

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

Живлення та управління ракетних двигунів

(назва навчальної дисципліни)

Мажор: 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

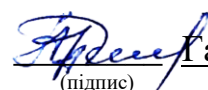
Харків – 2023 р.

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



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

Протокол № 1 від « 31 » 08 2023 р.

Завідувач каф. 401 канд. техн. наук, доцент
(науковий ступінь і вчене звання)  Ганна КОЛОСКОВА
(підпис) (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;
- основи автоматики;
- живлення та управління ракетних двигунів.

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

2. Опис навчальної дисципліни

Семестр, в якому викладається дисципліна – 1,2 семестри.

Обсяг дисципліни:

9 кредитів 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, практичні заняття, самостійна робота здобувача.

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

Мова викладання – українська.

Необхідні обов'язкові попередні дисципліни (пререквізити) –

Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити) – випробування ракетних двигунів.

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета

Формування комплексу знань основних положень теорії динамічних процесів у рідинних ракетних двигунах, особливо на найбільш важливих режимах роботи - виходу на режим, номінальний режим, перехідні процеси та виключення двигуна, вміння застосовувати їх для вирішення практичних задач, володіти навичками типових розрахунків систем наддуву баків з паливом та клапанних пристроїв ракетних двигунів та інших систем літальних апаратів.

Завдання

Вивчення основних положень теорії динамічних процесів у рідинних ракетних двигунах, засвоєння методики їх розрахунку, а також засвоєння методики розрахунку систем наддуву баків з паливом та клапанних пристроїв ракетних двигунів.

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

- здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу;
- здатність до проведення досліджень для рішення 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;
- навички використання новітніх інформаційних технологій;
- 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.

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

- знати особливості пневмогідравлічних схем рідинних ракетних двигунів та вміти їх раціонально вибирати;
- мати уявлення про динамічні процеси у рідинних ракетних двигунах та особливості їх розрахунку;
- вміти використовувати новітнє спеціалізоване програмне забезпечення для рішення складних задач у професійній (науково-технічній) діяльності відповідно до освітньої програми;
- мати уявлення про особливості роботи системи наддуву баків з паливом;
- знати рівняння процесів у клапанних пристроях ракетних двигунів та вміти використовувати на практиці методи їх розрахунку.

4. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовний модуль 1.

Тема 1. Вступ до навчальної дисципліни «Живлення та управління ракетних двигунів»

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

Предмет вивчення і задачі дисципліни. Місце дисципліни у навчальному плані. Завдання, які стоять перед розробниками ракетної та космічної техніки. Структура навчальної дисципліни.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 2 години.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Історичний огляд розвитку систем живлення та управління ракетних двигунів.

Тема 2. Структура рушійних установок.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 3 години.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Структура рушійних установок (РУ). Критерії їх конструктивної досконалості.

Системні якості установок. Сукупність ознак, що характеризують головні системи двигунів. Допоміжні системи ракетних двигунів.

Комплекс вимог, які існують як критерії оцінки конструктивної досконалості.

Принципові схеми рушійних установок.

Обсяг самостійної роботи здобувачів: 2 години.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

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. Пневмогідравлічні схеми рідинних ракетних двигунів.

- Форма занять: лекція, лабораторні роботи, самостійна робота.
- Обсяг аудиторного навантаження: 26 годин.
- Лабораторні роботи: «Пневмогідравлічні схеми рушійних установок з витискувальною системою подавання палива», «Пневмогідравлічні схеми рушійних установок з турбонасосною системою подавання палива без догоряння генераторного газу», «Пневмогідравлічні схеми рушійних установок багатократного включення», «Пневмогідравлічні схеми рушійних установок з турбонасосною системою подавання палива з догорянням генераторного газу (з самозапалюючимися паливами)», «Пневмогідравлічні схеми рушійних установок з турбонасосною системою подавання палива з догорянням генераторного газу (рідинний кисень+гас)», «Пневмогідравлічні схеми рушійних установок з турбонасосною системою подавання палива з догорянням генераторного газу (з кріогенними компонентами палива)», «Пневмогідравлічні схеми рушійних установок космічних апаратів на монопаливі».
- Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): описи до лабораторних робіт.

Рушійні установки з витискувальною системою подавання палива. Схеми газобалонних витискувальних систем подавання палива. Схеми витискувальних систем подавання палива з твердопаливним та рідинними газогенераторами, їх недоліки і переваги.

Схеми регулювання двигунів з витискувальною системою подавання палива. Системи управління вектором тяги. Системи контролю стану рушійної установки та забезпечення безпеки роботи. Допоміжні системи.

Рушійні установки з турбонасосною системою подавання палива. Схеми систем отримування робочого тіла для приводу турбіни турбонасосного агрегату, їх недоліки і переваги. Схеми використання спрацьованого генераторного газу. Схеми управління режимами роботи двигунів. Схеми систем запуску силових установок з турбонасосними агрегатами.

- Обсяг самостійної роботи здобувачів: 26 годин.

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Особливості схем рушійних установок багаторазового використання, установок космічного призначення. Комбіновані схеми рушійних установок.

Тема 4. Системи управління РРД та їх агрегати.

Форма занять: лекція, самостійна робота.

- Обсяг аудиторного навантаження: 30 години.
- Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.

Класифікація задач, які вирішуються системами управління рідинних ракетних рушійних установок.

Системи управління процесом функціонування РУ. Регулятори та стабілізатори.

Деякі принципові схеми розміщення регуляторів і стабілізаторів в різних системах подавання палива.

Стійкість систем автоматичного регулювання РРД.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 30 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Ознайомлення з особливостями типових конструктивних та принципових схем автоматичних регуляторів. Мембрані регулятори прямої дії. Сильфоні регулятори прямої дії. Плунжерні регулятори прямої дії. Регулятори витрат з гідромеханічним підсилювачем. Регулятори тиску з гідромеханічним підсилювачем. Особливості принципу дії регуляторів різних типів.

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. Системи наддуву баків.

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

- *Обсяг аудиторного навантаження: 8 годин.*

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

Вимоги до систем наддуву. Використання систем наддуву для рішення допоміжних завдань. Вимоги до робочих тіл систем наддуву.

Системи наддуву для двигунів з турбонасосною системою подавання палива.

Розрахунок систем наддуву. Розрахунок для систем з газогенераторами, що використовують рідинні компоненти палива. Розрахунок для систем з повітряним (газовим) акумулятором тиску. Визначення часу витиснення палива при заданому перетині регулятора розходу газу.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 22 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення рівнянь збереження енергії для системи наддуву баків та рівнянь енергії для газового акумулятора і гарячого (рідинного) акумулятора.

Вивчення рівнянь збереження маси для системи наддуву баків та для газового акумулятора.

Тема 6. Кінцеві автомати (клапани) РРД.

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

- *Обсяг аудиторного навантаження: 10 годин.*
- *Лабораторні роботи: «Розрахунок клапанів ПГС РРД».*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): описи до лабораторних робіт.*

Класифікації кінцевих автоматів (клапанів) РРД. Призначення кінцевих автоматів. Вимоги до клапанів РРД.

Принцип дії типових кінцевих автоматів.

Проектування клапанів. Розрахунок клапанів: визначення прохідних перерізів клапану, розрахунок зусиль в клапанах. Компоновка клапанів. Визначення гідравлічної характеристики клапану.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 18 години.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення з будовою та принципом дії клапанів системи автоматичного управління РРД різного призначення.

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. Запуск ракетного двигуна.

Форма занять: *лекція, лабораторні роботи, самостійна робота.*

- *Обсяг аудиторного навантаження: 16 годин.*
- *Лабораторні роботи: «Побудова графіка зміни тиску у камері РРД при виході двигуна на маршовий режим», «Розрахункова оцінка впливу підживлення камери згоряння паливом при виході двигуна на маршовий режим», «Розрахункове визначення зміни тиску у камері РРД при роботі системи регулювання і малих відхиленнях конструктивних параметрів».*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): описи до лабораторних робіт.*

Загальна характеристика запуску. Складові частини запуску. Класифікація видів запуску. Форсування процесів запуску. Вимоги до процесів запуску.

Умови безаварійного запуску. Запалювання компонентів палива. Пускове перевантаження камери.

Енергетичні можливості запуску.

Особливості запуску двигунів у вакуумі та невагомості.

Теоретичний розрахунок процесів запуску. Особливості розрахунку запуску. Математична модель запуску. Розрахунок запуску мікродвигунів.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 22 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення з рівняннями динаміки головних агрегатів РРД: камери, газогенератора, гідравлічних трактів, паливних насосів, активної або реактивної турбіни, агрегатів автоматики.

Тема 8. Вимикання ракетного двигуна.

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

- *Обсяг аудиторного навантаження: 10 годин.*

- *Лабораторні роботи: «Побудова графіка зміни тиску у камері РРД після вимикання двигуна».*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): описи до лабораторних робіт.*

Головні характеристики процесу вимикання. Види вимикання.

Імпульс післядії двигуна (ІПД). Складові ІПД. Розрахунок імпульсу післядії. Розкидання імпульсу післядії. Способи зменшення середнього значення ІПД та його розкидання.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 20 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення зі способами, які викликають вплив ІПД на умови розділення ступенів ракети-носія.

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 2 семестрі за тематикою «Розробка системи живлення ракетного двигуна».

6. Методи навчання

Словесні, наочні, практичні.

7. Методи контролю

Поточний контроль (захист лабораторних робіт), модульний контроль (тестування за розділами курсу) та підсумковий (семестровий) контроль - іспит (1 семестр), іспит (2 семестр), залік з оцінкою за результатами захисту курсового проекту (2 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			
Модульний контроль	0...35	1	0...35
Змістовний модуль 2			
Виконання і захист лабораторних робіт	0...5	6	0...30
Модульний контроль	0...35	1	0...35
Усього за семестр			0...100
Модуль 2			
Змістовний модуль 3			
Виконання і захист лабораторних робіт	0...5	1	0...5
Модульний контроль	0...35	1	0...35
Змістовний модуль 4			
Виконання і захист лабораторних робіт	0...5	4	0...20
Модульний контроль	0...40	1	0...40
Усього за семестр			0...100

Прийнята шкала оцінювання

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

Під час складання семестрового іспиту студент 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 вибрати необхідну структуру рушійної установки. Вміти самостійно скласти її пневмогідравлічну схему залежно від призначення та потрібних характеристик, вибрати спосіб наддуву баків, давати характеристику особливостям динамічних процесів, які характерні для різних ракетних двигунів.

Добре (75 - 89). Твердо знати мінімум знань, виконати та захистити всі лабораторні роботи з оцінкою «добре» в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах. Вміти описувати динамічні процеси, що відбуваються у ракетних двигунах, за допомогою рівнянь динаміки головних агрегатів РРД: камери, газогенератора, гідравлічних трактів, паливних насосів, активної або реактивної турбіни, агрегатів автоматики. Вміти описувати процес вимикання ракетного двигуна.

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, яка використовуються при проектуванні кінцевих автоматів РД, різних акумуляторів систем наддуву баків паливних компонентів, розрахунку імпульсу післядії та способів зменшення середнього значення ПІД та його розкидання.

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. 2021. – 786 p.

Допоміжна

2. John B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, 2nd Edition, 2018
3. Alessandro de Iaco Veris Fundamental Concepts of Liquid-Propellant Rocket Engines 2020. 747p.
4. David Altman. Liquid Propellant Rockets. 2015. 198
5. Jim Ras. Design of Liquid Propellant Rocket Engines. 2016. 414p.

12.Інформаційні ресурси

1. NASA <http://www.jpl.nasa.gov>
2. The European Space Agency <http://www.esa.int/esacp/index.html>