «Газотурбінні установки і компресорні станції», на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньо-професійної програми;
- знання і розуміння інженерних дисциплін, що лежать в основі освітньої програми «Газотурбінні установки і компресорні станції», на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньо-професійної програми, в тому числі обізнаність в останніх досягненнях науки і техніки в галузі;
- здатність критично осмислювати проблеми газотурбобудування і компресорних станцій, у тому числі на межі з іншими галузями, зокрема з інженерними науками, фізикою, хімією, екологією, економікою;
- здатність розуміти, аналізувати і використовувати у професійній діяльності інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до освітньої програми «Газотурбінні установки і компресорні станції»; обирати і застосовувати аналітичні, розрахункові та експериментальні методи; інтерпретувати і впроваджувати результати таких досліджень;
- здатність розв'язувати складні інженерні завдання і проблеми газотурбобудування і

- компресорних станцій, що потребує оновлення та інтеграції знань, у тому числі в умовах неповної / недостатньої інформації та суперечливих вимог;
- здатність приймати рішення з інженерних питань газотурбобудування і компресорних станцій у складних і непередбачуваних умовах, у тому числі із застосуванням прогнозування та сучасних засобів підтримки прийняття рішень;
 - здатність застосовувати свої знання і розуміння при розробці проектів згідно з визначеними та описаними вимогами;
 - здатність розраховувати і проектувати виробу в галузі газотурбобудування і компресорних станцій, процеси і системи, що задовольняють встановленим вимогам, які включають обізнаність про нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) аспекти; обрання і застосовування адекватної методології проектування;
 - здатність провадити дослідницьку та/або інноваційну діяльність в сфері газотурбобудування і компресорних станцій;
 - здатність використовувати сучасний інструментарій (створення, вибір і застосування відповідних технологій, ресурсів і інженерних методик, включаючи прогнозування й моделювання) для проведення комплексної інженерної діяльності за освітньою програмою «Газотурбінні установки і компресорні станції»;
 - уміння поєднувати теорію і практику для вирішення інженерних завдань газотурбобудування і компресорних станцій;
 - здатність зрозуміло і недвозначно доносити власні висновки з проблем газотурбобудування і компресорних станцій, а також знання та пояснення, що їх обґрунтовують, до фахівців і нефахівців, зокрема до осіб, які навчаються;
 - здатність до розуміння необхідності самостійного навчання протягом життя.

Пререквізити:

для вивчення дисципліни «Термодинамічний аналіз парогазових циклів» потрібні знання, одержані на бакалаврському рівні вищої освіти при вивченні дисциплін «Вища математика», «Фізика», «Хімія та основи екології», «Технічна термодинаміка», «Гідрогазодинаміка», «Теорія газотурбінних двигунів і установок», «Теорія та розрахунок лопатевих машин», «Теплообмінне обладнання в енергетиці та газовій галузі»

Кореквізити:

дисципліна «Термодинамічний аналіз парогазових циклів» забезпечує вивчення дисциплін «Турбодетандери, компресори та обладнання компресорних станцій», «Конверсія авіаційних двигунів в енергоустановки», «Газодинамічна нестійкість турбокомпресорів».

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовий модуль 1. Термодинамічні методи аналізу циклів теплових машин

Вступ до дисципліни «Термодинамічний аналіз парогазових циклів»

Предмет вивчення і задачі дисципліни. Місце дисципліни в навчальному плані. Тенденція розвитку енергетики. Зміни у структурі вироблення електроенергії в світі. Основні напрямки технічного розвитку енергетики. Європейські енергетичні системи. Питомі витрати на різні типи електроустановок, собівартість відпуску електроенергії.

Тема 1 Термодинамічні методи аналізу циклів теплових машин

Аналіз циклів теплових машин методом термодинамічних ККД. Ентропійний метод аналізу циклів теплових машин. Ексергетичний метод аналізу циклів теплових машин. Фізична сутність змінення ентальпії у процесах стиснення, розширення та підведення теплоти.

Змістовий модуль 2. Цикли паросилових установок

Тема 2. Цикли паросилових установок

Цикл Карно та схема паросилової установки, що реалізує його. Цикл Ренкіна та схема паросилової установки, що реалізує його. Цикл Ренкіна з пароперегрівом та схема паросилової установки, що реалізує його. Вплив початкових і кінцевих параметрів пари на термодинамічну ефективність циклу Ренкіна, з пароперегрівом.

вом. Типи парових теплоенергетичних установок та порівняння їх ефективності. Шляхи підвищення ефективності циклів паротурбінних установок конденсаційного типу. Регенеративні цикли. Цикли з проміжним пароперегрівом. Особливості циклів теплофікаційних установок. Енергетичний та ексергетичний баланс паросилових установок.

Модульний контроль

Модуль 2.

Змістовий модуль 3. Комбіновані цикли парогазових установок

Тема 3. Комбіновані цикли парогазових установок

Види комбінованих циклів. Бінарний цикл та його ефективність. Вплив температурної різниці між верхнім та нижнім циклами на ефективність бінарного циклу. Складений цикл та його ефективність. Порівняння бінарних та складених циклів. Загальні принципи комбінування циклів. Паро-паровий бінарний ртутно-водяний цикл та схема комбінованої установки. Паро-паровий частково бінарний ртутно-водяний цикл та схема комбінованої установки. Паро-паровий комбінований фреоно-водяний цикл з "нижньою надбудовою" та схема комбінованої установки. Бінарний цикл та схема парогазової установки з паросиловою турбіною. Вплив параметрів газового циклу на питомі параметри комбінованої ПГУ з паросиловою турбіною. QТ – діаграма та її застосування до процесів утилізації тепла у котлі-утилізаторі комбінованої ПГУ. Ефект від застосування теплоутилізаційного контуру двох тисків. Тепловий розрахунок парогазових енергоустановок з контуром одного тиску. Особливості теплового розрахунку парогазових енергоустановок з контуром двох тисків. Частково бінарний цикл та схема парогазової установки (STIG). Порівняння термодинамічної ефективності комбінованої ПГУ з паросиловою турбіною та ПГУ STIG. Вплив параметрів газового циклу та відносних витрат води на питомі параметри комбінованої ПГУ STIG. Алгоритм термогазодинамічного розрахунку ПГУ STIG. Парогазова установка із системою уводу та регенерації води.

Модульний контроль

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					8	9	10	11	12	13
		л	пр	лаб	інд	с.р.						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Модуль 1 (блок змістовних модулів)												
Змістовий модуль 1. Термодинамічні методи аналізу циклів теплових машин												
Вступ до навчальної дисципліни	8	2	–	–	–	6	–	–	–	–	–	–
Тема 1. Термодинамічні методи аналізу циклів теплових машин	34	8	–	6	–	20	–	–	–	–	–	–
Разом за змістовим модулем 1	42	10	–	6	–	26	–	–	–	–	–	–
Змістовий модуль 2. Цикли паросилових установок												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тема 2. Цикли паросилових установок	50	10	–	–	–	40	–	–	–	–	–	–
Разом за змістовим модулем 2	50	10	–	–	–	40	–	–	–	–	–	–
Модульний контроль	2	–	–	–	–	2	–	–	–	–	–	–
Разом за модулем 1	94	20	–	6	–	68	–	–	–	–	–	–
Модуль 2 (блок змістовних модулів)												

Змістовий модуль 3. Комбіновані цикли парогазових установок												
Тема 3. Комбіновані цикли парогазових установок	84	12	–	26	–	46	–	–	–	–	–	–
Разом за змістовим модулем 3	84	12	–	26	–	46	–	–	–	–	–	–
Модульний контроль	2	–	–	–	–	2	–	–	–	–	–	–
Разом за модулем 2	86	12	–	26	–	48	–	–	–	–	–	–
Усього годин	180	32	–	32	–	116	–	–	–	–	–	–

5. Темі семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	2	3
	Разом	

6. Темі практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	2	3
	Разом	

7. Темі лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	2	3
1	Порівняльний аналіз схем парогазових установок	6
2	Дослідження впливу параметрів циклу парогазової енергоустановки з теплоутилізаційним контуром одного тиску на її ефективність	8
3	Порівняння ефективності парогазових енергоустановок з теплоутилізаційними контурами одного та двох тисків	4
4	Оптимізація параметрів парового циклу парогазової енергоустановки з теплоутилізаційним контуром двох тисків	6
5	Дослідження впливу кількості пари, що упорскується на вхід у турбіну, на параметри парогазової енергоустановки (STIG)	8
	Разом	32

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	2	3
1	Вступ. Тенденція розвитку енергетики.	6
2	Термодинамічні методи аналізу циклів теплових машин (Тема 1)	20
3	Цикли паросилових установок (Тема 2)	40
4	Модульний контроль 1	2
5	Комбіновані цикли парогазових установок (Тема 3). Виконання розрахункової роботи	46
6	Модульний контроль 2	2
	Разом	116

9. Індивідуальні завдання

№ з/п	Назва теми
1	2
1	Виконання розрахункової роботи на тему «Порівняльний аналіз енергоефективності КПГУ з утилізацією тепла вихлопних газів». (Тема 3)

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій словесним та наочним методами, практичних занять методом практики, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, захист звітів з практичних робіт, розрахункової роботи, письмові модульні контролю, підсумковий контроль у вигляді іспиту.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

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

№	Елемент модуля	бали	Кількість занять	Сумарна кількість балів
Модуль 1				
1	робота на лекційних заняттях			0 – 10
2	конспект лекцій	0 – 6	1	0 – 6
3	виконання лабораторної роботи	0 – 4	1	0 – 4
4	захист лабораторної роботи	0 – 2	1	0 – 2
5	складання модульного контролю	0 – 25	1	0 – 25
Разом за модуль 1				0 – 47
Модуль 2				
1	виконання лабораторної роботи	0 – 4	4	0 – 16
2	захист лабораторної роботи	0 – 2	4	0 – 8
3	виконання розрахункової роботи	0 – 6	1	0 – 6
4	захист розрахункової роботи	0 – 3	1	0 – 3
5	складання модульного контролю	0 – 20	1	0 – 20
Разом за модуль 2				0 – 53
Разом з дисципліни				0 – 100

Семестровий контроль (іспит) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту. Під час складання семестрового іспиту студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з двох питань, одне з яких відноситься до першого модуля, а інше – до другого. Кожне питання оцінюється 0...50 балів.

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- основні типи парових теплоенергетичних установок і їх особливості;
- шляхи підвищення ефективності циклів паросилових установок;
- вплив початкових і кінцевих параметрів пари на ефективність циклу;
- загальні принципи комбінування циклів;

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- відповідно до рекомендацій проводити термодинамічні розрахунки ПГУ;
- проводити аналіз одержаних результатів з виявленням найвигідніших параметрів циклу установок різного призначення.

12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру:

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Захистити всі індивідуальні завдання та лабораторні роботи. Знати основні положення дисципліни при недостатньо глибокому засвоєнні логічних зв'язків між частинами, що складають єдину систему. Уміти використовувати

програми розрахунку для одержання параметрів та характеристик комбінованих парогазових установок.

Добре (75-89). Володіти основними знаннями та уміннями, що передбачені програмою дисципліни. Захистити всі індивідуальні завдання та лабораторні роботи. Знати основні положення дисципліни при достатньо глибокому засвоєнні логічних зв'язків між частинами, що складають єдину систему; достатньо вільно використовувати знання для аналізу типових задач. Уміти використовувати програми розрахунку для одержання параметрів та характеристик комбінованих парогазових установок, аналізувати одержані результати та робити правильні висновки.

Відмінно (90-100). Володіти всіма знаннями та уміннями, що передбачені програмою дисципліни. Захистити всі індивідуальні завдання та лабораторні роботи. Знати всі положення дисципліни при глибокому засвоєнні логічних зв'язків між частинами, що складають єдину систему; вільно використовувати знання для аналізу типових та нетипових задач. Уміти використовувати програми розрахунку для одержання параметрів та характеристик комбінованих парогазових установок, аналізувати одержані результати, робити правильні висновки та розробляти рекомендації для їх покращання.

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. Аналіз термогазодинамічних циклів газопарових і парогазових установок: Збірник лабораторних робіт / А. Г. Волов, Г. В. Павленко, А. С. Хоменко ; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т» – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2008. – 49 с.
<http://library.khai.edu/library/fulltexts/m2008/Analiz-termogazodinamicheskikh-tsiklov-gazoparovykh-i-parogazovykh-ustanovok.pdf>
2. Волов А.Г., Кравченко І.Ф., Фесенко К.В. Обладнання газоперекачувальних агрегатів і енергетичних установок: Довідниковий посібник / А. Г. Волов, І. Ф. Кравченко, К. В. Фесенко ; М-во освіти і науки України, Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т» – Х.: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2008. – 65 с.
<http://library.khai.edu/library/fulltexts/m2008/Oborudovanie-gazoperekachivajuschih-agregatov-i-energeticheskikh-ustanovok.pdf>
3. Романов В.В., Коваль В.А., Грига А.Д. Розрахунок параметрів парогазової енергетичної установки с теплоутілізаційним контуром двох тисків. Харків, ХАІ, 1992. – 21 с.

На сайті кафедри 201 (адреса вказана у п.15 «Інформаційні ресурси») розміщено **навчально-методичний комплекс дисципліни, який включає в себе:**

- робоча програма дисципліни;
- конспект лекцій, підручники (навчальні посібники), в тому числі в електронному вигляді, які за змістом повністю відповідають робочій програмі дисципліни;
- методичні вказівки та рекомендації для розрахункових робіт практичних робіт, а також рекомендації для самостійної підготовки;
- тематики індивідуальних завдань;
- приклади розв'язування типових задач чи виконання типових завдань;
- питання, тести для контрольних заходів;
- каталоги інформаційних ресурсів.

14. Рекомендована література

Базова

1. Константинов С.М. Технічна термодинаміка. – К.: «Політехніка» при НТУУ «КПІ», 2001 – 368 с.
2. Цанєв С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбінні і парогазові установки теплових електростанцій: Навч. посібник для вузів / Під ред. С.В. Цанєва – М.: МЕІ, 2002. – 584с.
3. Стационарні газотурбінні установки: довідник / Л. В. Арсен'єв, В. Г. Таришкін, И. А. Богов, Ю. С. Подобуєв [та ін.] ; під ред. Л. В. Арсен'єва, В. Г. Таришкіна. - Л. - Машинобудування, 1989. – 544 с. ISBN: - 5-217-00420-7 .

Допоміжна

1. Семенов А.С., Шевченко А.М. Тепловий розрахунок парової турбіни. Видавниче об'єднання «Вища школа», Київ, 1975. – 208с.
2. Арсен'єв Л.В., Таришкін В.Г. Комбіновані установки з газовими турбінами. Л.: Машинобудування, 1982 – 247 с.
3. Манушин Е.А., Михальцев В.Е., Чернобровкін А.П. Теорія і проектування газотурбінних і комбінованих установок. – М.: Машинобудування, 1977. – 441 с.
4. Кириллов І.І., Яблоник Р.М. Основи теорії вологопарових турбін. – М.: Машинобудування, 1968.
5. Андрющенко А.І. Основи технічної термодинаміки реальних процесів. – М.: Вища школа, 1975 – 263 с.
6. Андрющенко А.І. Основи термодинаміки циклів теплоенергетичних установок. – М.: Вища школа, 1968 – 288 с.

15. Інформаційні ресурси

Сайт кафедри <http://k201.khai.edu>