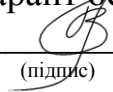


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра Конструкцій і проектування ракетної техніки (№ 401)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 В. О. Серeda
(підпис) (ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2021 р.

СИЛАБУС ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Конструкція і проектування

ракетних двигунів твердого палива

(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: Двигуни та енергетичні установки літальних апаратів
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Силабус введено в дію з 01.09.2021 року

Харків – 2021

(підпис)

(назва кафедри)



(підпис)

Ремезок М.В.

(ініціали 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. – Палива та робочі тіла 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 – 6 семестри.

Обсяг дисципліни – 3,5 кредити ЄКТС (105 годин), у тому числі аудиторних – 56 годин, самостійної роботи здобувачів – 49 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 (5 семестр – залік, 6 семестр – іспит).

Мова викладання – українська.

Необхідні обов'язкові попередні дисципліни (пререквізити) – інженерне матеріалознавство, хімія, деталі машин.

Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити) – теорія ракетних двигунів, палива та робочі тіла ракетних двигунів.

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета

Отримання знань про існуючі конструктивні рішення, що застосовуються в ракетних двигунах твердого палива, розвиток умінь аналізувати конструкції і методики проектування ракетних двигунів, набуття навичок створення конструктивно-компонувальних схем і конструктивного вигляду, в тому числі з використанням програмного забезпечення.

Завдання

Вивчення основних конструктивних рішень в області конструювання ракетних двигунів твердого палива, конструкцій і вузлів, формування умінь проводити конструктивних аналіз і визначати параметри вузлів ракетних двигунів твердого палива, формування навичок інженерного обґрунтування проектних рішень і розрахунку параметрів двигуна з використанням програмного забезпечення.

Компетентності, які набуваються:

- здатність оцінювати форму зарядів твердого ракетного палива;
- здатність робити розрахунки поверхні горіння від склепіння;
- здатність працювати з атласами конструкцій РДТП та агрегатів;
- здатність робити компіляцію елементів конструкції відомих РДТП;
- здатність розробляти конструкцію залежно від призначення РДТП;
- здатність проводити розрахунки теплового стану РДТП.

Очікувані результати навчання:

- знати будову та призначення основних вузлів РДТП;
- знати конструкцію допоміжних агрегатів РДТП;
- знати типи палив та їх фізико-хімічні характеристики;
- мати уявлення про вплив твердого палива на характеристики РДТП;
- мати уявлення про особливості теплового стану при роботі РДТП;
- виводити умовну хімічну формулу твердого ракетного палива;
- володіти алгоритмом розрахунку балістичних характеристик РДТП.

4. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Конструкція основних елементів РДТП

Тема № 1. Конструкція корпусу та днищ РДТП

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 13-15 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: вогневий стенд для випробування ракетного двигуна твердого палива, проектор для демонстрації слайдів з конструктивом.

Лабораторна робота: «Вивчення системи реєстрації тиску в камері РДТП на вогньовому випробувальному стенді та обробка характеристик двигуна», «Визначення основних параметрів роботи РДТП на підставі циклограм тиску: тяги, сумарного імпульсу, витратного комплексу».

Практична робота: «Функціональне проектування ракетного двигуна твердого палива. Визначення склепіння горіння заряду та вибір типу твердого палива за швидкістю горіння», «Складання умовної хімічної формули палива, визначення масового стехіометричного коефіцієнту, дійсного значення коефіцієнту надлишку окислювача», «Визначення термогазодинамічних характеристик продуктів згорання в камері, критичному та вихідному перерізах сопла за допомогою програми Astra 4».

Самостійна робота: за необхідністю

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 11-14 годин.

Конструкція корпусу ракетного двигуна твердого палива. Особливості умов роботи двигуна. Метали та сплави в конструкціях двигунів, вибір матеріалу. Конструкція оболонок корпусу з металевих матеріалів. Обичайки корпусу, проектування обичайок. Днища корпусу ракетного двигуна. Форма днищ, проектування днищ. Конструкція корпусу з односопловим блоком. Корпус з багатосопловим блоком. Принципи побудови соплового блоку двигуна зі значним часом роботи. З'єднання металевих елементів РДТП. З'єднання композиційних елементів РДТП. З'єднання композиційних та металевих елементів РДТП. Вимоги до з'єднань. Нероз'ємні та роз'ємні з'єднання.

Тема № 2. Конструкція складових елементів РДТП

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 13-15 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: вогневий стенд для випробування ракетного двигуна твердого палива, проектор для демонстрації слайдів з конструктивом.

Лабораторна робота: «Дослідження впливу елементів системи запалювання та розвитку перехідного процесу в камері лабораторного двигуна», «Отримання закону швидкості горіння твердого палива від тиску в камері згоряння та визначення коефіцієнтів закону горіння».

Практична робота: «Визначення геометричних характеристик заряду його закону горіння (якісно) та створення геометричної моделі заряду в системі SolidWorks», «Розрахунок геометричних характеристик сопла. Побудова оптимального профілю сопла методом Рао. Створення геометричної моделі сопла в системі SolidWorks», «Створення конфігурації заряду твердого палива в системі SolidWorks. Отримання закону зміни поверхні горіння заряду твердого палива від склепіння»

Самостійна робота: за необхідністю

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 11-14 годин.

Загальна характеристика композиційних матеріалів. Конструкція корпусу РДТП з композиційних матеріалів. Схеми укладки та види намотки армуючих матеріалів. Суміщенні корпусу. Армування оболонок. Оптимальне армування оболонок. Армування однією сім'єю ниток. Армування кінцевою кількістю сімей ниток. Конструкція елементів вхідної частини сопла односоплової та багато соплової схеми. Вхід сопла класичної схеми. Вхід утопленого сопла. Вхід багатосоплового блоку. Принципи побудови соплового блоку з значним терміном роботи. Вкладка критичного перерізу сопла. Вимоги, матеріали, що використовуються. Вкладка з облицюванням з матеріалів на основі вольфраму.

Змістовий модуль 2. Конструкція основних елементів РДТП

Тема № 3. Конструкція елементів теплового захисту РДТП

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 13-15 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: вогневий стенд для випробування ракетного двигуна твердого палива, проектор для демонстрації слайдів з конструктивом.

Лабораторна робота: «Приведення характеристик РДТП до номінальних умов – при різноманітних температурах оточуючого повітря», «Вивчення конструкції маршового РДТП ракети класу «повітря-повітря» з корпусом з композитних матеріалів».

Практична робота: «Розрахунок внутрішньобалістичних характеристик РДТП: отримання кривої зміни тиску в камері згоряння, швидкості горіння заряду й тяги

двигуна», «Розрахунок на міцність корпусу РДТП: визначення товщини обичайки корпусу, товщини днищ, різьбових або фланцевих зачеплень, вузла передачі тяги», «Визначення теплових потоків, що виникають в камері РДТП: коефіцієнтів променевої і конвективної (примусової та вільної) тепловіддачі».

Самостійна робота: за необхідністю

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 11-14 годин.

Конструкція стаціонарного та рухомого сопла. Вкладка з облицюванням з пірографіту. Вкладка з пластинкового пірографіту. Вкладка без ерозійно-стійких покриттів. Охолоджувані вкладки критичного перерізу сопла. Конструкція системи для забезпечення транспіраційного охолодження. Вкладки, охолоджувані продуктами сублімації поліетилену. Розтруб сопла. Розтруб з ерозійно-стійким облицюванням. Розтруб з матеріалів П-5-2 та ВМП-1. Теплозахисні та ерозійно-стійкі матеріали для елементів сопла. Вузли кріплення вкладних зарядів. Призначення, вимоги, класифікація вузлів кріплення. Конструкція переднього та заднього упорів. Діафрагми: передня, задня, проміжня.

Тема № 4. Конструкції систем запалювання РДТП

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 13-15 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: вогневий стенд для випробування ракетного двигуна твердого палива, проектор для демонстрації слайдів з конструктивом.

Лабораторна робота: «Вивчення конструкції стартового РДТП зенітного ракетного комплексу з корпусом із металевих матеріалів», «Дослідження теплового стану вставки критичного перерізу сопла ракетного двигуна за параметрами термопари»

Практична робота: «Визначення ступеню чорноти продуктів згоряння, розрахунок максимально припустимого часу роботи двигуна без теплозахисного покриття», «Розрахунок товщини активного (або пасивного) теплозахисного покриття при вході в сопло та товщини критичної вставки сопла», «Розрахунок параметрів системи запалювання двигуна. Визначення складу запальника, маси навіски, геометричних характеристик корзинки».

Самостійна робота: за необхідністю

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 11-14 годин.

Запалюючі пристрої. Вимоги до пристроїв запалювання. Класифікація запалюючих пристроїв. Займаючі пристрої. Запалюючі пристрої: піроелектрозапали, форсажні пристрої. Пристрої затримки займання, запобіжні пристрої. Запальники. Вимоги, класифікація. Запальники: рулонний, коробчастий, кільцевий, кошиковий, трубчастий. Пускові камери. Матеріали, що використовуються у виробництві запальників. Запалюючі склади. Проектування запальників. Запальники багаторазового включення. Пристрої для гальмування, аварійного вимикання та відсікання тяги твердопаливного двигуна. Пристрої для багаторазового вмикання та вимикання двигуна.

5. Індивідуальні завдання

Ознайомитися зі спрощеною методикою розрахунку балістичних характеристик у основні періоди роботи РДТП (тільки рівняння збереження маси). Ознайомитися з уточненою методикою розрахунку балістичних характеристик у основні періоди роботи РДТП (рівняння переносу маси та енергії). Розробити програму для розрахунку умовної хімічної формули у Excel або у додатку MathCAD.

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 (залік) 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/заліку 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.

8.2 Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

1. Знати призначення основних вузлів та агрегатів РДТП (запалювальний пристрій, критична вставка сопла, броньоване покриття, теплозахисне покриття, корпус двигуна).
2. Знати основні періоди роботи РДТП (горіння запальника, сумісне горіння, ефективне горіння, післядія тяги) та способи розрахунку внутрішньо балістичних характеристик РДТП у ці періоди.
3. Знати основні склади запалювальних пристроїв для різних типів твердого палива (баліститного та сумішевого), способи розрахунку маси запальника для надійного та безпечного запуску РДТП.
4. Знати теоретичні основи термічного розрахунку РДТП, особливості роботи двигуна та способи розрахунку товщини теплозахисного покриття абляційного та активного.
5. Знати конструкцію та розміщення на РДТП основних видів запалювальних пристроїв, пускових камер, піропатронів та піроболтів, подовжених детонуючих зарядів.

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

1. Вміти розраховувати криву тиску в камері згоряння РДТП у основні періоди роботи РДТП для різних законів горіння твердого палива.
2. Вміти розраховувати товщину теплозахисного покриття РДТП: активного (аблюючого) та пасивного.
3. Вміти розраховувати максимальний граничний час роботи РДТП без теплозахисного покриття.
4. Вміти обирати геометрію паливного заряду, розробляти конструкцію камери згоряння, запальника та сопла в залежності від призначення РДТП.

8.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Будувати кінчне сопло спираючись на рекомендовані кути. Проводити розрахунок балістичних характеристик РДТП за формулою В'єля. Проводити термогазодинамічний розрахунок РДТП без урахування дисоціації продуктів згоряння. Знати конструктивні елементи двигуна, призначення агрегатів.

Добре (75-89). Твердо знати мінімум знань. Захистити всі практичні роботи в обумовлений викладачем строк. Будувати профіль сопла методом Рао. Проводити розрахунок балістичних характеристик РДТП для будь-яких законів горіння. Проводити термогазодинамічний розрахунок РДТП з урахуванням дисоціації продуктів згоряння у програмі АСТРА-4.

Відмінно (90-100). Повно знати основний та додатковий матеріал. При виконанні практичних робіт докладно обґрунтувати запропоновані заходи. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Записувати умовну хімічну формулу твердого палива. Проводити термогазодинамічний розрахунок РДТП з урахуванням дисоціації продуктів згоряння у середовищі MathCAD. Проводити балістичний розрахунок РДТП у будь-який період роботи: горіння запальника, ефективне горіння, період післядії.

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. Термодинамические и теплофизические свойства твердых ракетных топлив и их продуктов сгорания [Текст]: пособ. для курс. проект. / Х. : Харьк. ор. В. И. Ленина авиац. ин-т им. Н. Е. Жуковского, 1985. – 159 с.

2. Яльницкий, Л. Ф. Расчет и проектирование заряда ракетных двигателей твердого топлива [Текст] / Л. Ф. Яльницкий. – Х. : Харьк. ор. В. И. Ленина авиац. ин-т им. Н. Е. Жуковского, 1987. – 47 с.

3. Яльницкий, Л. Ф. Альбом конструкций ракетных двигателей на твердом топливе [Текст] / Р. В. Атаманчук, А. Л. Кирьянчук, Л. Ф. Яльницкий. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2012. – 23 с.

4. Яльницкий, Л. Ф. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива [Текст] : учеб. пособие / Л. Ф. Яльницкий, Л. Ф. Атаманчук, С. А. Пунтус. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2017. – 76 с.

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

11. Рекомендована література

Базова

1. Фахрутдинов, И. Х. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива [Текст] / И. Х. Фахрутдинов, А. В. Котельников. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с.

2. Орлов, Б. В. Термодинамические и баллистические основы проектирования ракетных двигателей на твердом топливе [Текст] / Б. В. Орлов, Г. Ю. Мазинг. – М.: Машиностроение, 1979. – 392 с.

3. Виницкий, А. М. Ракетные двигатели на твердом топливе [Текст] / А. М. Виницкий. – М.: Машиностроение, 1973. – 347 с.

4. Ерохин, Б. Т. Теория внутрикамерных процессов и проектирование ракетных двигателей твердого топлива [Текст] / Б. Т. Ерохин. – М.: Машиностроение, 1991. – 560 с.

Допоміжна

1. Штехер, М. С. Топлива и рабочие тела ракетных двигателей [Текст] / М. С. Штехер. – М.: Машиностроение, 1976. – 325 с.

2. Сарнер С. Ф. Химия ракетных топлив [Текст] / С. Ф. Сарнер. – М.: Мир, 1969. – 488 с.

3. Дюнзе, М. Ф. Ракетные двигатели твердого топлива для космических систем [Текст] / М. Ф. Дюнзе, В. Г. Жимолюхин. – М.: Машиностроение, 1982. – 160 с.

4. Виницкий, А. М. Конструкция и отработка ракетных двигателей твердого топлива [Текст] / А. М. Виницкий, В. Т. В. Т. Волков. – М.: Машиностроение, 1980. – 230 с.

12. Інформаційні ресурси

1. Програма для проведення термогазодинамічного розрахунку РДТП з урахуванням процесів дисоціації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.lpre.de/resources/software/astra4.txt>
2. Посилання на курс у системі Mentor KhAI: <https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=1412>