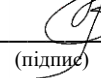


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра Конструкцій і проектування ракетної техніки (№ 401)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми


(підпис)

Владислав СЕРЕДА
(ім'я та прізвище)

«31» 08 2023 р.

СИЛАБУС ОBOB'ЯЗКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Конструкція і проектування рідинних
ракетних двигунів (курсний проект)

(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

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

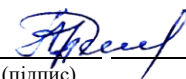


(підпис)

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

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

	<p>Середа Владислав Олександрович, д. т. н., доцент каф. № 401. З 2010 року з року викладає в університеті наступні дисципліни:</p> <ul style="list-style-type: none">– Інтегровані комп'ютерні технології проектування.– Технологія виробництва ракетних двигунів твердого палива.– Конструкція і проектування ракетних двигунів твердого палива.– Конструкція і проектування рідинних ракетних двигунів. <p>Напрями наукових досліджень: модельовання робочих процесів у теплових двигунах, розробка розрахункових програмних комплексів, газотермоаеродинаміка літальних апаратів інтегральних схем.</p>
---	--

2. Опис навчальної дисципліни

Семестр, в якому викладається дисципліна – 2 семестр.

Обсяг дисципліни – 2 кредити ЄКТС (60 годин), у тому числі аудиторних – 32 годин, самостійної роботи здобувачів – 28 годин.

Форми здобуття освіти – денна, дистанційна, дуальна.

Дисципліна – обов'язкова.

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) – теорія ракетних двигунів, конструкція і проектування рідинних ракетних двигунів.

Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити) – основи ракетно-космічної техніки, конструкція і проектування ракетних двигунів твердого палива.

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: отримання слухачами необхідних теоретичних і практичних знань в області класифікації, принципової будови, робочого процесу основних вузлів, характеристик ракетних двигунів; сприяння формуванню уявлень про робочий процес у ракетних двигунах; формування знань та навичок, необхідних для роботи в промисловості, а також в області проектування і розрахунку ракетних двигунів.

Завдання дисципліни: вивчення принципової будови ракетних двигунів твердого та рідинного палива, особливості характеристики реактивних двигунів, аналізувати характеристики зазначених типів двигунів; освоїти основні етапи інженерного проектування ракетних двигунів, придбати навички розрахунку основних характеристик ракетних двигунів та вміння оцінювати рівень їх досконалості.

Компетентності, які набуваються:

- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій; здатність генерувати нові ідеї (креативність);
- здатність приймати обґрунтовані рішення; здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;
- здатність використовувати положення гідравліки, аеро- та газодинаміки для опису взаємодії тіл з газовим і гідравлічним середовищем;
- здатність призначати оптимальні матеріали для елементів конструкції авіаційної та ракетно-космічної техніки;
- здатність здійснювати розрахунки елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки на міцність;
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій та спеціалізованого програмного забезпечення при навчанні та у професійній діяльності.

Очікувані результати навчання:

- володіти засобами сучасних інформаційних та комунікаційних технологій в обсязі, достатньому для навчання та професійної діяльності;
- пояснювати свої рішення і підґрунтя їх прийняття фахівцям і нефахівцям в ясній і однозначній формі;
- пояснювати вплив конструктивних параметрів елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки на її льотно-технічні характеристики;
- володіти навичками визначення навантажень на конструктивні елементи авіаційної та ракетно-космічної техніки на усіх етапах її життєвого циклу;
- призначати оптимальні матеріали для елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки з урахуванням їх структури, фізичних, механічних, хімічних та експлуатаційних властивостей, а також економічних факторів;
- розуміти особливості робочих процесів у гідравлічних, пневматичних, електричних та електронних системах, що застосовуються в авіаційній та ракетно-космічній техніці;
- застосовувати у професійній діяльності сучасні методи проектування, конструювання та виробництва елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки;
- обчислювати напружено-деформований стан, визначати несійну здатність конструктивних елементів та надійність систем авіаційної та ракетно-космічної техніки;
- розуміти та обґрунтовувати особливості конструкції та основні аспекти робочих процесів в системах та елементах авіаційної та ракетно-космічної техніки.

– мати навички розробки технологічних процесів, в тому числі з застосуванням автоматизованого комп'ютерного проектування виробництва конструктивних елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки;

– оцінювати економічну ефективність виробництва елементів та систем авіаційної ракетно-космічної техніки.

4. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль № 1. Функціональне проектування РРД

Тема № 1. Вибір основних параметрів та принципової схеми РРД

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 7-9 годин.

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

Практична робота: Розрахунок витрат РРД, термогазодинамічний розрахунок РРД, підбір оптимального значення коефіцієнту надлишку окиснювача.

Самостійна робота: Абляційне охолодження РРД. Промєнєве охолодження РРД. Плівкове охолодження РРД.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6-8 годин.

Вихідні поняття та визначення. Три рівня процесу проектування рідинного ракетного двигуна (РРД). Загальна схема аналізу та синтезу конструкції та послідовність проектування. Види РРД за призначенням та виконуваним функціям. Загальні вимоги до РРД. Основні параметри, що характеризують конструктивно-технологічну досконалість РРД. Вибір палива РРД. Вибір співвідношення компонентів. Вибір системи постачання палива та тиску в камері згоряння. Вибір тиску на перерізі сопла. Синтез принципової та структурно-функціональної схеми РРД. Камера двигуна. Послідовність проектування камер РРД. Вимоги до силової установки. Способи теплового захисту камери РРД. Вибір способу теплового захисту камери.

Тема № 2. Змішувальні голівки

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 7-9 годин.

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

Практична робота: Розрахунок геометричних характеристик форсунок, підбір типу та схеми розташування форсунок.

Самостійна робота: Камери РРД малої тяги. Камери двохкомпонентних РРД малої тяги. Камери однокомпонентних РРД малої тяги.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6-8 годин.

Вимоги до змішувальних голівок. Основні заходи щодо забезпечення цих вимог. Типові схеми розводки компонентів. Форсунки РРД. Струменеві форсунки. Рідинні струменеві форсунки. Розрахунок і проектування струменевих рідинних форсунок. Газові струменеві форсунки. Газорідинні струменеві форсунки. Форсунки зі струменями, що перетинаються. Відцентрові форсунки. Однокомпонентні відцентрові форсунки. Шнекові форсунки. Двохкомпонентні відцентрові форсунки. Геометричні характеристики форсунок. Коефіцієнт витрати форсунки. Вплив в'язкості на роботу форсунки. Вплив конструктивних параметрів форсунки. Розрахунок відцентрової форсунки. Вплив схеми

розташування форсунок на сумішоутворення. Технологічні вимоги. Безфорсуночні голівки. Конструкція форсуночних блоків. Компонівка сумішевої голівки. Силова схема верхньої порожнини голівки. Конструкторсько-технологічні вимоги до сумішевих голівок. Гідро- та пневмовипробування голівок.

Змістовий модуль № 2. Розрахунок основних параметрів РРД

Тема № 3. Особливості конструкції та розрахунку корпусів камер

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 7-9 годин.

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

Практична робота: Проектування корпусу камери РРД та елементів системи охолодження. Підбір матеріалів камери.

Самостійна робота: Характеристик припоїв на основі срібла. Припої на основі марганцю. Сумісність цих припоїв з марками жароміцної сталі.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6-8 годин.

Загальні відомості про корпуси камер. Класифікація корпусів камер РРД. Конструкція елементів корпусів камер. Одностінні корпуси. Корпуси з незалежними оболонками. Камери за рідкими зв'язками оболонок. Зв'язок оболонок кільцями, що стоять окремо. Зв'язок оболонок проставками, що стоять вздовж. Зварювання оболонок по повздовжнім виштамповкам. Зварювання оболонок по місцевим виштамповкам. Корпуса з частими зв'язками оболонок. З'єднання оболонок спаюванням по гофрованим проставкам. З'єднання оболонок спаюванням по фрезерованим проставкам. Трубчасті корпуси камер. З'єднання складальних одиниць камер. Паски завісного охолодження.

Тема № 4. Розрахунок основних параметрів камери РРД

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 7-9 годин.

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

Практична робота: Розрахунок геометричних характеристик камери, розрахунок охолодження та несучої здатності камери. Розрахунок камери та елементів на міцність.

Самостійна робота: Характеристик припоїв на основі міді. Мідні припої. Мідно-цинкові припої. Мідно-нікелеві припої.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6-8 годин.

Побудова газодинамічного профіля камери. Розрахунок охолодження камери РРД. Вибір матеріалів системи охолодження. Припустимі температури газової стінки. Розрахунок камери на міцність. Загальна несуча здатність оболонок камери. Несуча здатність одношарової циліндричної оболонки камери. Несуча здатність двошарової циліндричної оболонки без врахування осьового навантаження. Порядок розрахунку несучої здатності камери. Несуча здатність двошарової циліндричної оболонки з врахування осьового навантаження. Порядок розрахунку несучої здатності камери. Місцева міцність корпусу камери. Місцева міцність оболонки. Міцність спаю. Міцність зв'язків. Запас міцності та надійності.

5. Індивідуальні завдання

Розрахунок вузлів передачі тяги РРД. Розрахунок вогневого днища на міцність. Розрахунок піропатрона запальної системи РРД. Розрахунок профілю сопла методом характеристик. Гідразинові РРД малої тяги з електропідігрівом продуктів розкладання.

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 практичних заняттях	0...0,5	16	0...8
Модульний контроль (виконання 50 % курсового проекту)	30...45	1	30...45
Змістовний модуль 2			
Робота на практичних заняттях	0...0,5	16	0...8
Модульний контроль (виконання 50 % курсового проекту)	30...45	1	30...45
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. Виконати пояснювальну записку з основними розрахунками, накреслити основний вид камери РРД та захистити проект з оцінкою «задовільно». Вміти підбирати матеріал корпусу камери, елементів системи охолодження, форсунок. Вміти обирати основні параметри та принципову схему РРД. Виконувати розрахунок, спираючись на методичні рекомендації викладача. Робити креслення, використовуючи атлас конструкцій.

Добре (75-89). Твердо знати мінімум знань. Виконати всі розрахунки та креслення, передбачені планом курсового проекту та захистити його з оцінкою «добре». Вміло поєднувати вузли двигуна, спираючись на аналоги. Виконати розрахунок всіх основних вузлів, використовуючи методичні рекомендації та дані підручників та довідників.

Відмінно (90-100). Повно знати основний та додатковий матеріал. Виконати передбачені курсовим проектом розрахунки без помилок, вірно накреслити основні види камери та профіль сопла, захистити проект з оцінкою «відмінно». Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Досконало знати характеристики всіх використаних матеріалів, в тому числі припоїв. Орієнтуватися у аналогах обраної конструкції.

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

1) Халатов, А. А. Розрахунок системи охолодження сопла рідинного ракетного двигуна [Електронне видання] : навч. посібник / А. А. Халатов, Н. А. Панченко, А. Ж. Мейріс. – К. : Вид. НТУУ «КПІ», 2016. – 34 с.

2) Krzycki, L. How to design, build and test small liquid-fuel rocket engines [Text] / Leroy Krzycki. – Rocketry.org / Tim Patterson, 2007. – 71 p.

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) Veris, A. I. Fundamental Concepts of Liquid-Propellant Rocket Engines (Springer Aerospace Technology) [Text] / Alessandro de Iaco Veris. – Springer, 2020. – 756 p.

- 3) James, R. Design of Liquid-Fueled Rocket Engines [Text] / James R. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2017. – 204 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.
- 5) Rezende, R. N. Liquid Rocket Engine [Text] / Rene Nardi Rezende. – SAE International, 2018. – 158 p.

Допоміжна

- 1) Wang, Zh. Internal Combustion Processes of Liquid Rocket Engines [Text] / Zhen-Guo Wang / John Wiley & Sons, Inc, 2016. – 352 p.
- 2) Zhang, W. Failure Characteristics Analysis and Fault Diagnosis for Liquid Rocket Engines [Text] / Wei Zhang. – Springer, 2016. – 589 p.
- 3) Sutton, G. History of Liquid Propellant Rocket Engines [Text] / George Sutton. – American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2005. – 325 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/>