

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)

В.О.Середа
(ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2021 р.

СИЛАБУС ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
Автоматичне регулювання ракетних двигунів

(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 01.09.2021 року

Харків – 2021 р.

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


(підпис)

Силабус навчальної дисципліни розглянуто на засіданні кафедри конструкцій і проектування ракетної техніки (№ 401)

Протокол № 1 від « 27 » серпня 2021 р.

В.о. завідувача кафедри д.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

В.О.Середа
(ініціали та прізвище)

Погоджено з представником здобувачів освіти:


(підпис)

М.В.Ремезок
(ініціали 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;
- випробування ракетних двигунів;
- основи автоматики.

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

2. Опис навчальної дисципліни

Семестр, в якому викладається дисципліна – 8 семестр.

Обсяг дисципліни:

6,5 кредитів ЄКТС (195 годин), у тому числі аудиторних – 84 години, самостійної роботи здобувачів – 111 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 (залік).

Мова викладання – українська.

Необхідні обов'язкові попередні дисципліни (пререквізити) – прикладна гідрогазодинаміка, палива ракетних двигунів.

Необхідні обов'язкові супутні дисципліни (кореквізити) – конструкція і проектування ракетних двигунів, конструкція і проектування турбонасосних агрегатів.

3. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета

Надати необхідний обсяг знань, умінь розрахунків та основ проектування автоматичних регуляторів прямої та непрямої дії системи регулювання ракетних двигунів.

Завдання

Розглянути особливості типових функціональних схем систем автоматичного регулювання ракетних двигунів, динамічні властивості автоматичних регуляторів та їх елементів, а також існуючі методи розрахунку автоматичних регуляторів газового тиску.

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

- здатність використовувати положення динаміки польоту та керування при проектуванні об'єктів авіаційної та ракетно-космічної техніки;
- базові знання у галузі гідравлічних, пневматичних, електричних та електронних систем, що застосовуються в авіаційній та ракетно-космічній техніці.

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

- знати особливості принципових конструктивних схем рідинних ракетних двигунів;
- мати уявлення про дросельну (регульовальну) та висотну статичні характеристики двигуна;
- знати як відбувається керування вектором тяги;
- мати уявлення про системи керування ракетою;
- знати рівняння динаміки гідравлічних регуляторів;
- вміти описувати процеси, що відбуваються у автоматичних системах регулювання, за допомогою рівнянь руху та вибирати спосіб регулювання РД.
- вільно спілкуватися з професійних питань усно і письмово державною мовою, включати знання спеціальної термінології та навички міжособистісного спілкування.

4. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовний модуль 1.

Тема 1. Вступ до навчальної дисципліни «Автоматичне регулювання ракетних двигунів»

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

Предмет вивчення і задачі дисципліни. Місто дисципліни у навчальному плані. Основні етапи розвитку систем автоматичного регулювання РД, сучасний стан, вклад України.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 2 години.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Історичний огляд розвитку систем регулювання РД.

Тема 2. Газодинамічні органи керування ЛА.

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

Аеродинамічні схеми літальних апаратів. Головні типи органів керування ЛА. Визначення необхідних керуючих моментів та сил. Вимоги, що висуваються до органів керування. Критерії ефективності органів керування.

Ракетні двигуни для керування. Реверс та відсічка тяги. Дроселювання сопел. Керування вектором тяги. Системи керування ракетою. Система наведення. Система кутової стабілізації. Система керування витрат компонентів палива.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 3 години.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Соплові керуючі апарати з центральним тілом. Розсувні сопла. Поворотні насадки. Система кутової стабілізації.

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. Рідинний ракетний двигун як об'єктів регулювання.

Форма занять: лекція, лабораторні роботи, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 26 години.*

- *Лабораторні роботи: «Автоматичний газовий регулятор тиску», «Регулятори тиску систем наддуву паливних компонентів РРД», «Регулятори тиску камер та газогенераторів РРД», «Регулятори витрат паливних компонентів камер та газогенераторів РРД», «Стабілізатори співвідношення паливних компонентів РР».*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): Стенд експериментального отримання статичної характеристики газового регулятора тиску, Атласи «Конструкції агрегатів рідинних ракетних двигунів» і описи до них.*

Принципові схеми двигунів. Витискувальна система подачі компонентів. Турбонасосна система подачі. РРД з допалюванням генераторного газу після турбіни у камері згоряння.

Зовнішні статичні характеристики та керування вектором тяги. Дросельна характеристика двигуна. Висотна характеристика двигуна.

Структурні схемі деяких РРД. Схема двохкомпонентного газогенератора. Схема РРД з витискувальною системою подачі та повітряним акумулятором тиску (ПАТ). Схема РРД з однокомпонентним газогенератором. Схема РРД з двохкомпонентним газогенератором. Схема РРД з допалюванням відбудовного газу.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 14 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення термінів та визначень. Система керування витрат компонентів палива. Схема РРД з однокомпонентним газогенератором. Оформлення лабораторних робіт та підготовка до їх здачі.

Тема 4. Процеси у рідинних ракетних двигунах.

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

- *Обсяг аудиторного навантаження: 10 годин.*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): Стенд фізичного моделювання високочастотних коливань у камері РРД.*

Нестійкість процесів в РРД. Кавітаційні коливання. Подовжня стійкість корпусу ракети. Низькочастотні внутрішньокамерні коливання. Низькочастотні коливання окремих контурів двигуна. Високочастотні коливання.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 14 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення подовжньої стійкості корпусу ракети та низькочастотних коливань окремих контурів двигуна. Оформлення лабораторної роботи та підготовка до її здачі.

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. Рівняння статички та динаміки гідравлічних та газових регуляторів прямої дії.

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

- *Обсяг аудиторного навантаження: 30 годин.*

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

Деякі особливості та схеми регуляторів РРД. Гідравлічні та пневматичні пристрої для виконання.

Регулятори прямої дії (вимоги, характеристики, конструктивні особливості). Диференційні рівняння руху регуляторів прямої дії.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 26 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення гідравлічних та пневматичних пристроїв для зрівняння. Ознайомлення зі схемами систем регулювання тиску наддуву паливного компоненту. Вимоги до робочого тіла для регулятора тиску наддуву паливного компоненту. Вивчення схем регуляторів тиску наддуву паливного компоненту. Ознайомлення з впливом конструкційних особливостей регуляторів на статичну характеристику.

Тема 6. Рівняння динаміки гідравлічних та газових регуляторів непрямої дії.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*

- *Обсяг аудиторного навантаження: 6 годин.*

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

Регулятори непрямої дії (вимоги, характеристики, конструктивні особливості). Диференційні рівняння руху регуляторів непрямої дії.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 26 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Вивчення механогідравлічних та механопневматичних пристроїв для перетворення, підсилювачів та розподільовачів, а також перетворювачів роду енергії.

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. Точність систем автоматичного регулювання РРД.

Форма занять: лекція, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 4 годин.*

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

Статичні характеристики елементів РРД з випадковими конструктивними параметрами. Статичні характеристики елементів регуляторів. Статична точність РРД. Оцінка статичної точності замкнутої САК. Вплив параметрів регуляторів на статичну точність САК.

Зв'язок між похибками динамічних параметрів та похибками конструктивних параметрів та настройки. Вплив динамічних параметрів регуляторів на похибку частотних характеристик.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 6 годин.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача.

Тема 8. Сталість систем автоматичного регулювання РРД.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*

- *Обсяг аудиторного навантаження: 4 годин.*

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

Сталість систем автоматичного регулювання. Критерії сталості Рауса-Гурвіца. Діаграма Вишнеградського. Частотні критерії сталості.

- *Обсяг самостійної роботи здобувачів: 20 години.*

Опрацювання матеріалу лекцій. Формування питань до викладача. Ознайомлення з моделюванням гідравлічних та пневматичних процесів в системах автоматичного регулювання РРД.

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

Розрахункова робота на тему «Визначення статичних характеристик автоматичних регуляторів тиску у системах наддуву паливних баків».

6. Методи навчання

Словесні, наочні, практичні.

7. Методи контролю

Поточний контроль виконання розрахункової роботи, модульний контроль (тестування за розділами курсу) та підсумковий (семестровий) контроль (залік).

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			
Робота на лекціях	0...0,5	2	0...1(максимальна кількість балів за цим показником)
Виконання і захист лабораторних робіт	3...5	0	0
Модульний контроль	0...10	1	0...10
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...0,5	6	0...3
Виконання і захист лабораторних робіт	0..5	6	0...30
Модульний контроль	0...10	1	0...10

Модуль 2			
Змістовний модуль 3			
Робота на лекціях	0...0,5	6	0...3
Виконання і захист лабораторних робіт	3...5	0	0
Виконання практичних робіт	0...1	4	0...4
Модульний контроль	0...10	1	0...10
Змістовний модуль 4			
Робота на лекціях	0...0,5	4	0...2
Виконання і захист лабораторних робіт	0..5	0	0
Виконання практичних робіт	0...1	4	0...4
Виконання і захист РГР (РР, РК)	0...13	1	0...13
Модульний контроль	0...10	1	0...10
Усього за семестр			0...100

Прийнята шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка для заліку
90-100	Зараховано
75-89	
60-74	
0-59	Не зараховано

Під час складання семестрового заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для заліку 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 складати функціональні схеми рідинних ракетних двигунів, вибрати спосіб регулювання РРД, давати характеристику існуючим гідравлічним регуляторам системи регулювання РРД.

Добре (75 - 89). Твердо знати мінімум знань, відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи з оцінкою «добре» в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах. Вміти описувати процеси, що відбуваються у автоматичних системах регулювання, за допомогою рівнянь руху. Вміти описувати роботу гідравлічних регуляторів системи регулювання РРД за допомогою диференціальних рівнянь

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 газових регуляторів тиску системи наддуву баків паливних компонентів РРД.

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. Гликман Б.Ф. Автоматическое регулирование жидкостных ракетных двигателей. [Текст] / Б.Ф.Гликман. - М.: Машиностроение, 1974. – 396 с.
2. Бабкин А.И. Основы теории автоматического управления двигательными установками [Текст] / А.И.Бабкин, С.В.Белов, Н.Б.Рутовский и др. - М.: Машиностроение, 1986. - 456 с.
3. Мелькумов Т.М. Ракетные двигатели [Текст] / Т.М.Мелькумов, Н.И.Мелик-Пашаев, П.Г.Чистяков и др. - М.: Машиностроение, 1976. – 400 с.
4. Махин В.А. Динамика жидкостных ракетных двигателей [Текст] / В.А.Махин, В.Ф.Присняков, Н.П.Белик – М.: Машиностроение, 1983. – 834 с.
5. Натанзон М.С. Неустойчивость горения [Текст] / М.С.Натанзон.- М.: Машиностроение, 1986. – 248 с.

Допоміжна

1. Машиностроение. Энциклопедия. / Ред. Совет: К.В.Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Самолеты и вертолеты. Том IV- 21, Книга 3 Авиационные двигатели [Текст] / В.А.Скибин, В.И.Солонин, Ю.М.Темис и др.; под ред. В.А.Скибина, Ю.М.Темиса и В.А.Сосунова. –

2010. – 720 с.

2. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. Совет: К.В.Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Автоматическое управление. Теория. Т. I-4 [Текст] / Е.А.Федосов, А.А.Красовский, Е.П.Попов и др. Под общ. ред. Е.А.Федосова, 2000. – 688 с.
3. Rocket Propulsion Elements. George P.Sutton, Oscar Biblarz. Jhon Wiley @ Sons, Inc. 201. – 786 p.