

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
(підпис) (ініціали та прізвище)

«_____» _____ 2021 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Схеми постачання палива ракетних двигунів
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 13 Механічна інженерія
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка
(код і 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 Схеми постачання палива ракетних двигунів
(назва дисципліни)
для студентів за спеціальністю 134 Авіаційні та ракетно-космічні комплекси
освітньою програмою Ракетні двигуни та енергетичні установки

« 26 » 08 2021 р., – 9 с.

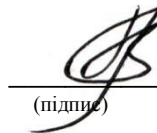
Розробник: Завістовський Д.І. доцент каф. 401, канд. техн. наук
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)


(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 канд. техн. наук
(науковий ступінь і вчене звання)


(підпис)

В.О. Серeda
(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)	
Кількість кредитів 10,5	Галузь знань <u>13 Механічна інженерія</u> (шифр і найменування) Спеціальність <u>134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка</u> (код і найменування) Освітня програма <u>«Ракетні двигуни та енергетичні установки»</u> (найменування) Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)	За вибором	
Модулів –		Рік підготовки: 2021/2022	
Змістових модулів –		Семестр 6	Семестр 7
Індивідуальне науково-дослідне завдання: РР			
Загальна кількість годин – 315		Лекції * 32 год.	Лекції * 24 год.
Годин для денної форми навчання: аудиторних – 136 самостійної роботи студента – 179		Практичні * 32год.	Практичні * 32 год.
		Лабораторні 16 год.	Лабораторні год.
		Самостійна робота 115 год.	Самостійна робота 64 год.
		Індивідуальні завдання: 0 год.	Індивідуальні завдання: 0 год.
		Вид контролю: іспит	Вид контролю: іспит

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить 136*/179*

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

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення – ознайомити студентів з існуючими системами постачання палив в рідинних ракетних двигунах, агрегатами цих систем та методами їх розрахунку.

Результати навчання. У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен:

знати: існуючі та сучасні системи і агрегати постачання палива в ракетних рідинних двигунах (РРД), їх схеми, характеристики, об'єкти застосування; основи теорії лопаткових машин; методи і способи розрахунків турбонасосних агрегатів;

вміти: вибрати за вихідними даними до двигуна систему постачання його палива, основні її характеристики, розрахувати основні показники і параметри системи і турбонасосного агрегату (ТНА), виконати загальний вигляд ТНА.

мати навички:

- обробки результатів експериментів, що проводяться в рамках лабораторного практикуму;
- формулювання висновків на основі отриманих результатів.

Міждисциплінарні зв'язки. При вивченні дисципліни студент повинен мати підготовку в області технічних дисциплін, термодинаміки, гідрогазодинаміки, фізичної хімії.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовний модуль 1 (6 семестр)

Модуль 1. Загальні відомості про системи постачання палив в РРД і їх агрегати
ТЕМА 1 Вступ до навчальної дисципліни “Системи постачання палив в РД”

Предмет вивчення і задачі дисципліни. Місце дисципліни в навчальному плані.

ТЕМА 2. Класифікація, склад і основні параметри систем.

Основні параметри систем постачання компонентів: витрати компонентів, їх співвідношення, тиски компонентів на вході в насоси і на виході із них, напірання насосів. Витискувальна і насосна системи постачання компонентів в РРД, їх схеми, особливості роботи, переваги і недоліки.

ТЕМА 3. Схеми систем постачання з ТНА.

Класифікація систем постачання РРД із ТНА. Системи постачання з передкамерною турбіною. Системи постачання з автономною турбіною. Їх схеми, параметри та особливості роботи.

Модуль 2 Основи загальної теорії лопаткових машин

ТЕМА 1. Класифікація лопаткових машин та основні їх показники.

Класифікація лопаткових машин. Машини-двигуни та виконуючі-машини. Радіальні та осьові лопаткові машини. Машини з різним числом ступеней. Основні етапи розвитку. Основні властивості. Плоскі лопаткові грати та їх параметри: параметри профілю лопатки, вхідний і вихідний фронти, вхідні і вихідні кути профілю, відстань грати, її ширина. Форми міжлопаткового каналу.

ТЕМА 2. Кінематичні співвідношення в лопаткових машинах.

Основні відомості про кінематичні співвідношення. Вхід до колеса. Течія в міжлопаткових каналах колеса та на виході із нього. Побудова трикутників швидкості. Основні співвідношення, що витікають із закону про кількість руху.

ТЕМА 3. Рівняння Ейлера для лопаткових машин.

Основні співвідношення, що витікають із закону про кількість руху. Момент сил, що діють на лопатки робочого колеса. Рівняння Ейлера. Аналіз рівняння Ейлера.

ТЕМА 4. Сили, що діють на лопатки лопаткових машин.

Сили, що діють на лопатки осьової машини. Осьові та радіальні сили, що діють на робоче колесо. Циркуляційні сили та момент від них. Сили, що діють на лопатки радіальних машин. Коріолісові сили та момент від них. Співвідношення між циркуляційними та коріолісовими силами в радіальних машинах.

ТЕМА 5. Статичний та динамічний напори колеса. Кінематична ступінь реактивності колеса. Основні співвідношення, що витікають із закону збереження енергії. Поняття статичного та динамічного напорів та робіт в лопаткових машинах. Кінематична ступінь реактивності колеса і її вплив на енергетичні та геометричні показники насосів і турбін.

Змістовний модуль 1 (7 Семестр)

Модуль 1

ТЕМА 6. Основні співвідношення для шнекового колеса.

Основні геометричні показники решіток шнекового колеса. Напор шнекового колеса з урахуванням трьохвимірності течії.

ТЕМА 7. Втрати в лопаткових машинах. Класифікація основних видів втрат. Внутрішні втрати: гідравлічні і дискові. Швидкісні вихідні втрати. Втрати від витoku робочого тіла. Механічні (зовнішні) втрати. Коефіцієнти, що характеризують втрати та зв'язок між ними.

Баланс потужностей ТНА. Гідравлічний ККД. Коловий ККД турбіни. Внутрішній, дисковий та механічний ККД. Потужнісний та витратний ККД.

ТЕМА 8. Основні термодинамічні співвідношення та теплові діаграми.

Робота опору. Зміна повної ентальпії рідини. Закон збереження енергії для лопаткових машин і витікаючи з нього поняття внутрішньої роботи колеса, дійсної роботи, колової роботи, дискової, адіабатної, політропної. Термодинамічні цикли та теплові діаграми лопаткових машин.

Модуль 2 Розрахунок насосів турбонасосних агрегатів

ТЕМА 1. Загальний устрій і склад насосів.

Робочі органи. Гідравлічні втрати. Схема устрою. Підводи насосу. Робочі колеса. Теоретичний напір з урахуванням кінцевого числа лопаток. Відведення насоса. Безлопатковий кільцевий дифузор. Кільцевий лопатковий дифузор. Спіральний збірник. Конічний дифузор. Втрати у відведеннях. Гідравлічні втрати та гідравлічний ККД. Втрати на відведення. Дискові та механічні втрати. ККД насоса.

ТЕМА 2. Енергетичні характеристики насосів.

Загальні поняття про енергетичні характеристики насосів, їх вигляд і принципи побудови.

ТЕМА 3. Кавітація в насосах.

Основні поняття. Кавітація в шнеці. Зривна кавітаційна характеристика насосу. Коефіцієнт кавітації, зривний кавітаційний запас, кавітаційний коефіцієнт швидкохідності. Антикавітаційні властивості шнековідцентрового насосу. Визначальні параметри. Умови роботи насоса без кавітаційного зриву. Вплив параметрів насосної системи та компонента, що перекачується на тиск у баці. Забезпечення високої антикавітаційної якості шнековідцентрового насосу.

4. Структура навчальної дисципліни

Назва змістовних модулів і тем	Кількість годин				
	денна форма				
	усього	у тому числі			
		л	п	лаб	с. р.
1	2	3	4	5	6
Змістовний модуль 1. (Семестр 6)					
Модуль 1					
<i>Загальні відомості про системи постачання палив в РРД і їх агрегати</i>					
Тема 1. Вступ до навчальної дисципліни.	12	2	–	–	10
Тема 2. Класифікація, склад і основні параметри систем.	27	2	5	–	20
Тема 3. Схеми систем постачання з ТНА.	37	8	5	4	20
Разом за модулем 1	76	12	10	4	50
Модуль 2					
<i>Основи загальної теорії лопаткових машин</i>					
Тема 1. Класифікація лопаткових машин та основні їх показники.	30	4	4	2	20
Тема 2. Кінематичні співвідношення в лопаткових машинах.	21	4	4	3	10
Тема 3. Рівняння Ейлера для лопаткових машин.	21	4	4	3	10
Тема 4. Сили, що діють на лопатки лопаткових машин.	22	4	6	2	10

Тема 5. Статичний та динамічний напори колеса. Кінематична ступінь реактивності колеса.	25	4	4	2	15
Разом за модулем 2	119	20	22	12	65
	195	32	32	16	115
Змістовний модуль 1 (7 Семестр)					
Модуль 1					
Тема 6. Основні співвідношення для шнекового колеса.	18	4	4		10
Тема 7. Втрати в лопаткових машинах.	18	4	4		10
Тема 8. Основні термодинамічні співвідношення та теплові діаграми.	22	4	8		10
Разом за модулем 1	58	12	16		30
Модуль 2					
<i>Розрахунок насосів турбонасосних агрегатів</i>					
Тема 1 Загальний устрій і склад насосів.	22	4	4		14
Тема 2. Енергетичні характеристики насосів.	18	4	4		10
Тема 3. Кавітація в насосах.	22	4	8		10
Разом за модулем 2	62	12	16		34
Разом за 7 семестр	120	24	32		64
Усього годин	315	56	64	16	179

5. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		

6. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Розрахунок шнековідцентрового насосу ТНА (Розрахунково-графічна робота)	32
2	Розрахунок турбіни ТНА (Розрахункова робота)	32
		64

7. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Загальне знайомство із конструкцією ТНА, насосів і турбін	2
2	Визначення характеристики напірання відцентрового насосу	2
3	Визначення втрат у відцентровому насосі	2
4	Визначення геометричних параметрів лопаткової грати відцентрового насосу та побудова планів швидкостей на різних режимах роботи насоса	2
5	Кавітаційна характеристика відцентрового насосу	4
6	Енергетичні характеристики відцентрового насосу	4
		16

8. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Основні типи систем постачання.	20
2	Схеми систем постачання з ТНА.	20
3	Класифікація лопаткових машин та основні їх показники.	30
4	Кінематичні співвідношення в лопаткових машинах.	30
5	Рівняння Ейлера для лопаткових машин.	10
6	Сили, що діють на лопатки лопаткових машин.	20
7	Статичний та динамічний напори колеса. Кінематична ступінь реактивності колеса.	10
8	Основні співвідношення для шнекового колеса	10
9	Втрати в лопаткових машинах.	10
10	Основні термодинамічні співвідношення та теплові діаграми.	10
11	Загальний устрій і склад насосів.	10
12	Енергетичні характеристики насосів	20
13	Кавітація в насосах	9
		209

9. Індивідуальні завдання

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1		
	Разом	

10. Методи навчання

Лекційні заняття з теорії дисципліни; лабораторні заняття для практичного знайомства студентів з методами визначення основних параметрів і характеристик лопаткових машин, складом і конструкцією ТНА; практичні заняття у вигляді розрахунково-графічної роботи, щодо знайомства з методами розрахунку ТНА. Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

11. Методи контролю

Лекційний матеріал – екзамен; лабораторні та практичні заняття у вигляді заліку за бальною системою.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

Семестр 6

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1			
1. Робота на лекціях	0..1	6	0..6
2. Виконання та захист лабораторних робіт	3..4	2	6..8
3. Виконання та захист практичних робіт	1...2	6	6..12
4. РГР	11..14	1	11..14
5. Складання модульного контролю	7..10	1	7..10

Модуль 2			
1. Робота на лекціях	0..0,5	10	0..5
2. Виконання та захист лабораторних робіт	1..2	6	6..12
3. Виконання та захист практичних робіт	0,5..1	10	5..10
4.РГР	8..10	1	8..10
5. Складання модульного контролю	11..13	1	11..13
Всього за семестр			60...100

Семестр 7			
Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Модуль 1			
1. Робота на лекціях	0..0,5	6	0..3
2. Виконання та захист практичних робіт	1...2	8	8..16
3. Виконання розрахунково-практичної роботи	6..11	1	6..11
4. Складання модульного контролю	16..20	1	16..20
Модуль 2			
1. Робота на лекціях	0..0,5	6	0..3
2. Виконання та захист практичних робіт	1...2	8	8..16
3. Виконання та захист розрахунково-практичної роботи	6..11	1	6..11
4. Складання модульного контролю	16..20	1	16..20
Всього за семестр			60...100

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 має тестовий вигляд. Складається з 25 теоретичних запитань. Максимальна кількість балів за кожне питання 4 бали (сума – 100 балів).

12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

знати: існуючі та сучасні системи і агрегати постачання палива в ракетних рідинних двигунах (РРД), їх схеми, характеристики, об'єкти застосування; основи теорії лопаткових машин; методи і способи розрахунків турбонасосних агрегатів;

Необхідний обсяг вмінь для одержання позитивної оцінки:

вміти: вибрати за вихідними даними до двигуна систему постачання його палива, основні її характеристики, розрахувати основні показники і параметри системи і турбонасосного агрегату (ТНА), виконати загальний вигляд ТНА.

12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

Задовільно (60-74). Мати мінімум знань та умінь. Відпрацювати всі практичні та лабораторні роботи. Знати існуючі та сучасні системи і агрегати постачання палива в ракетних рідинних двигунах (РРД), їх схеми, характеристики та об'єкти застосування.

Добре (75 - 89). Твердо знати мінімум знань, виконати усі передбачені програмою завдання. Володіти матеріалом на середньому рівні. Показати вміння виконувати всі практичні та лабораторні роботи в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням загальних рішень та заходів. Вміти вибрати за вихідними даними до двигуна систему постачання його палива, основні її характеристики, розрахувати основні показники і параметри системи і турбонасосного агрегату (ТНА), виконати загальний вигляд ТНА.

Відмінно (90 - 100). Повністю володіти основним та додатковим матеріалом передбаченим програмою дисципліни. Знати усі теми. Орієнтуватися у підручниках та посібниках.

Вміти виконати та добре орієнтуватися в матеріалах стосовно розрахунку основних показників і параметрів системи і турбонасосного агрегату (ТНА), вміти виконати загальний вигляд ТНА. Вміти пояснити отримані результати.

Здати всі контрольні точки вчасно та з оцінкою «відмінно».

13. Рекомендована література

Базова

1. Овсянников Б.В., Боровский Б.И. Теория и расчет агрегатов питания жидкостных ракетных двигателей. - М.: Машиностроение, 1986.-376с.
2. Высокооборотные лопаточные насосы./ Под ред Овсянникова Б.В., Чабаевского В.Ф. - М.: Машиностроение, 1975.-335с.
3. Холщевников К.В., Емин О.Н., Митрохин В.Т. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. - М.: Машиностроение, 1986.-431с.

Допоміжна

1. Нечаев Ю.Н., Федоров Р.М. Теория авиационных газотурбинных двигателей. - М.: Машиностроение, 1977.- 311с
2. Казанджан П.К., Тихонов Н.Д., Явко Л.К. Теория авиационных двигателей.- М.: Машиностроение, 1983. – 223с.
3. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели, основы проектирования.- М.: Машиностроение, 1968. – 396 с.
4. Повх И.Л. Техническая гидромеханика. - М.: Машиностроение, 1976.
5. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. – М.: Мир, 1974. – 688с.

15. Інформаційні ресурси

1. <http://www.yuzhnoye.com/>
2. <https://www.nasa.gov/>