

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

 Марина ШЕВЦОВА
(підпис) (ім'я та прізвище)

« 31 » 08 2023 р.

СИЛАБУС ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Випробування ракетних двигунів

(назва навчальної дисципліни)

Major: Ракетні двигуни та енергетичні установки

Галузь знань: 13 Механічна інженерія
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка
(код та найменування спеціальності)

Освітня програма: Ракетно-космічна техніка
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Силабус введено в дію з **01.09.2023 року**

Харків – 2023

Розробник: Середа В. О., доц. каф. № 401, д. т. н.
(прізвище та ініціали, посада, наукова ступінь та вчене звання)


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри
Конструкцій і проектування ракетної техніки
(назва кафедри)

Протокол № 01 від « 31 » серпня 2023 р.

Зав. кафедри 401: к. т. н., доц.  Ганна КОЛОСКОВА
(наукова ступінь та вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

1. Загальна інформація про викладача

	Середа Владислав Олександрович, д. т. н., доцент каф. № 401. З 2010 року з року викладає в університеті наступні дисципліни: – Інтегровані комп'ютерні технології проектування. – Технологія виробництва ракетних двигунів твердого палива. – Конструкція і проектування ракетних двигунів твердого палива. – Конструкція і проектування рідинних ракетних двигунів. Напрями наукових досліджень: моделювання робочих процесів у теплових двигунах, розробка розрахункових програмних комплексів, газотермоаеродинаміка літальних апаратів інтегральних схем.
---	---

2. Опис навчальної дисципліни

Семестр, в якому викладається дисципліна – 2 семестр.

Обсяг дисципліни – 4 кредити ЄКТС (120 годин), у тому числі аудиторних – 48 годин, самостійної роботи здобувачів – 72 годин.

Форми здобуття освіти – денна, дистанційна, дуальна.

Дисципліна – вибіркова.

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

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

Мова викладання – українська.

Необхідні обов'язкові попередні дисципліни (пререквізити) – «Конструкція ракетних двигунів», «Живлення та управління ракетних двигунів»

Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити) – Є складовою для виконання кваліфікаційної роботи магістра

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: Формування комплексу знань основних положень теорії надійності та випробувань ракетних двигунів, вміння застосовувати їх для вирішення практичних задач, володіти навичками типових розрахунків надійності ракетних двигунів та інших систем літальних апаратів..

Завдання дисципліни: Розширити та поглибити здатність студентів готувати і виконувати наукові та експериментальні дослідження, обробку і аналіз їх результатів, використовувати автоматизовані системи реєстрації та обробки інформації.

Компетентності, які набуваються:

- здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу; навички використання новітніх інформаційних технологій;
- здатність до проведення досліджень для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності;
- здатність генерувати нові ідеї та реалізувати їх у вигляді інноваційних рішень, працюючи у команді з залученням представників інших професійних груп;
- здатність до подальшого автономного та самостійного навчання на основі новітніх науково-технічних досягнень;
- здатність ставити та вирішувати професійні задачі на основі знань та розуміння гідравлічних, пневматичних, електричних та електронних схем.

Очікувані результати навчання:

- вміти критично осмислювати проблеми РКТ, у тому числі на межі із суміжними галузями, інженерними науками, фізикою, хімією, екологією, економікою;
- вміти використовувати новітнє спеціалізоване програмне забезпечення для розв'язання складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності відповідно до освітньої програми;
- розуміти принципи та навички обґрунтованого призначення показників якості об'єктів ракетно-космічної техніки;
- мати навички організації виконання складних завдань у професійній діяльності шляхом послідовного та якісного виконання їхніх окремих етапів, в тому числі з залученням колективу виконавців;
- вміти застосовувати сучасні методи та засоби конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, в тому числі комп'ютеризованого випробування елементів та систем авіаційної та РКТ для сучасного обладнання з числовим програмним керуванням;
- вміти використовувати на практиці сучасні методи, способи та засоби випробування та (або) сертифікації елементів та систем авіаційної та РКТ для різних типів промислового виробництва;
- вміти аналізувати ризики загроз і небезпек на робочих місцях та виробничих об'єктах, розробляти та проводити заходи щодо усунення причин нещасних випадків;
- впроваджувати організаційні і технічні заходи з метою поліпшення безпеки праці, використовуючи нормативну базу, сучасні методи і методики.

4. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль № 1. Особливості випробувань РД

Тема № 1. Класифікація випробувань РРД.

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 11-13 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: проектор для демонстрації слайдів з матеріалами лекцій, натурні зразки ракетних двигунів.

Лабораторна робота: Визначення динамічних характеристик термоперетворювачів.

Практична робота: Підібрати первинний перетворювач тиску для вимірювання тиску в камері РРД на режимі, що встановився. Підібрати первинний перетворювач сили для вимірювання тяги РРД на режимі, що встановився. Підібрати перетворювач тиску для вимірювання перехідних процесів в камері РРД на початковій та кінцевій ділянці його роботи при запуску та зупинці.

Самостійна робота: Види параметрів оптимізації. Вимоги до параметрів оптимізації. Вимоги, що пред'являються до факторів при плануванні експерименту. Приклади факторів. Вимоги до сукупності факторів.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 17-19 годин.

Холодні та вогневі випробування. Наземні та льотні випробування. Дослідницькі випробування. Конструкторські випробування. Серійні тести. Елементи метрології та теоретичні основи експерименту. Загальні відомості про вимірювання, засоби вимірювання та похибки вимірювань. Види вимірів. Засоби виміру та його структурні елементи. Похибки вимірювань та вимірювальних приладів. Причини, що спричиняють похибки вимірів. Об'єктивні похибки. Суб'єктивні похибки. Закон нормального розподілу випадкових похибок виміру. Поняття про середнє квадратичне відхилення, ймовірну та граничну похибки вимірювань. Визначення довірчого інтервалу та довірчої ймовірності при малій кількості вимірювань. Похибки непрямих вимірів. Метрологічні вимоги до систем вимірювань, оцінка їх похибок та похибок результатів випробувань. Приведення результатів випробувань до номінальних умов. Правила побудови графічних залежностей. Деякі відомості щодо методів планування експерименту. Цільова функція. Чинники. Вибір моделі. Повний та дробовий факторні експерименти.

Тема № 2. Методи вимірювання основних параметрів РРД

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 11-13 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: проектор для демонстрації слайдів з матеріалами лекцій, натурні зразки ракетних двигунів.

Лабораторна робота: Засоби вимірювання тиску в процесах РРД, які змінюються повільно. Вимірювання витрати робочого тіла РДТП.

Практична робота: Розрахунок середнього та стандартного відхилень для результатів вимірювання тиску в камері згоряння РРД. Визначення кількості вимірювань термопарою температури поверхні нагрітої деталі з заданими надійністю та похибкою. Визначити, чи не містять вимірювання тиску в камері згоряння РРД грубі похибки при заданій кількості вимірювань.

Самостійна робота: Шаговий принцип побудови моделі. Повний факторний експеримент. Повний факторний експеримент та математична модель. Мінімізація кількості дослідів. Дробна репліка. Вибір напівреплік.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 17-19 годин.

Особливості вимірювання параметрів. Вимірювальні системи, їх ланки і характеристики. Пристрої для вимірювання основних параметрів. Вимірювання тиску. Вимірювання температури. Вимірювання зусиль. Вимірювання витрати компонентів. Вимірювання швидкості обертання ротора ТНА. Вимірювання положення дозуючих органів агрегатів автоматики. Вимірювання параметрів вібрації та напруженого стану конструкції. Вторинні перетворювачі інформації. Системи реєстрації параметрів Системи

синхронізації реєстраторів. Методи підвищення інформативності вимірювань. Вимірювання тиску на вході в насос ТНА. Вимірювання тяги двигуна. Типові структури вимірювальних систем.

Змістовий модуль № 2. Методологія проведення випробувань

Тема № 3. Вимірювальні комплекси, стенди і установки

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 11-13 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: проектор для демонстрації слайдів з матеріалами лекцій, натурні зразки ракетних двигунів.

Лабораторна робота: Вивчення термоперетворювачів та їх градування. Налаштування гідравлічного опору тракту агрегата.

Практична робота: Провести оцінку відтворюваності дослідів з вимірювання тиску в камері згоряння РРД, за відомим числом серій та числом вимірювань в серії. Підібрати вид математичної моделі статистичної характеристики витратоміра (звужуючого пристрою) за даними його тарування. Знайти значення витрати при заданому перепаді, якщо відома обмежена кількість експериментальних залежностей витрати від перепаду тиску (вузлів емпіричних функцій).

Самостійна робота: Генеруючі співвідношення та визначаючі контрасти. Узагальнюючий визначаючий контраст. Вибір $\frac{1}{4}$ репліки. Репліки великої дробності. Круте сходження за поверхнею відгуку. Прийняття рішень після крутого сходження.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 17-19 годин.

Вимірювальні комплекси. Вимірювальні стенди та бункери для спостереження. Паливна система стенду. Паливні баки. Трубопроводи. Клапани. Пневмогідравлічна схема паливної системи. Заправка та заповнення витратних матеріалів. Процеси у паливних магістралях при спрацюванні клапанів. Системи управління випробуваннями. Функціональний склад системи управління. Пристрій системи управління. Стендова вимірювально-інформаційна система. Основні блоки системи. Метрологічне забезпечення стендових вимірювальних систем і обробки інформації. Система наддуву паливних баків і систем продувок. Тяговимірювальний пристрій. Методи вимірювання тяги. Пристрій для випробування висотних двигунів у наземних умовах. Установки для автономних випробувань агрегатів двигунів. Установки для випробування камер згоряння і газогенераторів. Установки для випробування насосів і турбін ТНА. Установки для випробування агрегатів автоматики.

Тема № 4. Методологія проведення досвідних та серійних випробувань

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 11-13 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: проектор для демонстрації слайдів з матеріалами лекцій, натурні зразки ракетних двигунів.

Лабораторна робота: Експериментальне визначення параметрів РД при вогневих стендових випробуваннях та приведення їх до номінальних умов.

Практична робота: Знайти вид функції при описанні досліду за результатами експерименту з використанням поліному Лагранжа. Отримати статичну характеристику тахометричного витратоміра за даними його тарування. Визначити інформаційну цінність математичної моделі з допомогою критерію Фішера за даними проливов звужуючого пристрою у наданих серіях експерименту. Визначити інформаційну цінність моделей за залишковою дисперсією в досліді без дублювання.

Самостійна робота: Технологічний процес випробування двигунів у серійному виробництві. Технічна документація, що використовується при випробуваннях. Технологічний процес підготовки і проведення випробувань.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 17-19 годин.

Принципи побудови типових програм досвідних випробувань для визначення основних параметрів і характеристик РРД. Поточний контроль надійності двигуна в умовах серійного виробництва. Способи імітації умов експлуатації при наземному відпрацюванні двигунів. Імітація впливу зовнішнього впливу на двигун. Імітація газонасичених компонентів палива. Імітація невагомості. Методи забезпечення динамічної відповідності стендових паливних систем об'єктовим. Спеціальні динамічні випробування рушійної установки. Пульсаційні частотні випробування. Вібраційні частотні випробування. Динамічні випробування систем аварійного захисту. Методи моделювання РРД. Принципи складання експериментально-аналітичних моделей. Моделі статистичних особливостей об'єкта випробувань. Аналіз результатів моделювання. Динамічні моделі РРД. Моделювання аварійних ситуацій РРД.

5. Індивідуальні завдання

Рух за градієнтом. Розрахунок крутого сходження. Реалізація уявних дослідів. Випадки ефективного та неефективного крутого сходження. Чим повинен закінчуватись експеримент. Перспективи експерименту.

6. Методи навчання

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

7. Методи контролю

Для поточного контролю враховується робота на лекційних та практичних заняттях, усне опитування при їх проведенні, виконання та захист усіх лабораторних робіт, виконання та захист РГР, проведення поточних контрольних тестів і фінальний контроль у вигляді іспиту у разі відмови студента від зароблених балів протягом семестру.

8. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

8.1 Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Оцінювання основних елементів навчальної роботи та контрольні заходи проводиться за наступними рекомендованими балами.

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Робота на лекційних заняттях	0...0,5	16	0...8
Виконання і захист практичних робіт	1...3	3	3...9
Модульний контроль	16...20	1	16...20

Змістовний модуль 2			
Робота на лекційних заняттях	0...0,5	16	0...8
Виконання і захист практичних робіт	1...3	3	3...9
Модульний контроль	16...20	1	16...20
Виконання і захист РГР	22...26	1	22...26
Усього за семестр			60...100

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

Білет для іспиту складається з 20 білетів по 3 питання у кожному (усі три питання в білеті теоретичні), причому кількість балів розподіляється наступним чином: по 35 балів за перші два питання, присвячених проектуванню і 30 балів – за третє питання, присвячене конструкції РДТП.

8.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи з оцінкою «задовільно». Вміти самостійно вибрати необхідні види випробувань ракетних двигунів та їх агрегатів залежно від призначення випробувань. Вміти розробляти загальні схеми вимірювання основних параметрів ракетних двигунів. Вміти розраховувати облік помилок вимірювання..

Добре (75-89). Твердо знати мінімум знань, виконати та захистити всі лабораторні роботи з оцінкою «добре». Показати вміння виконувати та захищати всі лабораторні роботи в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах. Вміти виконувати розрахунки динамічних помилок та приведення результатів випробувань до номінальних умов.

Відмінно (90-100). Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати усі теми. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Досконально знати усі методи проведення стендових, автономних та льотних випробувань ракетних двигунів та методів опрацювання результатів.

Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диф. залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

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

Навчальні посібники

Навчально-методичний комплекс дисципліни розміщено у методичному кабінеті кафедри «Конструкцій і проектування ракетної техніки».

11. Рекомендована література

Базова

- 1) Sutton, G. Rocket Propulsion Elements [Text] / Georg Sutton, Oscar Biblarz. – John Wiley & Sons, Inc., 2001. – 751 p.
- 2) Lawrie, A. Saturn [Text] / Alan Lawrie. – Collector's Guide Publishing, Inc., 2005. – 328 p.
- 3) Bilstein, B. Stages to Saturn: A Technological History of the Apollo [Text] / Saturn Launch Vehicles [Text] / Roger Bilstein. – University Press of Florida, Inc., 2003. – 511 p.
- 4) Huzel, D. Modern Engineering for Design of Liquid Propellant Rocket Engines (Progress in Astronautics and Aeronautics) Revised, Subsequent Edition [Text] / Dieter Huzel, David Huang, Harry Arbit. – American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1992. – 431 p.

Допоміжна

- 1) Wang, Zh. Internal Combustion Processes of Liquid Rocket Engines [Text] / Zhen-Guo Wang / John Wiley & Sons, Inc, 2016. - 352 p.
- 2) Dranovsky, M. Combustion Instabilities in Liquid Rocket Engines: Testing and Development Practices in Russia (Progress in Astronautics & Aeronautics) (Progress in Astronautics and Aeronautics) [Text] / Mark Dranovsky, Vigor Yang, Fred Culick, Douglas G. Talley. – American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2007. – 285 p.

12. Інформаційні ресурси

- 1) Astra – Alameda's Hometown Rocket Company [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://alamedapost.com/features/alameda-life/astra-alamedas-hometown-rocket-company/>
- 2) Northrop Grumman Capistrano Test Site Special Collection [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sandiegoairandspace.org/collection/item/northrop-grumman-capistrano-test-site-special-collection>
- 3) NTS San Bernardino — World-Class High Pressure/High Flow Fluid and Rocket Engine Testing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nts.com/location/san-bernardino-ca/>