

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

Кафедра № 201 «Теорії авіаційних двигунів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова НМК 1

Сергій НИЖНИК

«___» _____ 2024 р.

**СИЛАБУС
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ЛОПАТЕВИХ МАШИН

(назва навчальної дисципліни)

Дисципліна індивідуального вибору 1

Галузі знань

*13 «Механічна інженерія», 14 «Електрична інженерія»,
27 «Транспорт»*

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальності

*131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування»,
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,
142 «Енергетичне машинобудування», 144 «Теплоенергетика»,
274 «Автомобільний транспорт»*

(код та найменування спеціальності)

**Освітні
програми**

*Роботомеханічні системи і логістичні комплекси,
Комп'ютерний інжиніринг, Нетрадиційні та відновлювальні
джерела енергії, Газотурбінні установки і компресорні станції,
Комп'ютерно-інтегровані технології проектування
енергетичних систем, Автомобілі та автомобільне
господарство*

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Вводиться в дію з «01» вересня 2024 р.

Харків 2024 рік

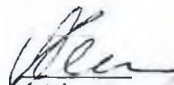
Розробник: ШЕВЧЕНКО Михайло, доктор філософії
(прізвище та ім'я, посада, науковий ступінь та вчене звання)


(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 – вибіркова.

Загальна кількість годин за навчальним планом – 150 годин/5 кредитів ЄКТС, у тому числі аудиторних – 64 годин, самостійної роботи здобувачів – 86 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: теоретично і практично підготувати майбутніх фахівців до експериментальних досліджень лопатевих машин.

Завдання: надання знань про сучасні методи математичної обробки результатів досліджень та методики експериментальних досліджень теплотехнічних, газодинамічних й вібраційних процесів, що відбуваються у лопатевих машинах. Формування умінь проводити експериментальні дослідження лопатевих машин.

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

- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- 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 проєктів у галузі енергетичного машинобудування.

– Здатність до усвідомлення принципів та норм академічної доброчесності.

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 проєктах.

– 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.

– 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.

– Управляти складними робочими процесами у галузі енергетичного машинобудування, у тому числі такими, що є непередбачуваними та потребують нових стратегічних підходів.

Необхідні обов’язкові попередні дисципліни (пререквізити) – технічна термодинаміка, гідрогазодинаміка, теорія та розрахунок лопатевих машин, теплотехнічні вимірювання і прилади..

Необхідні обов’язкові супутні дисципліни (кореквізити) – відсутні.

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. Теплотехнічні дослідження лопатевих машин та контроль вібраційних характеристик.

Тема 1. Основні параметри течії у газоповітряному тракті лопатевих машин і газотурбінних двигунів (ГТД), що необхідні для визначення їхніх характеристик.

– *Загальна кількість годин на тему:* 29-30 годин.

Стисла анотація: предмет вивчення і задачі дисципліни. Місце дисципліни в навчальному плані. Особливості вивчення дисципліни, навчальна література. Призначення компресорів ГТД, їх типи і основні вимоги до них. Основні параметри компресорів. Схема і принцип дії ступені осьового компресора. Зміна параметрів повітря в ступені компресора. Втрати енергії при русі повітря вздовж ступені осьового компресора. Характеристики компресорів. Призначення турбін ПвРД, їх типи і основні вимоги до них. Основні параметри ступеня турбіни. Схема і принцип дії ступеня осьової турбіни. Зміна параметрів газу в ступені турбіни. Втрати енергії при русі газу уздовж проточної частини ступеня турбіни. Основні відомості про характеристики газової турбіни. Характеристики газових турбін. Умови подібності течії. Критерії, що визначають режим роботи лопаткової машини. Допущення про кількість критеріїв при дотриманні подібності в лопаткових машинах. Критерії подібності у параметрах лопаткових машин.

– *Теми лекцій:* «Вступ до дисципліни «Експериментальні методи досліджень лопатевих машин»», «Компресори ГТД. Теорія ступеня компресора ГТД», «Параметри та характеристики компресорів», «Турбіни ГТД. Теорія ступеня осьової газової турбіни», «Параметри та характеристики турбін», «Критерії подібності процесів у лопаткових машинах».

– *Тема практичного заняття:* «Вимірювання тиску в проточній частині компресора», «Вимірювання температури в проточній частині компресора», «Вимірювання швидкості в проточній частині компресора», «Перерахунок характеристики ступеня компресора на задані параметри на вході використовуючи характеристику компресора в зведених параметрах».

– *Обсяг самостійної роботи здобувачів:* 17-18 годин, опрацювання матеріалу лекцій та практичного заняття. Формування питань до викладача. Поглиблення знань за темами критерії подібності лопаткових машин, які працюють на різних робочих тілах.

Тема 2. Контроль вібраційних характеристик лопатевих машин ГТД.

– *Загальна кількість годин на тему:* 11-12 годин.

Стисла анотація: параметри, що характеризують вібрації. Роторна вібрація. Вібрація аеродинамічного походження. Вібрація, що збуджується редукторами та зубчастими передачами. Вібрація підшипникових вузлів. Вібрації, що збуджуються лопатками, що коливаються, і дисками. Вібрація агрегатів та трубопроводів. Кінематичний метод вимірювання вібрацій. Динамічний метод вимірювання вібрацій. Вимірювальні перетворювачі вібрації, шуму та удару. Перетворювачі інерційної дії. Резистивні перетворювачі вібрації (тензометри). Вимірювання акустичного шуму. Формування завдання з визначення норм вібрацій. Розпізнавання стану об'єкту щодо зміни вібрації в процесі напруження. Розпізнавання стану об'єкту на основі еталонних комплексів діагностичних ознак. Розпізнавання стану об'єкту методами статистичної класифікації. Розпізнавання стану об'єкту за обмеженою кількістю діагностичних ознак.

– *Теми лекцій:* «Вібрація в лопатевих машинах ГТД. Джерела вібрації в авіаційних двигунах», «Метод вимірювання вібрацій», «Методи розпізнавання у вібраційній діагностиці ГТД».

– *Тема практичного заняття:* «Вимірювання вібрацій відцентрового компресора».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 37-38 годин, опрацювання матеріалу лекцій та практичного заняття. Формування питань до викладача. Самостійне вивчення наступних тем: «Спектральний аналіз вібраційних сигналів. Амплітудно-частотна характеристика вібрації»; «Методи спектрального оцінювання вібраційних сигналів. Основні ознаки визначення причин виникнення вібрації для різних джерел вібрації»; «Стационарні і портативні вібровимірювачі та віброаналізатори. Фільтрація сигналів. Застосування комп'ютерних програмних засобів для обробки аналогових і цифрових сигналів».

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 2. Теорія планування експерименту.

Тема 3. Математичні методи планування випробувань лопатевих машин.

– *Загальна кількість годин на тему:* 17-18 годин.

Стисла анотація: Характерні особливості теорії планування експерименту. Типи завдань які вирішують при випробуваннях ГТД. Характеристика лопаткової машини у вигляді рівняння регресії – поліноміальна модель. Факторні плани експерименти типу 2^n . Визначення факторів та ефектів взаємодії. Визначення коефіцієнтів регресії. Дробові репліки планів 2^n . Обчислення середніх оцінок та виявлення грубих помилок. Перевірка відтворюваності дослідів та однорідності дисперсії. Перевірка значущості коефіцієнтів регресії. Перевірка адекватності рівняння регресії. Факторні плани експерименти типу 3^n . Центральне композиційне планування. Ортогональне центральне композиційне планування. Рототабельне центральне композиційне планування. Класифікація методів оптимізації параметрів двигуна та його вузлів. Градієнтні методи оптимізації. Безградієнтні методи оптимізації. Метод крутого сходження. Симплексний метод оптимізації. Однофакторний експеримент – знаходження факторів, що впливають. Двофакторний експеримент – знаходження факторів, що впливають. Багатофакторний експеримент – знаходження факторів, що впливають.

– *Теми лекцій:* «Особливості теорії планування експерименту вузлів ГТД», «Визначення характеристик двигуна та його вузлів», «Оптимізація параметрів двигуна та його вузлів», «Задачі знаходження факторів, що впливають».

– *Теми практичних занять:* «Визначення моделі залежності потужності ТВаД від приведених обертів турбокомпресора та вільної турбіни».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 29-30 годин, опрацювання матеріалу лекцій та практичного заняття. Формування питань до викладача. Самостійне вивчення питань за темою лекції «Оптимізація параметрів двигуна та його вузлів»: латинські та греко-латинські квадрати; отримання латинських квадратів дробленням планів; латинські прямокутники.

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

Індивідуальні завдання не передбачені навчальним планом.

5. Методи навчання

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

6. Методи контролю

Проведення поточного контролю, захист звітів з практичних робіт, модульних контролів, остаточного контролю 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 за одне заняття (завдання)	Кількіст ь занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1				
1	робота на лекційних заняттях	0 – 6	1	0 – 3
2	виконання практичних робіт	0 – 4	5	0 – 20
3	захист практичних робіт	0 – 2	5	0 – 10
4	складання модульного контролю	0 – 18	1	0 – 17
Разом за модуль 1				0 – 50
Модуль 2				
1	робота на лекційних заняттях	0 – 6	1	0 – 6
2	конспект лекцій	0 – 5	1	0 – 5
3	виконання практичних робіт	0 – 10	1	0 – 10
4	захист практичних робіт	0 – 5	1	0 – 6
5	складання модульного контролю	0 – 18	1	0 – 23
Разом за модуль 2				0 – 50
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.

7.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

- методики та засоби вимірювання теплотехнічних параметрів лопатевих машин і ГТД та обробки дослідних даних;
- методи та засоби вимірювання вібраційних сигналів і їх оброблення;
- математичні методи дослідження характеристики ГТД і його вузлів;

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

- розрахувати теплотехнічні характеристики лопатевих машин і ГТД за результатами дослідних вимірювань;
- користуватися сучасними математичними методами планування досліджень лопатевих машин і ГТД;
- визначати джерела вібрацій та їх природу;

мати уявлення:

- про процеси, що відбуваються у лопатевих машинах і ГТД на основі аналізу дослідних даних;
- про заходи щодо поліпшення характеристик лопатевих машин і ГТД за результатами дослідженої інформації.

7.3 Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Виконати всі практичні роботи. Знати основні положення дисципліни при недостатньо глибокому засвоєнні логічних зв'язків між частинами, що складають єдину систему. Вміти визначати теплотехнічні характеристики лопатевих машин і ГТД за результатами дослідних вимірювань.

Добре (75-89). Володіти основними знаннями та уміннями, що передбачені програмою дисципліни. Виконати та захистити всі 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. Вміти визначати теплотехнічні характеристики лопатевих машин і ГТД за результатами

дослідних вимірювань та користуватися сучасними математичними методами планування досліджень лопатевих машин і ГТД, аналізувати одержані результати та робити правильні висновки.

Відмінно (90-100). Володіти всіма знаннями та уміннями, що передбачені програмою дисципліни. Виконати та захистити всі 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. Вміти визначати теплотехнічні характеристики лопатевих машин і ГТД за результатами дослідних вимірювань, користуватися сучасними математичними методами планування досліджень лопатевих машин і ГТД, визначати джерела вібрацій та їх природу, аналізувати одержані результати, робити правильні висновки про процеси, що відбуваються у лопатевих машинах і ГТД 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. Філоненко О.О., Бережний В.Ю., Кудін М.М. Аналіз сигналів датчиків при випробуваннях ГТД. Х: ХАІ. 2009. – 36 с. URL: https://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Filonenko_Analiz_Sihnaliv.pdf
2. Чигрін В.С. Віброакустика і вібродіагностика авіаційних двигунів [Текст]: навч. посіб. / В.С. Чигрін, С.І. Суховій. – Харків: ХАІ, 2012. – 264 с. URL: <https://k203.khai.edu/#lib>

3. Шевченко М.А. Експериментальні методи досліджень лопатевих машин [Електронний ресурс]: [Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського “Харків. авіац. ін.-т”]. – Режим доступу: <https://mentor.khai.edu/mod/resource/view.php?id=244814> (дата звернення 28.08.2024) – Назва з екрану.

4. Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням: <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=8526>

10. Рекомендована література

Базова

1. Герасименко В.П. Теорія авіаційних двигунів. // Підручник – Харків: «ХАІ», 2003. URL: <https://library.khai.edu/library/fulltexts/m2003/Teorija%20aviacijnih%20dviguniv.pdf>

2. Мотигін, В.В., Планування експерименту в інженерних дослідженнях [Текст]: навчальний посібник з лабораторного практикуму. / В.В. Мотигін, С.М. Павлов. – Вінниця: ВДТУ, 2001, – 82 с. URL: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2015/Motygin_2001_82.pdf

3. СОУ 49.5-30019801-115:2014 Правила технічної експлуатації магістральних газопроводів.

Допоміжна

1. Заміховський Л.М. Дослідження вібраційного стану осьового компресора ГПА ГТК-25ї фірми «Нуово Піньйоне» [Текст] / Л.М. Заміховський, В.В. Павлик // Методи та прилади контролю якості. – 2014. – №1 (32), С. 28-38. URL: <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/3262/1/3520p.pdf>

2. Горбійчук, М. І. Діагностичні показники технічного стану газо-перекачувального агрегату. [Текст] / М. І. Горбійчу, Я.І. Заячук // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – №6/3 (48). С. 43-45. URL: <https://core.ac.uk/download/433800005.pdf>

3. Методи цифрової обробки сигналів для вібраційної діагностики двигунів Монографія / Н.І. Бурау, Х.В. Яцко, О.М. Павловський, Ю.В. Сопілка. – К.: НАУ, 2012. – 152 с.

11. Інформаційні ресурси

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