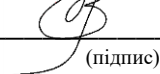


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра «Конструкцій і проектування ракетної техніки» (№401)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Владислав СЕРЕДА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«31» 08 2023 р.

СИЛАБУС ОБОВ'ЯЗКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Конструкція і проектування турбонасосних агрегатів

(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: Ракетні двигуни та енергетичні установки

(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Силабус введено в дію з 01.09.2023 року

Харків – 2023 р.

Розробник: Грищенко О.В. старший викладач каф.401
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)

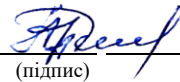


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри конструкцій і проектування ракетної техніки (№ 401)

Протокол № 01 від «31» серпня 2023 р.

Зав. кафедри: к. т. н., доц.
(наукова ступінь та вчене звання)



(підпис)

Ганна КОЛОСКОВА
(ім'я та прізвище)

1. Загальна інформація про викладача



Грищенко Олександр
Володимирович, старший
викладач. З 2008 з року викладає
в університеті наступні
дисципліни:

- автоматичне регулювання ракетних двигунів;
- конструкція і проектування турбонасосних агрегатів;
- живлення і керування ракетних двигунів;
- основи автоматики.

Напрями наукових досліджень: методи аналогового акустичного моделювання високочастотної нестійкості камер рідинних ракетних двигунів.

2. Опис навчальної дисципліни

Семестр, в якому викладається дисципліна – 7, 8 семестри.

Обсяг дисципліни:

12 кредитів ЄКТС (360 годин), у тому числі аудиторних – 152 години, самостійної роботи здобувачів – 208 годин.

Форми здобуття освіти

Денна, дистанційна, дуальна.

Дисципліна – обов'язкова.

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

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

Мова викладання – українська.

Необхідні обов'язкові попередні дисципліни (пререквізити) – прикладна гідро газодинаміка, палива ракетних двигунів, системи постачання палива ракетних двигунів.

Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити) – конструкція і проектування ракетних двигунів.

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета

1. Формування у слухачів дисципліни комплексу базових знань, умінь і навичок в області проектування турбонасосних агрегатів та їх вузлів, які мають свої особливості компоновальної схеми, конструкції або пристрійів вузлів, а також формування уявлень про перспективи розвитку ракетних двигунів.
2. Забезпечити високу професійну підготовку інженерів-конструкторів у області практичного застосування основних ідей і методів конструювання турбонасосних агрегатів рідинних ракетних двигунів.

Завдання

1. Засвоєння основних положень теорії лопаткових машин, термодинамічних процесів в лопаткових машинах, їх характеристик і на їх основі придбання навичок щодо особливостей проектування турбонасосних агрегатів.
2. Оволодіти практичними навичками в розробці конструкції турбонасосного агрегату з високими експлуатаційними характеристиками, виконання основних проектних розрахунків шнеко-відцентрових насосів і газових турбін в складі турбонасосного агрегату.

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

Здатність проектувати та проводити випробування елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки, її обладнання, систем та підсистем.

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

- знати особливості типових конструкційних схем ТНА, від яких факторів залежить раціональний вибір конструкційної схеми;

- знати які силові навантаження діють на структурні елементи ТНА та як їх можливо визначити;

- знати які існують конструктивні особливості головних елементів ТНА – насосів, турбін, опор та ущільнень;

- вміти описувати навантаження на головні елементи ТНА за допомогою рівнянь;

- вміти раціонально вибирати їх конструкцію.

4. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовний модуль 1.

Тема 1. Вступ до навчальної дисципліни «Конструкція і проектування турбонасосних агрегатів»

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 1 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Предмет вивчення і задачі дисципліни. Місто дисципліни у навчальному плані. Основні етапи розвитку турбонасосних агрегатів, сучасний стан.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 2 години.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Історичний огляд розвитку ТНА РРД.

Тема 2. Конструкційні схеми турбонасосних агрегатів.

- *Форма занять: лекція, лабораторні роботи, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 37 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): Лабораторні роботи: «Конструктивні схеми ТНА РРД однороторної одновальної конструкції з консольним розміщенням турбіни», «Конструктивні схеми ТНА РРД відкритої схеми однороторної конструкції з центральним розміщенням турбіни», «Конструктивні схеми бустерних ТНА РРД», «Конструктивні схеми ТНА РРД однороторної багатовальної конструкції з консольним розміщенням турбіни», «Конструктивні схеми ТНА кисенево-водневих РРД», атласи «Конструкції агрегатів рідинних ракетних двигунів» і описи до них.*

Конструкційні схеми турбонасосних агрегатів та умови для її вибору. Класифікаційні признаки і аналіз конструкційних схем ТНА: за типом ротору (кінематика обертання); за типом насосів; за типом турбіни; за кількістю ступенів насосу; за кількістю насосів та турбін; за кількістю опор валів; за кількістю валів у роторі; за розміщенням турбіни відносно опор; за розміщенням насосів відносно турбіни; за взаємною орієнтацією насосів та турбіни Головні фактори, що впливають на вибір конструкційних схем ТНА.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 32 години.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення з рівнями декомпозиції структурних елементів ТНА та

системами (підсистемами) конструкційної системи: газодинамічною, кінематични та ін. Ознайомлення з підсистемою геометричної структури. Оформлення лабораторних робіт та підготовка до їх здачі.

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.

Змістовний модуль 2.

Тема 3. Навантаження, що діють на структурні елементи ТНА.

Форма занять: *лекція, самостійна робота.*

- *Обсяг аудиторного навантаження: 14 годин.*

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

Класифікація навантажень. Гідро- та газодинамічні навантаження. Вісьові сили. Принципи зниження вісьових сил. Радиальні сили та принципи їх зниження. Інерційні сили та принципи їх зниження.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 34 години.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення термінів та визначень. Блок-схема силової системи ТНА. Критичні елементи, що визначають рівень надійності ТНА.

Тема 4. Силкові схеми ТНА.

- *Форма занять: лекція, лабораторна робота, самостійна робота.*

- *Обсяг аудиторного навантаження: 16 годин.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): Лабораторна робота: «Особливості силових схем ТНА РРД», атласи «Конструкції агрегатів рідинних ракетних двигунів» і описи до них.*

Силкові схеми роторів ТНА за вісьовими зв'язками. Силкові схеми роторів ТНА за окружними зв'язками. Силкові схеми роторів ТНА за радіальними зв'язками: силкові схеми роторів однороторних ТНА; силкові схеми роторів багатороторних ТНА. Силкові схеми статорів ТНА за радіальними зв'язками. Кріплення ТНА до РРД. Головні закономірності розвитку конструктивних схем ТНА.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 40 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення з алгоритмізацією синтезу силових схем ТНА. Вивчення особливостей розрахунку радіальних навантажень у парціальних турбінах. Вивчення статичної та динамічної нерівноваженості роторів ТНА. Ознайомлення з діаграмами вісьових сил, що діють у ТНА. Оформлення лабораторної роботи та підготовка до її здачі.

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.

Модуль 2.

Змістовний модуль 3.

Тема 5. Насоси ТНА.

- *Форма занять: лекція, практичні заняття, лабораторна робота, самостійна робота.*

- *Обсяг аудиторного навантаження: 16 годин.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): Лабораторна робота: «Особливості конструкції відцентрових насосів ТНА», атласи «Конструкції агрегатів рідинних ракетних двигунів» і описи до них.*

Класифікація насосів ТНА за їх конструктивними особливостями. Крильчатки відцентрових насосів – схеми, способи з'єднань, матеріали, способи передавання моменту від валу. Конструкція шнекових насосів. Конструкція вісьових насосів. Конструкція корпусів відцентрових насосів. Конструкція бустерних насосів.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 10 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення особливостей конструкції багатоступеневих вісьових насосів ТНА та конструкції корпусів вісьових насосів. Ознайомлення з хімічною обробкою поверхні робочих лопаток насосів. Оформлення лабораторної роботи та підготовка до її здачі.

Тема 6. Турбіни ТНА.

- *Форма занять: лекція, практичні заняття, лабораторні роботи, самостійна робота.*

- *Обсяг аудиторного навантаження: 14 годин.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти):* Лабораторні роботи: «Особливості конструкції автономних вісьових турбін ТНА», «Особливості конструкції передкамерних турбін ТНА», атласи «Конструкції агрегатів рідинних ракетних двигунів» і описи до них.

Класифікація турбін ТНА за їх конструктивними особливостями. Конструкція дисків турбін - схеми, способи з'єднань, матеріали, способи передавання моменту валу.

Робочі лопатки дисків турбін. Соплові апарати та корпуси турбін.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 30 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення особливостей конструкції лопаток турбін з охолодженням. Ознайомлення з термохімічною обробкою поверхні робочих лопаток турбін. Оформлення лабораторних робіт та підготовка до їх здачі.

Модульний контроль 3

- *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.

Змістовний модуль 4.

Тема 7. Вузли ущільнень ТНА.

Форма занять: лекція, практичні заняття, лабораторна робота, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 14 годин.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти):* Лабораторна робота: «Особливості конструкції вузлів ущільнень контактного та безконтактного типу», атласи «Конструкції агрегатів рідинних ракетних двигунів» і описи до них.

Класифікація ущільнень рухомих з'єднань ТНА. Ущільнення контактного типу: манжетні, торцеві, з гнучкими кільцями, сегментні. Ущільнення безконтактного типу: щільові та гідродинамічні. Комбіновані ущільнення.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 30 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення особливостей гнучких елементів контактних ущільнень (мембрани та сільфони) та вісьових ущільнень безконтактного типу: лабиринтно-гвинтових та гвинтоканавних. Оформлення лабораторної роботи та підготовка до її здачі.

Тема 8. Опори валів ТНА. Коливання валів ТНА.

Форма занять: лекція, практичні заняття, лабораторна робота, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 24 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): Лабораторна робота: «Особливості конструкції підшипникових опор валів ТНА», атласи «Конструкції агрегатів рідинних ракетних двигунів» і описи до них.*

Вимоги до опор роторів ТНА. Підшипникові опори: класифікація, матеріали, способи розміщення на валу та у корпусі. Вибір підшипникової опори.

Гідродинамічні та гідростатичні опори.

Охолодження та змазка опор ТНА компонентами палива.

Критичні швидкості обертання роторів ТНА. «Жорсткий» та «гнучкий» вали. Вплив гіроскопічного моменту на критичні кутові швидкості ротора.

Формування розрахункової схеми. Метод частотного визначника.

Способи боротьби з критичними режимами роторів. Демпфування коливань ротора.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 38 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення з впливом розміщення підшипникових опор ТНА на резонансний режим роботи. Вивчення охолодження та змазка підшипникових опор ТНА консистентною змазкою. Оформлення лабораторної роботи та підготовка до її здачі.

Можливі розрахункові схеми ротора ТНА. Відбудова роторів від резонансних режимів.

Модульний контроль 4

- *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.

5. Індивідуальні завдання

Курсовий проект у 8 семестрі за тематикою кафедри.

6. Методи навчання

Словесні, наочні, практичні.

7. Методи контролю

Поточний контроль виконання курсового проектування, захисти лабораторних робіт, модульний контроль (тестування за розділами курсу) та підсумковий контроль (семестровий) контроль – іспит (7 семестр), залік (8 семестр), залік з оцінкою за результатами захисту курсового проекту (8 семестр).

8. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують здобувачі

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1			
Змістовний модуль 1			
Виконання і захист лабораторних робіт	0...5	5	0..25
Модульний контроль	0...35	1	0...35
Змістовний модуль 2			
Виконання і захист лабораторних робіт	0..5	1	0...5
Модульний контроль	0...35	1	0...35
Усього за семестр			0...100
Модуль 2			
Змістовний модуль 3			
Виконання і захист лабораторних робіт	0...5	3	0...15
Виконання практичних робіт	0...1	3	0...3
Модульний контроль	0...35	1	0...35
Змістовний модуль 4			
Виконання і захист лабораторних робіт	0..5	2	0...10
Виконання практичних робіт	0...1	2	0...2
Модульний контроль	0...35	1	0...35
Усього за семестр			0...100

Прийнята шкала оцінювання

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

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

Білет для іспиту складається з 2-х теоретичних запитань, максимальна кількість балів за кожне запитання – 50.

Критерії оцінювання роботи здобувача протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи з оцінкою «задовільно». Виконати всі практичні роботи. Вміти самостійно складати конструктивні схеми турбонасосних агрегатів РРД, вибрати силову схему ТНА РРД.

Добре (75 - 89). Твердо знати мінімум знань, відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи з оцінкою «добре» в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах. Вміти розраховувати сили, які діють на головні структурні елементи ТНА. Вміти визначати напруження у лопатках робочих коліс турбін ТНА.

Відмінно (90 - 100). Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати усі теми. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи та модульні контрольні опитування з оцінкою «відмінно» в обумовлений викладачем строк. Досконально знати методику зниження вістових сил, яка використовуються при проектуванні ТНА РРД.

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 тощо, які видані в Університеті знаходяться за посиланням: на сайті кафедри www.k401.khai.edu, розділ літератури.

11. Рекомендована література

Базова

1. Rocket Propulsion Elements. George P.Sutton, Oscar Biblarz. Jhon Wiley @ Sons, Inc. 2017. – 786 p.
2. Elements of Propulsion Gas Turbines and Rockets. Jack D.Mattingly, Hans von Ohain. AIAA education series. 2006. – 850 p.
3. Gas Turbin Engineering Handbook. Meherwan P.Boyce. Gulf Professional Publishing an imprint of Butterworth-Hainemann. 2002. – 816 p.

4. Gas turbine theory. H.Cohen, G.F.C. Rogers, H.I.H. Saravanamutto. – Longman Group Limited, 1996. – 442 p.