


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

Кафедра «Теорії авіаційних двигунів»(№ 201)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми


(підпис) _____ Л. Г. Бойко _____
(ініціали та прізвище)
« ____ » _____ 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Турбодетандери, компресори і обладнання компресорних станцій

(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:

Шевченко М.А., асистент каф. 201, доктор філософії (PhD)

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



(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри Теорії авіаційних двигунів(201)

(назва кафедри)

Протокол № 1 від «24» серпня 2023 р.

Завідувач кафедри

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)



Л.Г. Бойко

(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни. Денна форма навчання
Кількість кредитів – 4.5	<p>Галузь знань 14 «Електрична інженерія» (шифр і найменування)</p> <p>Спеціальність 142 «Енергетичне машино- будування» (код і найменування)</p> <p>Освітня програма «Газотурбінні установки і компресорні станції» (найменування)</p> <p>Рівень вищої освіти: другий (магістерський)</p>	Обов'язкова
Кількість модулів – 2		Навчальний рік:
Змістових модулів – 3		
Індивідуальне завдання: <i>Не передбачено навчальним планом.</i>		Семестр
Загальна кількість годин – 135		
<p>Кількість тижневих годин для денної форми навчання:</p> <p>Аудиторних – 3 год.</p> <p>Самостійної роботи – 5.4 год.</p>		Лекції
		– 24 год.
		Практичні
		– -
		Лабораторні
	– 24 год.	
	Самостійна робота	
	– 87 год.	
Індивідуальна робота		
– -		
Вид контролю		
– Модульний контроль, іспит		

Примітка: співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить: для денної форми навчання – 87/135.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета – теоретично і практично підготувати майбутніх фахівців до проектування та експлуатації обладнання компресорних станцій.

Завдання – надання знань про обладнання компресорних станцій, схеми та особливості проектування компресорів та турбодетандерів з урахуванням фізико-хімічних та теплофізичних властивостей робочого тіла - природного газу багатоконпонентного складу. Розширити кругозір фахівця та виховати вміння всебічного аналізу проблем, що виникають при проектуванні обладнання компресорних станцій.

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

1) Загальні:

- ЗК 01 – Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;
- ЗК 03 – Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності);
- ЗК 04 – Здатність розробляти проекти та управляти ними;
- ЗК 05 – Здатність працювати в міжнародному контексті.

2) Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:

- СК 01 – Здатність застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки в сфері енергетичного машинобудування.
- СК 02 – Здатність критично осмислювати проблем і перспектив розвитку у сфері енергетичного машинобудування та дотичних міждисциплінарних проблем
- СК 03 – Здатність аналізувати та комплексно інтегрувати сучасні знання з природничих, інженерних, суспільно-економічних та інших наук для розв'язання складних задач і проблем, пов'язаних з проектуванням та експлуатацією енергетичного і теплотехнологічного обладнання.
- СК 04 – Здатність аналізувати, оцінювати та застосовувати науково-технічну інформацію в галузі енергетичного машинобудування.
- СК 05 – Здатність розробляти та впроваджувати інноваційні проекти і програми, забезпечувати конкурентоздатність продукції, здійснювати техніко-економічне обґрунтування проектів у галузі енергетичного машинобудування.
- СК 06 – Здатність проектувати та експлуатувати енергетичне і теплотехнологічне обладнання.
- СК 07 – Здатність приймати ефективні рішення з виробництва і експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання з урахуванням вимог щодо якості, екологічності, надійності, конкурентоздатності та охорони праці.

Програмні результати навчання:

- РН 01 – Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки, а також критичне осмислення сучасних проблем у галузі енергетичного машинобудування для розв'язування складних задач професійної діяльності.
- РН 02 – Здійснювати пошук необхідної інформації у науково-технічній і патентній літературі, базах даних, інших джерелах з технологій і процесів у галузі енергетичного машинобудування, на їх основі, систематизувати, аналізувати та оцінювати відповідну інформацію.
- РН 03 – Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або дослідницькі задачі під час проектування, виготовлення і експлуатації газотурбінних установок, іншого енергетичного обладнання та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у інноваційних проектах.
- РН 04 – Розробляти і реалізовувати проекти у галузі енергетичного машинобудування

- та пов'язані з нею міждисциплінарні проєкти з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів.
- РН 05 – Створювати новітні технології та процеси і обґрунтовувати вибір обладнання та інструментів, з урахуванням обмежень в енергетичному машинобудуванні на основі сучасних знань в енергетичній та суміжних галузях.
 - РН 06 – Використовувати методи моделювання, а також методи експериментальних досліджень з метою детального вивчення тепло- і масообмінних, гідравлічних та інших процесів, які відбуваються в газотурбінних установках, іншому технологічному обладнанні та об'єктах енергетичного машинобудування.
 - РН 07 – Приймати ефективні рішення з інженерних та управлінських питань у галузі енергетичного машинобудування в складних і непередбачуваних умовах, у тому числі із застосуванням сучасних методів та засобів оптимізації, прогнозування та прийняття рішень.
 - РН 09 – Формулювати та вирішувати інноваційні задачі галузі енергетичного машинобудування з урахуванням вимог до результатів, технічних стандартів, а також нетехнічних (суспільство, здоров'я і безпека, інтелектуальна власність, навколишнє середовище, економіка і виробництво) аспектів.
 - РН 13 – Управляти складними робочими процесами у галузі енергетичного машинобудування, у тому числі такими, що є непередбачуваними та потребують нових стратегічних підходів

Пререквізити: 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: переддипломна практика і кваліфікаційна робота магістра.

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовий модуль 1. Фізико-хімічні властивості природного газу та головні рівняння математичних моделей

Вступ до дисципліни «Турбодетандери, компресори і обладнання компресорних станцій».

Предмет вивчення і задачі дисципліни. Місце дисципліни в навчальному плані. Головні складові промислу природного газу як єдиної енерготехнологічної системи. Родовищ природного газу. Засоби охолодження природних газів, переваги та недоліки відомих засобів.

Тема 1. Фізико-хімічні властивості природного газу та головні рівняння математичних моделей

Природний газ, його хімічний склад (головні групи речовин, їх властивості та вплив на параметри якості суміші) та застосування у промисловості. Основні характеристики природного газу. Рівняння стану ідеальних та реальних газів. Визначення параметрів багатокомпонентної суміші. Критичні параметри газової суміші. Калоричні характеристики вуглеводнів. Види шкідливих та небезпечних додатків природного газу.

Змістовий модуль 2. Турбодетандер як частина промислових установок

Тема 2. Турбодетандер як частина промислових установок

Детандери, їх призначення та галузь застосування. Типи детандерів. Переваги та недоліки поршневих детандерів та турбодетандерів. Різновиди навантажувальних приладів турбодетандерів (ТД). Класифікація ТД за різними параметрами. Конструкція ТД, основні елементи та їх призначення. ТД в установках комплексної підготовки газу (УКПГ). Низькотемпературна сепарація. Умови роботи промислових ТД. Особливості розрахунку ТД агрегату. Регулювання турбодетандерів та головні регулюючі параметри. Рівняння витрати для ТД, що

працює на реальному газі. Спільна робота турбодетандера і компресора (характеристика та вплив регулюючих параметрів). Типові принципові схеми турбохолодильних установок (ТХУ). Поняття ексергії. Ексергетичний ККД. Види втрат у турбодетандері. I-s діаграма процесів в ТХУ. Коефіцієнти, що характеризують якість теплообміну. Сепаратори та їх призначення. Головні типи сепараторів, їх особливості. Основні характеристики сепараторів. Розподіл фаз у сепараторі. Енергоутилізаційні турбодетандерні установки, їх призначення. Основні типи утилізаційних турбодетандерних установок. Параметри робочого циклу турбодетандерів у складі установки. Алгоритм проектувального та перевірного розрахунку доцентрового турбодетандеру.

Модульний контроль

Змістовий модуль 3. Компресорне обладнання промислових станцій та транзитних ланок

Тема 3. Компресорне обладнання промислових станцій та транзитних ланок

Газоперекачувальні агрегати та нагнітачі природного газу. Відцентрові нагнітачі та їх типи. Особливості конструкції та робочих процесів у відцентрових нагнітачах. Геометричні параметри нагнітачів. Кінематичні та газодинамічні параметри нагнітачів. Вхідні пристрої нагнітачів, їх переваги та недоліки. Характеристики нагнітачів.

Модульний контроль

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
Семінарські заняття не передбачені навчальним планом		

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
Практичні заняття не передбачені навчальним планом		

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	Визначення основних теплофізичних і фізико-хімічних параметрів газової суміші	4
2	Проектувальний розрахунок ступеня доцентрового турбодетандеру	12
3	Проектування турбіни утилізаційного турбодетандера осьового типу	4
4	Розрахункове дослідження впливу термодинамічних властивостей реального газу на характеристики відцентрового компресору	4
	Разом	24

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
1	2	3
1	Вступ. Тенденція розвитку газотранспортної промисловості.	6
2	Фізико-хімічні властивості природного газу та головні рівняння математичних моделей (Тема 1)	18
3	Турбодетандер як частина промислових установок (Тема 2)	25
4	Компресорне обладнання промислових станцій та транзитних ланок (Тема 3)	38
	Разом	87

9. Індивідуальні завдання

№ з/п	Назва теми	Кільк. год.
Індивідуальні завдання не передбачені навчальним планом		

10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, лабораторних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

11. Методи контролю

Проведення поточного контролю, захист звітів з лабораторних робіт, модульних контролів, остаточного контролю 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 за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1				
1	робота на лекційних заняттях	0 – 6	1	0 – 6
2	виконання лабораторної роботи №1	0 – 7	1	0 – 7
3	виконання лабораторної роботи №2	0 – 10	1	0 – 10
4	виконання лабораторної роботи №3	0 – 7	1	0 – 7
5	захист лабораторної роботи	0 – 4	3	0 – 12
6	складання модульного контролю	0 – 22	1	0 – 22
Разом за модуль 1				0 – 64
Модуль 2				
1	конспект лекцій	0 – 6	1	0 – 6
2	виконання лабораторної роботи №4	0 – 5	1	0 – 5
3	захист лабораторної роботи	0 – 5	1	0 – 5
4	складання модульного контролю	0 – 20	1	0 – 20
Разом за модуль 2				0 – 36
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:

- фізико-хімічні властивості природного газу та головні рівняння математичних моделей;
- основні типи турбодетандерів та їх особливості;
- основні принципові схеми ТХУ та їх особливості;
- компресорне обладнання промислових станцій та транзитних ланок.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- відповідно до рекомендацій проводити термогазодинамічні розрахунки турбодетандерів;
- проводити аналіз одержаних результатів.

12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру:

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Захистити всі 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 турбодетандерів, компресорів та обладнання компресорних станцій.

Добре (75-89). Володіти основними знаннями та умінями, що передбачені програмою дисципліни. Захистити всі 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 турбодетандерів, компресорів та обладнання компресорних станцій, аналізувати одержані результати та робити правильні висновки.

Відмінно (90-100). Володіти всіма знаннями та уміннями, що передбачені програмою дисципліни. Захистити всі 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 турбодетандерів, компресорів та обладнання компресорних станцій, 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. Шевченко, М. А. Турбодетандери, компресори і обладнання компресорних станцій [Електронний ресурс]: конспект лекцій. Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2023., 121. URL: <https://mentor.khai.edu/mod/resource/view.php?id=203081>

2. Буслік Л.Н. Газотурбінні установки для енергетики та транспорту газу. Улаштування та системи: уч. посібник. Харків: НПП Контраст, 2013. 152 с. URL: https://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Buslik_Gazoterbinnie_Ustanobki.pdf

3. Баришева, О.С., Фесенко, К.В. Проектування ступеня відцентрового нагнітача: уч. посібник. Харків. Нац. аерокосм. ун-т «ХАІ», 2012. 56 с. https://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Barishev_Proektirovanie.pdf

4. Хоменко, О.С., Волов, О.Г., Чернов С.К. Турбодетандери та обладнання компресорних станцій: в 2-х ч. уч. посібник. Харків. Нац. аерокосм. ун-т «ХАІ», 2005. URL: <https://library.khai.edu/library/fulltexts/m2006/Turbodetandery%20i%20oborudovanie%20kompressorov%20stancij.pdf>

На сайті «Mentor» (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, лабораторних робіт, а також рекомендації для самостійної підготовки;
- приклади розв'язування типових задач чи виконання типових завдань;
- питання для контрольних заходів;
- каталоги інформаційних ресурсів;

14. Рекомендована література

Базова

1. Шевченко, М. А. Турбодетандери, компресори і обладнання компресорних станцій [Електронний ресурс]: конспект лекцій. Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2023., 121. URL: <https://mentor.khai.edu/mod/resource/view.php?id=203081>
2. Єпіфанова, В.І. Компресорні та розширювальні турбомашини радіального типу. М: МВТУ ім. Баумана, 1984. 376 с. URL: <https://mentor.khai.edu/mod/resource/view.php?id=203082>
3. Єпіфанова, В.І. Низькотемпературні радіальні турбодетандери. М.: Машинобудування, 1974. 446 с. URL: <https://mentor.khai.edu/mod/resource/view.php?id=203083>
4. Степанова, Г.С. Фазові перетворення вуглеводневих сумішей газоконденсатних родовищ. М.: Надра 1983. 192 с. URL: <https://mentor.khai.edu/mod/resource/view.php?id=203088>

Допоміжна

1. Волов, О.Г., Кравченко, І.Ф., Фесенко, К.В. Обладнання газоперекачувальних агрегатів та енергетичних установок: Довідковий посібник. Харків, Нац. аерокосм. ун-т «ХАІ», 2008. 65 с. URL: <https://library.khai.edu/library/fulltexts/m2008/Oborudovanie%20gazoperekachivajuschih%20agregatov%20i%20energeticheskikh%20ustanovok.pdf>
2. Axial and Centrifugal Compressors and Expander-compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services. American Petroleum Institute, 1220 street, Northwest Washington, API Std 617: 2002. URL: <http://musco.ir/wp-content/uploads/2020/05/API-Std-617.pdf>
3. Зарянкін, О.Є., Шерстюк, О.М. Радіально-осьові турбіни малої потужності. М.: Машгіз 1963. 248 с. URL: <https://mentor.khai.edu/mod/resource/view.php?id=203084>

15. Інформаційні ресурси

1. <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1110>