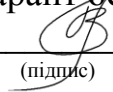


Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

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 – 5 семестр.

Обсяг дисципліни – 9 кредити ЄКТС (270 годин), у тому числі аудиторних – 128 годин, самостійної роботи здобувачів – 142 години.

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. Загальні відомості про робочі процеси РДТП

Тема № 1. Вступ до навчальної дисципліни

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 15-17 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: калориметрична бомба для визначення теплоти згоряння палива, лабораторне устаткування (стенд) для визначення чутливості палива.

Лабораторна робота: «Експериментальне визначення теплоти згоряння ТРП та сили ТРТ у калориметричній бомбі», «Експериментальне визначення чутливості ТРП до удару на вертикальному копрі, визначенні нижньої та верхньої границі».

Практична робота: «Теоретичне визначення кисневого балансу окиснювачів ТРП (перхлоратів та нітратів), а також високоенергетичних систем», «Визначення мольного та масового стехіометричного коефіцієнту і коефіцієнту надлишку окиснювача ТРП».

Самостійна робота: «Однокамерні одно- та двох режимні двигуни з соплом постійної геометрії та регульованим соплом».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16-19 годин.

Місце ТРП серед високоенергетичних конденсованих систем. Класифікація конденсованих систем. Фізичні властивості ТРП. Сила порошу, коволюм, теплотворна

здатність, ентальпія, питоме газоутворення. Умовна хімічна формула палива. Коефіцієнт надлишку окиснювача. Стехіометричний коефіцієнт. Кисневий баланс окиснювача ТРП. Балістичні ракетні палива. Окиснювач та пальне. Властивості нітроцелюлози. Властивості важколетючих розчинників.

Тема № 2. Найбільш важливі відомості з суміжних дисциплін

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 15-17 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: калориметрична бомба для визначення сили порошу, лабораторне устаткування (стенд) для визначення фракційного складу палива.

Лабораторна робота: «Визначення випаровуваності РРП методом фракційної розгонки та побудова кривої фракційної розгонки», «Визначення дослідної величини R_T (сили порошу) за циклограмами тиску в камері від часу роботи РДТП».

Практична робота: «Запис умовної хімічної формули багатокомпонентних складів балістичного та сумішевого ТРП», «Теоретичне визначення питомого газовиділення при згорянні ТРП та інших високоенергетичних конденсованих систем».

Самостійна робота: «Визначення елементного складу та питомих формул складових багатокомпонентних палив».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16-19 годин.

Сумішеві ракетні палива. Окиснювач та пальне. Властивості основних перхлоратів та нітратів. Енергетичні добавки до ТРП: метали, оксиди металів, гідриди металів, сплави, вибухові речовини. Пально-сполучні інертні речовини та їх властивості: поліуретани, епоксидні смоли, поліетилен, полібутадієн. Пально-сполучні активні речовини та їх властивості: полівінілнітрат, полігліциділнітрат, полівінілтетразол.

Тема № 3. Загальні питання щодо конструкції РДТП

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 15-17 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: персональні комп'ютери з встановленим додатком SolidWorks.

Лабораторна робота: «Вивчення основних характеристик та особливостей конструкції камери маршового РДТП ракети класу “повітря-повітря”», «Вивчення конструкції та принципу дії установки для експериментального визначення чутливості РДТП до коливань тиску, т. з. Т-камера».

Практична робота: «Отримання залежності поверхні горіння від склепіння заряду ТРП в системі автоматичного проектування SolidWorks», «Розрахунок товщини пасивного теплозахисного покриття. Розрахунок товщини покриття з внутрішнім виносом маси».

Самостійна робота: «Двокамерний дворежимний двигун із спільним зовнішнім соплом, з ізольованими камерами».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16-19 годин.

Інші добавки до ТРП: стабілізатори хімічної стійкості, каталізатори швидкості горіння, технологічні добавки. Палива на основі піролантів. Склади з високою швидкістю горіння. Фізичні та хімічні методи підвищення швидкості горіння ТРП. Історична довідка про розвиток РДТП. Визначення та принцип дії РДТП. Найбільш поширена конструктивна схема РДТП. Види законів горіння ТРП. Класифікація зарядів ТРП, що реалізують той чи інший закон горіння.

Тема № 4. Особливості РДТП відповідно до класифікаційних ознак

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 15-17 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: персональні комп'ютери з встановленим додатком MathCAD.

Лабораторна робота: «Вивчення основних характеристик та особливостей конструкції камери багатосоплового РДТП системи відведення обтічника», «Вивчення основних характеристик та особливостей конструкції камери стартового РДТП зенітної керованої ракети».

Практична робота: «Розрахунок товщини металеві силові оболонки корпусу РДТП. Розрахунок товщини корпусу РДТП зі спіральним намотуванням», «Розрахунок товщини днищ РДТП: плоского, еліптичного, сферичного, торосферичного, Біцено».

Самостійна робота: «Регулювання довготривалості дії тяги. Відсічка з обнулінням тяги. Відсічка з реверсом тяги»

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16-19 годин.

Механізм горіння балістичного та сумішевого ТРП. Відмінності у процесах. Перетворення у конденсованій та газовій фазах. Фізична модель запалення ТРП. Основні фактори, що впливають на запалення ТРП. Час затримки спалаху ТРП. Основні запалювальні склади, відмінності за часом затримки спалаху. Основні залежності для визначення необхідної маси запальника. Залежність швидкості горіння ТРП від основних фізичних факторів: вплив тиску, початкової температури ТРП, швидкості потоку.

Змістовий модуль № 2. Тепловий стан та тепловий захист РДТП

Тема № 5. Питомі та повні характеристики камери та сопла

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 15-17 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: персональні комп'ютери з встановленим додатком MathCAD.

Лабораторна робота: «Вивчення основних характеристик та особливостей конструкції камери РДТП для розділення ступіней балістичної ракети», «Вивчення основних характеристик та особливостей конструкції гальмівного РДТП зі сферичною камерою».

Практична робота: «Розрахунок товщини корпусу з поздовжньо-поперечним намотуванням. Розрахунок товщини комбінованої оболонки корпусу», «Розрахунок температури горіння ТРП на підставі внутрішньої енергії утворення продуктів згоряння (1 спосіб)».

Самостійна робота: «Секційні корпуса. Конструкція стичного вузла секційного корпусу. Суміщенні корпуса. Армування оболонок»

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16-19 годин.

Основні закони горіння твердого палива: сталий (для мезопалива), лінійний (для баліститного), В'єля (для сумішевого), Саммерфілда. Повні та питомі характеристики РДТП. Формула визначення тяги Іноземцева. Сумарний та питомий імпульс тяги. Повна (теоретична та дійсна) і питома секундна витрата палива. Витратний комплекс. Коефіцієнт тяги сопла. Ступінь уширення та розширення сопла. Корисна потужність РДТП. Лобова тяга РДТП. Формула Ціолковського.

Тема № 6. Термодинамічний розрахунок РДТП

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 15-17 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: персональні комп'ютери з встановленим додатком MatLab.

Лабораторна робота: «Вивчення варіантів конструктивного виконання вкладишу критичного перетину сопла РДТП тривалого часу дії», «Вивчення варіантів конструктивного виконання запальвальних пристроїв та запальвальних камер, піросвічок та піропатронів РДТП».

Практична робота: «Розрахунок температури горіння ТРП на підставі теплоємностей продуктів згорання (2 способи)», «Розрахунок температури горіння ТРП з урахуванням явищ дисоціації та рекомбінації».

Самостійна робота: «Розтруб сопла. Розтруб з ерозійностійким облицюванням. Розтруб з матеріалів П-5-2 та ВМП-1»

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16-19 годин.

Термодинамічний ККД РДТП. Цикл Брайтона. Пропульсивний (тяговий) ККД. Енергетичні та імпульсні ККД РДТП. Тяга на різноманітних режимах роботи РДТП: розрахунковий, перерозширення, недорозширення. Ступінь нерозрахунковості. Класифікація та оцінка витрат у камері та соплі РДТП. Система коефіцієнтів для оцінки якості процесів у РДТП. Метод профілювання надзвукових сопел методом характеристик. Наближений метод Рао для побудови контуру оптимального сопла РДТП.

Тема № 7. Розрахунок балістичних характеристик РДТП

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 15-17 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: лабораторні експонати двигунів та їх агрегатів, проектор для демонстрації слайдів з конструктивом.

Лабораторна робота: «Вивчення варіантів конструктивного виконання піросвічок, піропатронів та детонуючи подовжених зарядів РДТП», «Визначення часу спрацювання запальвального складу системи займання РДТП на лабораторному дослідному стенді».

Практична робота: «Розрахунок періоду автономного горіння запальника за спрощеною та достатньо повною методиками», «Розрахунок періоду сумісного горіння запальника та палива за спрощеною та достатньо повною методиками».

Самостійна робота: «Конструкція переднього та заднього упорів. Діафрагми: передня, задня, проміжна. Сепаратори, тримач, сухарі».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16-19 годин.

Масова витрата палива. Основне рівняння внутрішньої балістики РДТП. Формула Борі для різноманітних законів горіння ТРП. Система рівнянь для визначення кривої тиску на всіх періодах роботи РДТП палива зі степеневим законом горіння В'єля. Передача тепла від газу до стінки. Температурне поле стінки. Рівняння температуропровідності та граничні умови. Конвективний теплообмін у РДТП: вільний та вимушений. Променевий теплообмін у РДТП.

Тема № 8. Розрахунок теплового захисту РДТП

Форма занять: лекція, самостійна робота.

Обсяг аудиторного навантаження: 15-17 годин.

Обов'язкові предмети та засоби: лабораторні експонати двигунів та їх агрегатів, проектор для демонстрації слайдів з конструктивом.

Лабораторна робота: «Вивчення варіантів конструктивного виконання камери РДТП системи врятування космічного корабля», «Вивчення варіантів конструктивного виконання двигунів поперечного керування зенітних керованих ракет».

Практична робота: «Розрахунок періоду ефективного горіння палива за спрощеною та достатньо повною методиками», «Розрахунок періоду післядії горіння палива за спрощеною та достатньо повною методиками».

Самостійна робота: «Вкладка з облицюванням з пірографіту. Вкладка з пластинкового пірографіту».

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 16-19 годин.

Інженерні методи розрахунку нагріву стінки РДТП. Граничний час роботи РДТП без теплозахисту. Фізичний механізм виникнення нестійкого горіння. Види нестійкого горіння у РДТП. Демпфуюча роль часток конденсованої фази. Склад продуктів згорання РДТП без урахування та з урахуванням явищ дисоціації та рекомбінації. Види випробувань РДТП: автономні (функціональні, лабораторні, модельні тощо) та комплексні (вогневі та експлуатаційні).

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	12	0...6
Виконання і захист практичних робіт	2...3	4	8...12

Виконання і захист лабораторних робіт	2...3	4	8...12
Модульний контроль	14...19	1	14...19
Змістовний модуль 2			
Робота на лекційних заняттях	0...0,5	16	0...8
Виконання і захист практичних робіт	2...3	4	8...12
Виконання і захист лабораторних робіт	2...3	4	8...12
Модульний контроль	14...19	1	14...19
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. Повні та питомі параметри РДТП (тяга повна, лобова тяга, питомий імпульс тяги, сумарний імпульс тяги, витратний комплекс, розширення та уширення сопла).
2. Знати основні коефіцієнти корисної дії РДТП (пропульсивний, енергетичні (термічний, відносний, ефективний) та імпульсні (термічний, відносний, ефективний).
3. Знати основні види твердих ракетних палив (баліститні та сумішеві), а також основні види окиснювачів та паливних, енергетичних присадок, стабілізаторів хімічної стійкості.
4. Знати основні закони горіння твердого палива (сталий, прогресивний, нейтральний) та основні геометричні характеристики зарядів палива, які забезпечують такі закони горіння.
5. Знати основні періоди роботи РДТП (горіння запальника, сумісне горіння, ефективне горіння, післядія тяги) та способи розрахунку внутрішньо балістичних характеристик РДТП у ці періоди.

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 обирати геометрію паливного заряду, розробляти конструкцію камери згоряння, запальника та сопла в залежності від призначення РДТП.
4. Вміти розраховувати термогазодинамічні характеристики твердого палива РДТП з урахуванням дисоціації продуктів згоряння.

8.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Показати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі практичні роботи. Будувати конічне 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. Яльницький, Л. Ф. Расчет и проектирование заряда ракетных двигателей твердого топлива [Текст] / Л. Ф. Яльницький. – Х. : Харьк. ор. В. И. Ленина авиац. ин-т им. Н. Е. Жуковского, 1987. – 47 с.

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

4. Яльницький, Л. Ф. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива [Текст] : учеб. пособие / Л. Ф. Яльницький, 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. Веницкий, А. М. Ракетные двигатели на твердом топливе [Текст] / А. М. Веницкий. – 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. Жимолохин. – М.: Машиностроение, 1982. – 160 с.
4. Веницкий, А. М. Конструкция и отработка ракетных двигателей твердого топлива [Текст] / А. М. Веницкий, 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>