


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

Кафедра «Теорії авіаційних двигунів» (№ 201)

ЗАТВЕРДЖУЮ


Гарант освітньої програми
_____ Людмила БОЙКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«_____» _____ 2024 р.

СИЛАБУС ОBOB'ЯЗКBOЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Турбодетандери, компресори і обладнання компресорних станцій

(назва навчальної дисципліни)

Галузь 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 освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Силабус введено в дію з «01» вересня 2024 р.

Харків 2024 р.

Розробник: ШЕВЧЕНКО Михайло, доктор філософії
(прізвище та ім'я, посада, науковий ступінь та вчене звання)

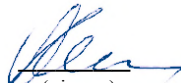


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри теорії авіаційних двигунів (№ 201)

Протокол № 1 від «20» серпня 2024 р.

В.о. завідувача кафедри к.т.н., доцент.
(науковий ступінь і вчене звання)



(підпис) Олег КІСЛОВ
(ім'я та прізвище)

Погоджено з представником здобувачів освіти:



(підпис)

Поліна ГОРБОВА
(ім'я та прізвище)

Загальна інформація про викладача



Шевченко Михайло Анатолійович

Посада: доцент кафедри теорії авіаційних двигунів.

Науковий ступінь: доктор філософії (Ph.D.).

Викладає наступні дисципліни:

- теорія теплових двигунів;
- турбодетандери, компресори і обладнання компресорних станцій;
- експериментальні методи дослідження лопатевих машин;
- екологічні аспекти проектування газотурбінних установок.

Наукові інтереси: математичне моделювання повітряно-реактивних двигунів, узгодження характеристик літака та двигуна, профілювання геометрії та математичне моделювання характеристик надзвукових вхідних пристроїв, врахування впливу «реальних» властивостей робочого тіла на характеристики повітряно-реактивних двигунів, вплив надроторних пристроїв на форму течії в радіальному зазорі і на загальні характеристики компресора та газотурбінного двигуна.

1. Опис навчальної дисципліни

Форма навчання – денна, дистанційна, дуальна.

Семестр, в якому викладається дисципліна – 1 семестр.

Дисципліна – обов'язкова.

Загальна кількість годин за навчальним планом – 180 годин/6 кредитів ЄКТС, у тому числі аудиторних – 64 годин, самостійної роботи здобувачів – 116 годин.

Види занять – лекції, практичні, самостійна робота здобувача.

Види контролю – поточний, модульний та підсумковий (семестровий) контроль (іспит.)

Мова викладання – українська.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: теоретична і практична підготовка майбутніх фахівців до проектування та експлуатації обладнання компресорних станцій.

Завдання: сприяння набуттю знань про обладнання компресорних станцій, схеми та особливості проектування турбодетандерів і компресорів з урахуванням фізико-хімічних і теплофізичних властивостей робочого тіла – природного газу багатоконпонентного складу, розширення кругозору фахівця та виховання вміння всебічного аналізу проблем, що виникають при проектуванні обладнання компресорних станцій.

Після опанування дисципліни здобувач набуде наступні **компетентності**:

- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- Здатність спілкуватися з представниками інших професійних груп різного рівня (з експертами з інших галузей знань/видів економічної діяльності).
- Здатність розробляти проекти та управляти ними.
- Здатність працювати в міжнародному контексті.
- Здатність ухвалювати рішення та діяти, дотримуючись принципу неприпустимості корупції та будь-яких інших проявів не доброчесності.

Спеціальні компетентності:

- Здатність застосовувати спеціалізовані концептуальні знання, що включають сучасні наукові здобутки в сфері енергетичного машинобудування.
- Здатність критично осмислювати проблем і перспектив розвитку у сфері енергетичного машинобудування та дотичних міждисциплінарних проблем.
- 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.

– Здатність аналізувати, оцінювати та застосовувати науково-технічну інформацію в галузі енергетичного машинобудування.

– Здатність розробляти та впроваджувати інноваційні проекти і програми, забезпечувати конкурентоздатність продукції, здійснювати техніко-економічне обґрунтування проектів у галузі енергетичного машинобудування.

– Здатність проектувати та експлуатувати енергетичне і теплотехнологічне обладнання.

– Здатність приймати ефективні рішення з виробництва і експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання з урахуванням вимог щодо якості, екологічності, надійності, конкурентоздатності та охорони праці.

Очікується, що після опанування дисципліни здобувачем будуть досягнуті наступні **результати навчання** і він буде:

– 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.

– 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.

– 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.

– Розробляти і реалізовувати проекти у галузі енергетичного машинобудування та пов’язані з нею міждисциплінарні проекти з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів.

– 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.

– 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.

– 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.

Необхідні обов'язкові попередні дисципліни (пререквізити) – «Математика», «Фізика», «Хімія», «Основи екології», «Технічна термодинаміка», «Гідрогазодинаміка», «Теорія газотурбінних двигунів і установок», «Теорія та розрахунок лопатевих машин», «Теплообмінне обладнання в енергетиці та газовій галузі».

Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити) – «Конверсія авіаційних двигунів в енергоустановки», «Термодинамічний аналіз парогазових циклів».

Дисципліни, для вивчення яких потрібні знання, уміння, навички, інші компетентності, які здобуваються по завершенню вивчення даної дисципліни (постреквізити) – «Переддипломна практика», «Дипломне проектування».

3. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

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

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

– *Загальна кількість годин на тему:* 13-14 годин.

Стисла анотація: предмет вивчення і задачі дисципліни. Місце дисципліни в навчальному плані. Важливість галузі видобутку природного газу, її проблеми та перспективи. Основні складові промислу (видобутку) природного газу. Способи охолодження природного газу. Хімічний склад природного газу. Основні фізичні характеристики та рівняння стану природного газу. Природний газ – загальна характеристика.

– *Теми лекцій:* «Складові видобутку природного газу та способи його охолодження», «Основні фізико-хімічні параметри газової суміші заданого хімічного складу. Загальна характеристика природного газу».

– *Тема практичного заняття:* «Визначення основних теплофізичних і фізико-хімічних параметрів газової суміші».

– *Обсяг самостійної роботи здобувачів:* 13-14 годин, опрацювання матеріалу лекцій та практичного заняття. Формування питань до викладача. Поглиблення знань за питанням лекції основні складові промислу (видобутку) природного газу.

Змістовний модуль 2. Турбодетандер як частина промислових установок.

Тема 2. Турбодетандер як частина промислових установок

– *Загальна кількість годин на тему:* 35-36 годин.

Стисла анотація: детандери, їх призначення і галузь застосування. Типи детандерів. Переваги та недоліки поршневих детандерів і турбодетандерів. Різновиди навантажувальних приладів турбодетандерів. Класифікація ТД за різними параметрами. Конструкція ТД, основні елементи та їх призначення. Схема розширення газу в ступені турбодетандера в h - S -координатах. Турбодетандерний агрегат з дотискним компресором. Низькотемпературна сепарація. Умови роботи промислових ТД. Регулювання турбодетандера та головні регулювальні параметри. Рівняння витрати для турбодетандерів, що працюють на реальному газі. Спільна робота турбодетандера і компресора (характеристика та вплив регулювальних параметрів). Склад турбохолодильних установок. Типові схеми турбохолодильних установок. h - S -діаграма процесів у турбохолодильних установках. Термодинамічний аналіз турбохолодильних установок, поняття ексергії, ексергетичний ККД та види втрат у турбодетандері. Коефіцієнти, що характеризують якість теплообміну. Сепаратори та їх призначення. Головні типи сепараторів, їх особливості. Основні характеристики сепараторів. Розподіл фаз у сепараторі. Призначення утилізаційних турбодетандерних установок. Принципові схеми утилізаційних турбодетандерних установок, які використовуються на газорозподільних станціях і газорозподільних пунктах. Технологічна схема утилізаційної турбодетандерної установки при спільній роботі з повітряною кліматичною системою. Турбодетандерна утилізаційна установка для споживачів, які використовують природний газ із різним тиском. Утилізаційна установка для вироблення електроенергії і зріджених газів. Схема використання ТДА в комбінованому циклі на газотранспортній компресорній станції. Технологічні схеми оброблення природного газу при його видобуванні з використанням турбодетандерного агрегату.

– *Теми лекцій:* «Поняття «детандер», типи детандерів та їх навантажувальні прилади», «Класифікація турбодетандерів, їх конструкція та h - S -діаграма», «Турбодетандери в установках комплексної підготовки газу», «Регулювання турбодетандера», «Принципові схеми турбохолодильних установок», «Принципові схеми сепараторів, їх особливості та характеристики», «Енергоутилізаційні турбодетандерні установки».

– *Теми практичних занять:* «Проектувальний розрахунок ступеня доцентрового турбодетандера», «Проектувальний розрахунок турбіни утилізаційного турбодетандера осьового типу».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 49-50 годин, опрацювання матеріалу лекцій та практичного заняття. Формування питань до викладача. Поглиблення знань з методів проектувального розрахунку сепараторів. Ознайомлення з принципом роботи схем енергоутилізаційних турбодетандерних установок, де турбодетандер є приводом насоса, який подає

воду в канали лопаток соплового апарата СА ГТД, використовується як привід компресора, який забезпечує надув ущільнень та/або охолодження елементів ГТД.

Модульний контроль 1

– *Форма занять:* написання модульної роботи в аудиторії (за рішенням лектора допускається проведення у дистанційній формі).

– *Обсяг аудиторного навантаження:* 2 години.

– *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти):* відсутні.

– *Обсяг самостійної роботи здобувачів* – за необхідністю, підготовка до модульного контролю.

Модуль 2.

Змістовний модуль 3. Компресорне обладнання промислових станцій та транзитних ланок.

Тема 3. Компресорне обладнання промислових станцій та транзитних ланок.

– *Загальна кількість годин на тему:* 9-10 годин.

Стисла анотація: Призначення компресорних станцій. Відцентрові нагнітачі та їх класифікація. Особливості конструкції та робочих процесів у відцентрових нагнітачах. Принцип дії відцентрових нагнітачів. Кінематичні та газодинамічні параметри нагнітачів. Основні геометричні (конструктивні) параметри ступеня нагнітачів. Вхідні пристрої нагнітачів, їх переваги та недоліки. Типи робочих коліс відцентрових нагнітачів. Дифузори нагнітачів, види, переваги та недоліки. Вихідна система нагнітача. Характеристики нагнітачів, їх визначення і види. Комплекс зведення.

– *Тема лекції:* «Компримуюче обладнання компресорних станцій. Нагнітачі природного газу», «Основні характерні параметри відцентрових нагнітачів, їх вхідні пристрої та типи робочих коліс», «Вихідна система відцентрових нагнітачів», «Характеристики нагнітачів природного газу».

– *Теми практичних занять:* «Розрахункове дослідження впливу термодинамічних властивостей реального газу на характеристики відцентрового компресору».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 31-32 години, опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Самостійне опрацювання лекційного матеріалу з наступних питань: вхідні пристрої нагнітачів, їх переваги та недоліки; типи робочих коліс відцентрових нагнітачів; дифузори нагнітачів, види, переваги та недоліки; вихідна система нагнітача.

Модульний контроль 2

– *Форма занять*: написання модульної роботи в аудиторії (за рішенням лектора допускається проведення у дистанційній формі).

– *Обсяг аудиторного навантаження*: 2 години.

– *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти)*: відсутні.

– *Обсяг самостійної роботи здобувачів* – за необхідністю, підготовка до модульного контролю.

4. Індивідуальні завдання

Розрахункова робота на тему «Розрахунок та проектування доцентрового турбодетандера».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 19-20 годин.

5. Методи навчання

Словесні в аудиторії (лекції та практичні заняття), наочні (на лабораторному обладнанні), практичні (на комп'ютерному обладнанні в спеціальних комп'ютерних класах кафедри).

6. Методи контролю

Проведення поточного контролю, письмового модульного контролю, складання реферату та виступ на семінарі за індивідуальним завданням, підсумковий контроль та контроль у вигляді іспиту.

7. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

7.1. Розподіл балів, які отримують здобувачі (кількісні критерії оцінювання)

№	Елемент модуля	бали	Кількість занять	Сумарна кількість балів
Модуль 1				
1	робота на лекційних заняттях			0 - 3
2	виконання практичної роботи №1	0 - 5	1	0 - 5
3	виконання практичної роботи №2	0- 7	1	0 - 7
4	виконання практичної роботи №3	0 - 5	1	0 - 5

5	захист практичної роботи	0 - 4	3	0 - 12
6	складання модульного контролю	0 - 22	1	0 - 22
Разом за модуль 1				0 - 54

Продовження таблиці

Модуль 2				
1	конспект лекцій	0- 3	1	0 - 3
2	виконання практичної роботи №4	0 - 3	1	0 - 3
3	захист практичної роботи	0 - 4	1	0 - 4
4	виконання розрахункової роботи	0 - 10	1	0 - 10
5	захист розрахункової роботи	0 - 8	1	0 - 8
6	складання модульного контролю	0 - 18	1	0 - 18
Разом за модуль 2				0 - 46
Разом з дисципліни				0 - 100

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

Білет для іспиту складається з 2 теоретичних питань (за правильну відповідь на одне питання здобувач отримує 0...50 балів).

7.2. 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.

7.3 Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Захистити всі індивідуальні завдання та практичні 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 індивідуальні завдання та практичні 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 індивідуальні завдання та практичні 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

8. Політика навчального курсу

Відпрацювання пропущених занять відбувається відповідно до розкладу консультацій, за попереднім погодженням з викладачем. Питання, що стосуються академічної доброчесності, розглядає викладач або за процедурою, визначеною у Положенні про академічну доброчесність.

9. Методичне забезпечення

1. Шевченко, М. А. Турбодетандери, компресори і обладнання компресорних станцій [Електронний ресурс] : консп. лекцій / М. А. Шевченко. – Харків :Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2023. – 128 с. (URL: https://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Shevchenko_Turbodet.pdf)

2. Шевченко, М. А. Турбодетандери, компресори і обладнання компресорних станцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. до лаб. робіт / М. А.

Шевченко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2024. – 58 с (URL: https://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Turbodetandery_Kompresory_I_Obladnannya_Kompresornykh_Stantsiy.pdf)

3. Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням: <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1110>

10. Рекомендована література

Базова

1. Mokhatab, S. Handbook of Natural Gas Transmission and Processing Principles and Practices / S. Mokhatab, W. A. Poe, J. Y. Mak. – Kidlington; Elsevier Inc. Publisher. – 4th edition, 2019. – 826 p. (URL: https://www.academia.edu/43151599/Handbook_of_Natural_Gas_Transmission_and_Processing_Principles_and_Practices_Fourth_Edition)

2. Nezym, V. Yu. Gas-Dynamic Design of Axial Flow Gas Turbine : laboratory work manual in English / V. Yu. Nezym, G. V. Pavlenko. – Kharkiv : National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, 2015. – 52 p. (URL: https://mentor.khai.edu/pluginfile.php?file=%2F450131%2Fmod_resource%2Fcontent%2F1%2Fmetod-N44new_en.pdf)

3. Nederstigt, P. Real Gas Thermodynamics and the Isentropic Behavior of Substances / P. Nederstigt. – Delft University of Technology Publisher, 2017. – 112 с.

Допоміжна

1. 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>

2. Ambrozhevich, M. V. Equations of Average Isobaric Heat Capacity of Air and Combustion Gases with Influence of Pressure and Effect of Thermal Dissociation / M. V. Ambrozhevich, M. A Shevchenko // Aerospace technic and technology. 2019. No. 2(154). P. 18–29. (DOI: <https://doi.org/10.32620/akt.2019.2.02>)

11. Інформаційні ресурси

1. NIST Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties Database (REFPROP) : Version 10 [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nist.gov/srd/refprop> – (дата звернення: 26.11.2024) – Назва з екрану.

2. Кафедра теорії авіаційних двигунів [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://k201.khai.edu/> – (дата звернення: 26.11.2024) – Назва з екрану.