

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

Кафедра «Конструкцій і проектування ракетної техніки» (№ 401)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Керівник проектної групи

 В.О. Серeda

« 28 » \_\_\_\_\_ 08\_\_ 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ  
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Конструкція і проектування рідинних РД  
(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)**

Харків 2021 рік

Робоча програма «Конструкція і проектування рідинних РД»  
(назва дисципліни)  
для студентів за спеціальністю 134 — Авіаційна та ракетно-космічна техніка  
освітньою програмою Ракетні двигуни та енергетичні установки  
« 27 » 08 2021 р., – 11 с.

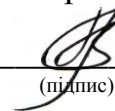
Розробник: Пунтус С. О. асистент кафедри 401  
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)

  
(підпис)

Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри «Конструкцій і проектування ракетної техніки»  
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 27 » 08 2021 р.

В.о. завідувача кафедри доктор. техн. наук  
(науковий ступінь та вчене звання)

  
(підпис)

В.О. Серeda  
(ініціали та прізвище)

## Опис навчальної дисципліни

Найменування показника		Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)	
Семестр			Семестр	
6	7		6	7
Кількість кредитів –			<p style="text-align: center;"><b>Галузь знань</b>  <u>13 Механічна інженерія</u>  <small>(шифр і найменування)</small></p> <p style="text-align: center;"><b>Спеціальність</b>  <u>134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка</u>  <small>(код і найменування)</small></p> <p style="text-align: center;"><b>Освітня програма</b>  <u>Ракетні двигуни та енергетичні установки</u>  <small>(найменування)</small></p> <p style="text-align: center;"><b>Рівень вищої освіти:</b>                      перший (бакалаврський)</p>	Вибіркова
7	5+2(КП)	<b>Навчальний рік</b>		
Кількість модулів – 2		2021/2022		
Кількість змістовних модулів – 4		<b>Лекції*</b>		
Індивідуальне завдання _____ <small>(назва)</small>		48 годин		48 годин
РГР	КП	<b>Практичні, семінарські*</b>		
Загальна кількість годин – 48/105		-		-
88/210	64/150	<b>Лабораторні*</b>		
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних		40 годин		16 годин
5,5	2,1	<b>Самостійна робота</b>		
самостійної роботи студента		122 годин	86 години	
7,6	5,3	<b>Вид контролю</b>		
		модульний контроль, іспит	модульний контроль, іспит	

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить 88/122 (96/114).

\* Аудиторне навантаження може бути збільшене або зменшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

### 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета вивчення:** дати знання, розвинути вміння і навички з проектування, прийняття конструктивних рішень, здобуття основ конструювання та проектування РРД та їх агрегатів.

**Завдання:** Основними завданнями вивчення дисципліни «Конструкція і проектування агрегатів рідинних двигунів» є розгляд фізичних, механічних особливостей процесів щодо роботоспроможності конструкцій гарячих агрегатів рідинних ракетних двигунів (РРД); засобів конструювання окремих вузлів з метою одержання найбільш надійних конструкцій; сучасних

конструкцій гарячих агрегатів РРД, розрахункових схем та методів розрахунку основних вузлів агрегатів; матеріалів елементів конструкції та способи їх з'єднання.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей**:

1. Здатність проектувати та проводити випробування елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки, її обладнання, систем та підсистем.

#### **Програмні результати навчання:**

1. Застосовувати сучасні методи проектування, конструювання та виробництва елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки.
2. Пояснювати особливості конструкції та основні аспекти робочих процесів в системах та елементах авіаційної та ракетно-космічної техніки.

### **3. Програма навчальної дисципліни**

#### **Модуль 1. .Проектування та конструювання сумішевих головок РРД**

##### **Змістовний модуль 1.1. Загальні вопрси проектування РРД**

**Тема 1.** Вступ до навчальної дисципліни „Конструкція і проектування агрегатів РРД».

Предмет вивчення і задачі дисципліни. Місто дисципліни в навчальному плані. Основні етапи розвитку конструкцій РРД, сучасний стан, вклад України.

**Тема 2.** Структура РРД.

**Тема 3.** Камери РРД. Загальний підхід до проектування.

Конструктивні схеми і структура камер РРД. Типові конструктивні схеми і структура камер РРД. Призначення основних вузлів. Класифікація камер з конструктивних ознак. Умови роботи камер РРД. Умови роботи та навантаження камер. Головні вимоги до конструкцій камер РРД та матеріалів. Вибір основних параметрів РРД. Вибір системи постачання палива. Вибір системи постачання палива та синтез принципової та структурно-функціональної схеми РРД. Послідовність проектування камер РРД. Вплив деяких факторів на конструкцію РРД. Фактори, які впливають на конструкцію камери РРД. Вимоги до силової системи. Тепловий захист камери РРД.

**Змістовний модуль 1.2. Проектування і конструювання сумішевих головок РРД**

**Тема 1.** Розрахунки і проектування елементів сумішевих головок.

Основні співвідношення при розрахунках струминних форсунок. Основні співвідношення при розрахунках відцентрових форсунок без урахування в'язкості паливного компонента. Основні співвідношення при розрахунках відцентрових форсунок з урахуванням в'язкості паливного компонента. Конструктивні схеми головок. Типові конструктивні схеми та структура сумішевих головок, призначення основних елементів. Класифікація головок. Класифікація головок з конструктивних ознак, умови роботи та навантаження. Конструкція головок. Послідовність проектування сумішевих головок. Особливості розрахунку газових та газорідних струминних форсунок.

**Тема 2.** Конструкція та проектування елементів сумішевих головок РРД.

Струменеві форсунки. Типові конструкції рідинних струминних форсунок. Особливості розрахунку і проектування. Відцентрові форсунки. Типові конструкції відцентрових форсунок. Однокомпонентні тангенціальні та шнекові струминно-відцентрові форсунки. Типові конструкції струминно-відцентрових форсунок.

**Тема 3.** Розрахунки та проектування форсуночних блоків.

Типові схеми розводу компонентів у сумішевої головці. Схеми розташування форсунок та його вплив на процеси у камері згоряння. Основні співвідношення.

**Тема 4.** Конструкція та проектування форсуночних блоків РРД.

Вимоги до конструкцій блоків і матеріалів. Основи розрахунку та проектування відцентрових форсунок. Двохкомпонентні форсунки. Типові схеми двохкомпонентних форсунок для палива “рідина-рідина”, “газ-рідина” та “газ-газ”. Засоби кріплення форсунок. Розташування та кріплення форсунок у форсуночному блоці. Засоби з’єднання змішувальних головок з корпусом камери РРД.

**Модуль 2.** Проектування та конструювання корпусів камер РРД та газогенераторів

**Змістовний модуль 2.1.** Проектування камер РРД

**Тема 1.** Розрахунки та проектування корпусів камер РРД.

Розрахункова схема оболонок, які мають підкріплення. Види зв’язку оболонок. Розрахункові схеми місцевої міцності оболонок камер РРД з рідким та частим зв’язком. Розрахунок та проектування теплового захисту корпусів камер. Типові конструктивні схеми вузлів внутрішнього охолодження камер РРД. Розрахунки на міцність корпусів камер РРД. Розрахункові схеми та співвідношення при проектуванні камер РРД з оболонками, які зв’язані. Розрахунки на несучу здібність камери РРД. Методи розрахунку несучої здібності камери РРД без обліку осьових навантажень.

**Змістовний модуль 2.2.** Конструювання камер РРД

**Тема 1.** Конструкція та проектування корпусів камер РРД.

Функції конструктивних вузлів камери згоряння і сопла. Форми камер згоряння. Види навантаження камер. Основні види навантаження камер РРД. Одностінні корпуси камер. Типові конструктивні рішення. Основні параметри, галузь використання, матеріали. Корпуси камер з оболонок, які не зв’язані. Типові конструктивні рішення. Основні параметри, галузь використання, матеріали. Корпуси камер з рідким зв’язком оболонок. Типові конструктивні рішення. Основні параметри, галузь використання, матеріали. Корпуси камер з частим зв’язком. Типові конструктивні рішення зв’язку оболонок по гофровим проставкам та ребрам, які фрезеровані. Вибір числа ребер у разі конструювання таких оболонок. Аналіз видів зв’язку оболонок. Критерії частоти зв’язку оболонок. Типові конструктивні схеми основних елементів камер РРД. З’єднання блоків камер РРД. Способи з’єднання блоків камер РРД. Типові конструктивні рішення вузлів з’єднання блоків камери та сумішевої головки. З’єднання блоків камер РРД. Особливості конструкції блоків з’єднання при застосуванні різноманітних матеріалів оболонок. Вузли теплового захисту

камери. Конструкція та проектування підвідних магістралей, колекторів, вузлів кріплення камери та арматури.

#### Тема 2. Газогенератори.

Схеми організації процесу. Особливості схем газогенераторів, які працюють на однокомпонентному та двокомпонентному палеві. Двохзонні газогенератори. Засоби забезпечення сталісті процесу. Конструктивні схеми захисту від теплових навантажень стенок камери та донця сумішевої головки.

### 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	Денна форма				
	Усього	У тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
<b>Модуль 1</b>					
<b>Змістовий модуль 1.1. Загальні воприси проектування РРД</b>					
Тема 1. Вступ до навчальної дисципліни «Конструкція і проектування агрегатів ракетних двигунів»	2	2	–		–
Тема 2. Структура РРД	12	2	–		10
Тема 3. Камери РРД. Загальний підхід до проектування	38	8	20		10
Разом за змістовим модулем 1	<b>52</b>	<b>12</b>	<b>20</b>		<b>20</b>
<b>Змістовий модуль 1.2. Проектування і конструювання сумішевих головок РРД</b>					
Тема 1. Розрахунки і проектування елементів сумішевих головок	26	6	–	–	20
Тема 2. Конструкція та проектування елементів сумішевих головок РРД	41	10	–	–	31
Тема 3. Розрахунки та проектування форсуночних блоків	35	8	–	–	27
Тема 4. Конструкція та проектування форсуночних блоків РРД	56	12	20	-	24
Разом за змістовим модулем 2	<b>158</b>	<b>36</b>	<b>20</b>	-	<b>102</b>
<b>Усього годин</b>	<b>210</b>	<b>48</b>	<b>40</b>	-	<b>122</b>
<b>Модуль 2</b>					
<b>Змістовий модуль 2.1. — Проектування камер РРД</b>					
Тема 1. Розрахунки та проектування корпусів камер РРД	87	25		8	54
Разом за змістовим модулем 1	<b>87</b>	<b>25</b>		<b>8</b>	<b>54</b>
<b>Змістовий модуль 2.2. — Конструювання камер РРД</b>					
Тема 1. Конструкція та проектування корпусів камер РРД	58	20		8	30
Тема 2. Газогенератори	5	3		–	2
Разом за змістовим модулем 2	<b>63</b>	<b>23</b>		<b>8</b>	<b>32</b>

Усього годин	<b>150</b>	<b>48</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>86</b>	
Усього по дисципліні	<b>360</b>	<b>96</b>	<b>40</b>	<b>16</b>	<b>258</b>	

### 5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин

### 6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Визначення коефіцієнту збитку кисню. Розрахунок теоретичного та дійсного витрат палива.	2
2	Визначення основних геометричних характеристик камери згоряння та сопла.	2
3	Збудування контуру камери згоряння та сопла.	4
4	Проектування тракту охолодження камери.	4
5	Розрахунки паливних форсунок.	4
6	Проектування сумішевої головки.	4
7	Проектування корпусу камери.	4
8	Проведення розрахунку охолодження камери.	4
9	Проведення розрахунків на несучу здібність камери згоряння.	4
10	Локальна міцність камери. Міцність верхнього донця.	4
11	Проектування арматури та вузлів кріплення камери.	4
	<b>Разом</b>	<b>40</b>

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>7 семестр (КП 32 години)</b>		
1	Камера РРД РД-1Х3.	4
2	Камера РРД РД-100.	4
3	Камера РРД СК-1К.	4
4	Камера РРД РО-1.	4
5	Камера РРД РД-107	4
6	Рулевая камера РД-107	4
7	Камера РРД РО-7.	2
8	Камера РРД РД-0120	2
9	Камера РРД 8Д43.	2
10	Камера РРД корегування	2
	<b>Разом</b>	<b>32</b>

## 7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<b>7 семестр</b>		
11	1-й газогенератор РРД РО-1	2
12	2-й газогенератор РРД РО-1	2
13	Газогенератор РРД РД-107	2
14	Газогенератори РРД 11Д55 (РО-9)	2
15	Газогенератори РРД 8Д719 (РО-7)	2
16	Газогенератор РРД 8Д-43	2
17	Газогенератор РРД РД-119	2
18	Газогенератор РРД корегування	2
	<b>Разом</b>	<b>16</b>

## 8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вибір палива. Фактори, які впливають на вибір компонентів палива. Вибір тиску у камері згоряння та на срезі сопла. Вибір співвідношення компонентів палива.	26
2	Основні вимоги до конструкції сумішевих головок, особливості конструкцій, типові конструктивні рішення.	14
3	Класифікація форсуночних блоків. Функції форсуночних блоків, їх класифікація з конструктивних ознак, умови роботи форсуночних блоків.	20
4	Класифікація корпусів камер. Класифікація корпусів камер з конструктивних ознак. Особливості запуску РРД. Вплив різноманітних факторів на запуск РРД. Імпульс післядії (ІПД). Режим роботи камер.	50
5	Конструктивні засоби зменшення ІПД. Трубочаті камери РРД. Особливості технології виготовлення трубчатих камер. Особливості технології виготовлення оболонок з ребрами. Технологія виготовлення блоків-вставки у критичній перетин сопла. Особливості конструкції та технології виготовлення колекторів підводу компонентів та інших елементів камери РРД.	70
6	Газогенератори.	78
	<b>Разом</b>	<b>258</b>

## 9. Індивідуальні завдання

## 10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, лабораторних робіт, індивідуальних консультацій, самостійна робота студентів за рекомендованою навчальною літературою.



## 11. Методи контролю

Проведення поточного контролю виконання курсового проекту, усної здачі лабораторних робіт, письмового модульного контролю. Підсумковий контроль – іспит.

## 12. Розподіл балів, які отримують студенти

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
<b>Змістовний модуль 1.1</b>			
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	0...5	5	0...25
Модульний контроль	0...25	1	0...25
<b>Змістовний модуль 1.2</b>			
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	0...5	5	0...25
Модульний контроль	0...25	1	0...25
<b>Усього за семестр</b>			<b>0...100</b>

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
<b>Змістовний модуль 2.1</b>			
Робота на лекціях	0...1	4	0...4
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	0...5	4	0...20
Модульний контроль	0...20	1	0...26
<b>Змістовний модуль 2.2</b>			
Робота на лекціях	0...1	4	0...4
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	0...5	4	0...20
Модульний контроль	0...20	1	0...26
<b>Усього за семестр</b>			<b>0...100</b>

Семестровий контроль (іспит/залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту/заліку. Під час складання семестрового іспиту/заліку студент має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту складається з двох теоретичних питань та одного практичного питання. Максимальна кількість балів за кожне теоретичне питання становить 30 балів, а за практичне питання – 40 балів (сума – 100 балів).

Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

**Задовільно (60-74).** Мати мінімум знань та умінь. Відпрацювати всі практичні роботи. Знати класифікацію ракетних двигунів, основні конструктивні вузли камери згоряння та сопла та їх функції та конструктивні особливості.

**Добре (75 - 89).** Твердо знати мінімум знань, виконати усі передбачені програмою завдання. Показати вміння виконувати всі практичні роботи в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням загальних рішень та заходів. Знати Технічні, виробничо-економічні та експлуатаційні; функції конструктивних вузлів камери згоряння і сопла; основні види

навантажень на камери згоряння, режими роботи камер, вмiти аналізувати структурні та схемні рішення щодо камер РРД.

**Відмінно (90 - 100).** Повністю володіти основним та додатковим матеріалом передбаченим програмою дисципліни. Знати усі теми. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Здати всі контрольні точки вчасно та з оцінкою «добре» або «відмінно».

### Шкала оцінювання: бальна і традиційна

Сума балів	Оцінка за традиційною шкалою	
	Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	Відмінно	Зараховано
75 – 89	Добре	
60 – 74	Задовільно	
0 – 59	Незадовільно	Не зараховано

### 13. Методичне забезпечення

1. Завистовский Д.И., Спасивцев В.В. Конструкция и проектирование агрегатов ЖРД. Камеры. Учебное пособие. – Харьков: Нац.аэрокосм. ун-т «Харьк.авиац. ин-т», 2006. – 122 с.

2. ЖРД второй ступени универсальной ракеты-носителя «Энергия» 11Д122/ составитель В.Г.Калеберда – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк.авиац. ин-т», 1999.

3. Спасивцев В.В. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Конструкция и проектирование агрегатов ЖРД». Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е.Жуковского „ХАИ“, каф. 401, 2013.

4. Спасивцев В.В. Проектирование агрегатов ЖРД. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Конструкция и проектирование агрегатов ЖРД». Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е.Жуковского „ХАИ“, каф. 401, 2013.

### 14. Рекомендована література

#### Базова

1. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей / А.П. Васильев, В.М. Кудрявцев, В.А. Кузнецов и др. – М.: Высш. шк., 1983.

2. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей: Учебник /Г.Г.Гахун, В.И.Баулин, В.А.Володин и др.; Под общ. ред. Г.Г.Гахуна. – М.: Машиностроение, 1989. – 424 с.

3. Алемасов В.Е., Дрегалін А.Ф., Тишин А.П. Теория ракетных двигателей. – М.: Машиностроение, 1980.

4. Хронин Д.В. Теория и расчет колебаний в двигателях летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1980. – 296 с.

5. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели: Учебник. – М.: Машиностроение, 1968. – 396 с.

6. Зрелов В.Н., Серегин Е.П. Жидкие ракетные топлива. – М.: Химия, 1975.

#### Допоміжна

7. Термодинамические и теплофизические свойства продуктов сгорания: Справочник в 10 т. / Под ред. В.П. Глушко.. – М.: АН СССР, 1971 – 1979. – Т. 2, 4, 5.
8. Альбом конструкций ЖРД /В.П.Глушко часть 2, Москва, 1962.
9. Атлас конструкций ЖРД /Г.Г.Гахун и др. часть 1, Москва, 1969.
10. Атлас конструкций ЖРД /Г.Г.Гахун и др. часть 1, (описания), Москва, 1969.
11. Альбом газогенераторов ЖРД /А.Д.Конопатов и др. Воронеж: ВМЗ – КБХА, 1967.
12. Альбом камер сгорания ЖРД./А.Д.Конопатов и др. Воронеж: ВМЗ – КБХА, 1967.
13. ГОСТ 17655-80. Двигатели ракетные жидкостные. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
14. ГОСТ 4401-81. Атмосфера стандартная. Параметры. - М.: Изд-во стандартов, 1981.
15. Гухман А.А., Илюхин Н.В. Основы учения о теплообмене при течении газа с большой скоростью. – М.: Машгиз,1951.
16. Спесивцев В. В. Влияние гидродинамических потерь в камере ракетного двигателя на режим истечения газа из сопла [Текст] / В.В.Спесивцев // Авиационно-космическая техника и технология. – 2016. – № 5(132). – С. 41-46.
17. Спесивцев В. В. Необходимые и достаточные условия отрыва струи от стенок сопла на режиме перерасширения [Текст] / В.В.Спесивцев // Авиационно-космическая техника и технология. – 2009. – № 6(63). – С. 60-65.

## **15. Інформаційні ресурси**

1. Сайт кафедри [www.k401.khai.edu](http://www.k401.khai.edu), розділ літератури.
2. [http://publ.lib.ru/ARCHIVES/G/GAHUN\\_Georgiy\\_Georgievich/\\_Gahun\\_G.G..html](http://publ.lib.ru/ARCHIVES/G/GAHUN_Georgiy_Georgievich/_Gahun_G.G..html).