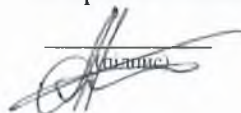


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра «Теорії авіаційних двигунів» (№ 201)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



Л.Г. Бойко

(ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2021 р.

СИЛАБУС ОБОВ'ЯЗКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Газодинамічна нестійкість турбокомпресорів

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 14 Електрична інженерія
(цифра 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 01.09.2021 року

Харків – 2021 р.

Розробник: Герасименко В.П., д.т.н., проф.
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

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

Протокол № 1 від « 31 » серпня 2021 р.

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


(підпис)

Л.Г. Бойко
(ініціали та прізвище)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

студент гр 251м


(підпис)

Гордєнко М.М.
(ініціали та прізвище)

1. Загальна інформація про викладача



Герасименко Володимир Петрович, д.т.н., професор. З 1973 року працює на різних посадах викладача: асистента, старшого викладача, доцента, а з 2001 р. – професора кафедри теорії авіаційних двигунів. Протягом всього зазначеного періоду залучався до викладання різних дисциплін:

- аеродинаміка;
- газова динаміка;
- термодинаміка;
- теплопередача;
- теорія турбомашин;
- теорія повітряно-реактивних двигунів;
- експериментальні методи дослідження лопаткових машин і ГТД;
- екологічні аспекти проектування ГТД;
- конструкція авіаційних двигунів;
- газодинамічна нестійкість турбокомпресорів;
- газотурбінні установки, компресорні станції та газотурбінні мережі.
- авіаційні двигуни та енергетичні установки;
- випробування авіаційних двигунів;
- теорія теплових двигунів;
- теорія комбінованих двигунів;
- теплотехнічні вимірювання;
- спеціальні розділи математики з математичного моделювання ПРД та їх інтеграції з літаками;

Напрями наукових досліджень: газодинамічна нестійкість турбокомпресорів, турбопоршневих та ГТД; вібраційне горіння;; методи математичного моделювання і оптимізації робочих процесів в ГТД нафтогазовидобування; енергетика та нетрадиційні форми енергії; біотехнологічні і екологічні проблеми та безпека життєдіяльності; перспективи розвитку транспортних засобів; інтелектуальні можливості людини та заходи їх розширення; методологічні аспекти прискорення освітнього процесу в ВНЗ та довузівського навчання; Порівняльний аналіз отримання освіти в технічно передових країнах світу та видання конкурентоспроможних підручників. Економіка освітнього процесу.

2. Опис навчальної дисципліни

Семестр, в якому викладається дисципліна – 2 семестр.

Обсяг дисципліни:

- 6 кредити ЄКТС (180 годин), у тому числі аудиторних – 48 годин, самостійної роботи здобувачів – 132 годин.

Форми здобуття освіти

Денна, дистанційна, дуальна.

Дисципліна – обов'язкова.

Види навчальної діяльності – лекції, лабораторні заняття, самостійна робота здобувача.

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

Мова викладання – українська.

Необхідні обов'язкові попередні дисципліни (пререквізити) – «Теорія і розрахунок лопаткових машин», «Гідрогазодинаміка», «Теорія газотурбінних двигунів і установок», «Газотурбінні установки, компресорні станції та газотранспортні мережі».

Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити) – науково-дослідницька робота магістра, переддипломна практика, дипломне проектування.

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета: теоретично і практично підготувати майбутніх фахівців до аналізу стійкості роботи турбокомпресорів.

Завдання: надання знань про порушення газодинамічної стійкості турбокомпресорів і газотурбінних двигунів, типи нестійких режимів та методи їх дослідження і математичного моделювання. А також про заходи щодо його прогнозування та запобігання та ліквідації нестійкої роботи турбокомпресорів.

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

- 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 працювати в команді, приймати рішення, у тому числі в екстремальній ситуації, та нести за них відповідальність.
- здатність робити довгострокове планування та розробляти

- здатність вести професійну, у тому числі науково-дослідну діяльність у міжнародному середовищі.
- здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.
- здатність продемонструвати всебічні знання в галузі газотурбобудування та перспективи її розвитку.
- здатність продемонструвати передові знання в газотурбобудуванні; енергозберігаючих технологіях; компресорних станціях.
- здатність застосовувати свої знання і розуміння для визначення, формулювання і вирішення складних інженерних завдань з використанням спеціальних і загальнонавчаних 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.

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

- 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 вироби 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 нефаківців, зокрема до осіб, які навчаються.
- здатність до розуміння необхідності самостійного

4. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

*Змістовний модуль 1. **Порушення газодинамічної стійкості турбокомпресорів і ГТД.***

Тема 1. Проблема порушення газодинамічної стійкості ГТД та інших систем. Наслідки, до яких вона призводить.

- *Форма занять: лекція, лабораторні заняття, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 4-6 години.*
- *Лабораторна робота «Критерії відриву приграничного шару; критерії дифузورності».*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): плакати авіаційних двигунів, схеми стендів, макети двигунів.*

Товщини приграничного шару: витіснення; втрати імпульсу; втрати енергії. Критерії дифузорності: Лібляйна; Р.М. Федорова; М.М. Савіна, та Брусиловського.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16-18 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 2. Нестійкі режими роботи турбомашин.

- *Форма занять: лекція, лабораторні заняття, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 4-6 години.*
- *Лабораторна робота: «Характеристика відцентрового компресора (ВЦК) з реєстрацією межі нестійкості»*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): експериментальний стенд ВЦК.*

Типи та форми нестійких режимів роботи та області їх виникнення. Взаємозв'язок між цими формами. Напрямки досліджень порушення стійкості і нестійких режимів роботи різних газодинамічних систем.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16-18 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 3. Зрив течії у решітках турбомашин.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 6-8 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): плакати авіаційних двигунів, схеми стендів, макети двигунів.*

Зрив течії – як першопричина виникнення нестійких режимів роботи турбомашин. Критерії зриву у компресорних решітках, лопатевих вінцях та ступенях.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16-18 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 4. Обертовий зрив у компресорах.

- *Форма занять: лекція, лабораторні заняття, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 6-8 годин.*
- *Лабораторна робота «Трикутники швидкостей ступені осьового компресора».*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): лабораторний стенд осьового ступеня.*

Моделі обертового зриву: малих збурень, двовимірні, тривимірні, ступеневі. Особливості обертового зриву у відцентрових компресорах і нагнітачах природного газу, у тому числі з назад загнутими лопатками робочих колес.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16 - 18 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 5. Помпаж у гідравлічних системах з компресором.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*

- *Обсяг аудиторного навантаження: 6 - 8 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

- Статична та динамічна нестійкість роботи компресора в гідравлічній мережі. Помпаж в системах з компресорами. Система рівнянь газової динаміки для опису помпажу. Математичне моделювання порушення газодинамічної стійкості газотурбінних двигунів та установок. Вплив акустичного імпедансу на порушення стійкості. Помпаж в газопроводах.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16 - 18 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

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. Прогнозування порушення газодинамічної стійкості турбокомпресорів і ГТД та заходи щодо її усунення та попередження.

Тема 6. Засоби реєстрування нестійкості ГТД. Регулювання ГТД та локальні пристрої із забезпечення стійкої роботи турбокомпресорів і ГТД в цілому.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 6 - 8 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): Плакати та макети авіаційних двигунів.*

- Відновлення беззривних режимів роботи компресорів у системі ГТД чи ГТУ. Щілинні пристрої та методи регулювання для захисту від нестійких режимів роботи компресора. Щілинні пристрої у відцентрових компресорах наддуву дизелів.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 18 - 20 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 7. Вібраційне горіння у камерах згоряння ГТД, ГПА та боротьба з ним.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 6 - 8 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Вібраційне горіння в основних камерах згоряння ГТА типу ДН80. Вібраційне горіння в форсажних камерах згоряння авіаційних ТРДДФ. Багаторежимних літаків.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 18 - 20 годин.

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.*

5. Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання не передбачені навчальним планом

6. Методи навчання

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

7. Методи контролю

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

8. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
<i>Модуль 1. Змістовний модуль 1</i>			
Активність під час аудиторної роботи	0...3	4	0...12
Виконання і захист лабораторних робіт	0...3	4	0...12
Складання модульного контролю	0...26	1	0...26
Модульний контроль 1			0...50
<i>Модуль 2. Змістовний модуль 2</i>			
Активність під час аудиторної роботи	0...3	7	0...21
Конспект лекцій	0...4	1	0...4
Складання модульного контролю	0...25	1	0...25
Модульний контроль 2			0...50
<i>За семестр</i>			0...100

Прийнята шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка для екзамену, курсового проекту (роботи), практики
90-100	відмінно
75-89	добре
60-74	задовільно
01-59	незадовільно з можливістю повторного складання

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

Під час складання семестрового іспиту здобувач має можливість отримати максимум 100 балів.

Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Задовільно (60-74) – мати мінімум знань і умінь для забезпечення програмних результатів навчання. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи.

Добре (75-89) – знати основні теми дисципліни, що визначають рівень компетентності здобувача. Знати типи нестійких режимів роботи та уміти розпізнавати їх за результатами вимірювань на лабораторних стендах, а також системами контролю в експлуатаційних умовах.

Відмінно (90-100) – мати знання, що дозволять самостійно, вільно та обґрунтовано пояснити явища пов'язані з порушенням стійкості турбокомпресорів та ГТД.

9. 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.

10. Методичне забезпечення та інформаційні ресурси

Підручники, навчальні посібники, навчально-методичні посібники, конспекти лекцій, методичні рекомендації з проведення лабораторних робіт наведені в п.11 Рекомендована література.

•Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:

<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1896>

11. Рекомендована література

Базова

1. Ершов В.Н. Неустойчивые режимы турбомашин. Вращающийся срыв.– М.: Машиностроение, 1966.– 180 с.
2. Нечаев Ю.Н., Федоров Р.М. Теория авиационных газотурбинных двигателей. – Ч. 1. – М.: Машиностроение, 1977. – 312 с.
3. Холщевников К.В. Теория и расчёт авиационных лопаточных машин. – М.: Машиностроение, 1970. – 610 с.
4. Холщевников К.В., Емин О.Н., Митрохин В.Т. Теория и расчет авиационных лопаточных машин.– М.: Машиностроение, 1986.– 432 с.
5. Кампсти Н. Аэродинамика компрессоров: пер. с англ. – М.: Мир. – 2000. – 688 с.
6. Нестационарные явления в турбомашинах / Численное моделирование и эксперимент / В.Г. Августович, А.А. Иноземцев, Ю.Н. Шмотин и др. – Екатеринбург. – 1999. – 280 с.
7. Казакевич В.В. Автоколебания (помпаж) в компрессорах.– М.: Машиностроение, 1974.– 264 с.
8. Письменный И.Л. Многочастотные нелинейные колебания в газотурбинном двигателе. – М.: Машиностроение, 1987. – 128 с.
9. Чжен П. Отрывные течения. В 3-х томах. – М.: Мир. – 1972-1973 г.г.
10. Томпсон Дж.М.Т. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике.– М.: Мир, 1985.– 254 с.
11. Газовая динамика двигателей и их элементов. Тематич. сборник науч. тр. ХАИ. – Х.: 1979. – Вып. 1; 1983. – Вып. 2; 1987. – Вып. 3.

12. Герасименко В.П. Анализ процессов и разработка методов повышения эффективности компрессоров на нерасчетных режимах работы. // Дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. – Харьков, 1993. – 352 с.
13. Герасименко В.П. Налесный Н.Б. Механизмы вибрационного горения в камерах сгорания ГТД // Авиац.-косм. техника и технология. – 2006. – №3/29. – С. 48-52.
14. Грейтцер. Явление срыва потока в осевых компрессорах (обзор). // Теоретические основы инженерных расчетов, 1980. – № 2. – С. 72-97.
15. Грейтцер. Устойчивость насосных систем. – Фримановская лекция. // Теоретические основы инженерных расчетов, 1981. – № 2. – С. 114-180.
16. Натанзон М.С. Неустойчивость горения. – М.: Машиностроение, 1986. – 248 с.

Допоміжна

17. Публікації за різними напрямками з проблеми ГД нестійкості.
18. Раушенбах Б.В. Вибрационное горение. – М.: Физматгиз, 1961. – 500 с.
19. Ronald C. Pampreen. Compressor Surge and Stall // www.conceptsnrec.com/education@conceptsnrec.com.
20. Рот, Ранстадлер. Модель помпажа в насосе // ТОИР, 1978. – № 4. – С. 177-185.
21. Стеннинг. Вращающийся срыв и помпаж // ТОИР, 1980. – № 1. – С. 129-136.
22. Джексон. Развитие срывных зон в осевом компрессоре // ЭМУ, 1988. №4. – С. 24-33.
23. Грейтцер, Никканен и др. Критерий применимости специальной обработки корпуса компрессора // ТОИР, 1979, №2. – С. 157-165.
24. Таката, Цукуда. Механизм и эффективность повышения запаса по срыву с помощью перфорирования поверхности корпуса // ЭМУ, 1977. №1. – С. 134-147.
25. Смит, Камсти. Особенности течения в компрессоре со щелями, проточенными в корпусе // ЭМУ, 1984. №3. – С. 113. (анн.)
26. Джонсон, Грейтцер. Влияние специальной обработки ограничивающих поверхностей компрессора на поле течения // ЭМУ, 1988. №3. – С.49.
27. Sparks C.R. On the transient interaction of centrifugal compressor and their Piping System // Journal of Engineering for Power, 1983, №4, vol. 103, p.p. 841-901.
28. Фринге, Ван-ден-Бранбюссе. Типы вращающегося срыва в РК и диффузорах ЦБК // ЭМУ, 1984. №2. – С. 93-100. (1985. №2. – С. 206-207.)
29. ТОИР, 1977, №1.
30. Киносита, Сэноо. Вращающийся срыв в межлопаточных диффузорах ЦБК с очень малым коэффициентом быстроходности // ЭМУ, 1988. №2. – С. 172-179.