

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

Кафедра Космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії (№402)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Голова НМК

  
(підпис)

М.А. Шевцова  
(ініціали та прізвище)

«09» 09 2019 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ  
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

Моделювання та розрахунок процесів в АРКТ  
(назва навчальної дисципліни)

Галузі 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

Ракетні та космічні комплекси

Проектування та виробництво конструкцій із композиційних матеріалів

Супутники, двигуни та енергетичні установки

(найменування спеціалізації)

**Форма навчання: денна**

**Рівень вищої освіти: другий (магістерський) 1р4м**

**Харків 2019 рік**



## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів – 6	<p><b>Галузь знань</b> <u>13 «Механічна інженерія»</u> (шифр та найменування)</p> <p><b>Спеціальність</b> <u>134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»</u> (код та найменування)</p> <p><b>Освітня програма</b> <u>«Ракетні двигуни та енергетичні установки»</u> <u>«Ракетні та космічні комплекси»</u> <u>«Проектування та виробництво конструкцій із композиційних матеріалів»</u> <u>«Супутники, двигуни та енергетичні установки»</u> (найменування)</p> <p><b>Рівень вищої освіти:</b> <u>другий (магістерський)</u> <u>1р4м</u></p>	Цикл загальної підготовки за вибором
Кількість модулів – 1		<b>Навчальний рік</b>
Кількість змістових модулів – 2		2019/ 2020
Індивідуальне завдання (назва)		<b>Семестр</b>
Загальна кількість годин – 180 денна – 64/180 <i>кількість годин аудиторних занять<sup>1)</sup>/ загальна кількість годин</i>		2
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 7,25	<b>Лекції</b>	32 годин
	<b>Практичні, семінарські</b>	32 годин
	<b>Лабораторні</b>	
	<b>Самостійна робота</b>	116 годин
	<b>Вид контролю</b>	іспит

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: для денної форми навчання – 64/116

## 2. Мета та завдання навчальної дисципліни

**Мета вивчення:** придбання практичних навиків використання сучасних методів і програмних засобів для моделювання та розрахунку процесів в АРКТ: навчити обґрунтовано вибирати математичні моделі для опису процесів в об'єктах АРКТ, дати знання про методи чисельного розв'язання математичних задач, які не можуть бути розв'язані аналітично, або використання аналітичних методів приводить до великого об'єму обчислювальної роботи..

### **Завдання:**

1. Розглянути існуючі математичні моделі процесів в об'єктах АРКТ, зокрема теплові, газо-гідродинамічні, електричні, магнітні та інші.
2. Розглянути сучасні методи чисельного та приблизного розв'язання математичних задач.
3. Визначити доцільні програмні засоби.

### **Результати навчання:**

Уміння обґрунтовувати вибір математичної моделі та методи чисельного розв'язання для вирішення конкретних задач; формулювати вхідні дані для рішення задач в рамках сучасних комп'ютерних технологій моделювання; поставити задачу для моделювання об'єктів АРКТ

### **Міждисциплінарні зв'язки: .....**

Вища математика, фізика, термодинаміка і теплообмін, газодинаміка, механіка матеріалів і конструкцій, інтегровані комп'ютерні технології проектування, проектування мікро- і пікосупутників, живлення і керування системами двигунів ЛА, переддипломний курс.

## 3. Програма навчальної дисципліни

### **Модуль 1.**

#### **Змістовний модуль 1. «Математичні моделі процесів в об'єктах АРКТ »**

Тема 1. *Вступ до навчальної дисципліни «Моделювання та розрахунок процесів в АРКТ».* Предмет вивчення і задачі дисципліни. Місто дисципліни у навчальному плані. Основні поняття.

Тема 2. *Визначення та призначення моделей. Класифікація моделей.*

Свідомості по про математичні моделі та їх побудову. Класифікація математичних моделей в залежності від складності об'єкту моделювання, від оператора моделі, от параметрів моделі, от цілій моделювання, от методів дослідження.

Тема 3. *Етапи побудови математичних моделей. Приклади моделей процесів в АРКТ.*

Дослідження об'єкту моделювання. Концептуальна постановка задачі моделювання. Математична постановка задачі моделювання. Перевірка адекватності моделі. Приклади моделей процесів в АРКТ: теплообміну, тепло-напруженого стану, газо-гідродинамічних, електричних, магнітних та інших. Постановка граничних умов, види граничних умов.

### **Модульний контроль**

**Змістовний модуль 2.** «Методи математичного моделювання процесів в АРКТ»

Тема 4. *Розрахунковий експеримент та його погрішності.*  
Процедури та елементи обчислювального експерименту. Погрішність дискретизації. Погрішність округлення. Вплив помилок округлення на результат арифметичних операцій. Зворотний аналіз погрішності чисельного рішення задачі. Число обумовленості задачі. Основні процедури машинного експерименту.

Тема 5. *Чисельні методи у моделюванні процесів в АРКТ.*

Методи побудови інтерполяційного полінома. Метод невизначених коефіцієнтів. Метод Лагранжа. Погрішність інтерполяції. Оптимальний вибір вузлів інтерполяції. Рішення систем лінійних рівнянь. Рішення звичайних диференціальних рівнянь. Метод скінчених елементів. Варіаційний підхід Рітца. Проекційний підхід Галеркіна. Приклад реалізації метода Галеркіна-Рітца для рішення задачі Діріхле.

Тема 6. *Програмне забезпечення для моделювання процесів в АРКТ.*

Реалізація метода скінчених елементів у програмному продукті SolidWorks.  
Реалізація метода скінчених елементів у програмному продукті FlexPDE.

### **Модульний контроль**

#### 4. Структура навчальної дисципліни

Назва змістовного модуля і тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
<b>Модуль 1</b>					
<b>Змістовний модуль 1. «Математичні моделі процесів в об'єктів АРКТ»</b>					
<i>Тема 1. Вступ до навчальної дисципліни «Моделювання та розрахунок процесів в АРКТ»</i>	1	1	0		0
<i>Тема 2. Визначення та призначення моделей. Класифікація моделей.</i>	31	5	6		20
<i>Тема 3. Етапи побудови математичних моделей. Приклади моделей процесів в АРКТ</i>	42	6	6		30
<b>Модульний контроль</b>	2				
Разом за змістовним модулем 1	76	12	12		50
<b>Змістовний модуль 2. «Методи математичного моделювання процесів в АРКТ»</b>					
<i>Тема 4. Розрахунковий експеримент та його погрішності.</i>	12	4	2		6
<i>Тема 5. Чисельні методи у моделюванні процесів в АРКТ.</i>	60	10	10		40
<i>Тема 6. Програмне забезпечення для моделювання процесів в АРКТ.</i>	34	6	8		20
<b>Модульний контроль</b>	2				
Разом за змістовним модулем 2	108	20	20		66
<b>Усього годин</b>	184	32	32		116

#### 5. Теми семінарських занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
	<b>Разом</b>	

## 6. Теми практичних занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Методи чисельного інтегрування та диференціювання.	3
2	Розв'язання звичайних диференціальних рівнянь	3
3	Розв'язання диференціальних рівнянь у частинних похідних.	3
4	Методи приближення функцій.	3
5	Рішення задач електростатики методом скінчених елементів	4
6	Рішення задач магнітостатики методом скінчених елементів.	4
7	Моделювання магнітної системи стаціонарного плазмового двигуна методом скінчених елементів.	4
8	Моделювання течії у соплі Лавалю методом скінчених елементів.	4
9	Рішення теплових та гідродинамічних задач методом скінчених елементів	4
	<b>Разом</b>	32

## 7. Теми лабораторних занять<sup>2)</sup>

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
3		
	<b>Разом</b>	

## 8. Самостійна робота

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1	Реалізація методу скінчених елементів у пакети SolidWorks	50
2	Реалізація методу скінчених елементів у пакети FlexPDE	66
	<b>Разом</b>	116

## 9. Індивідуальні завдання

Не передбачено

## 10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, практичних занять, індивідуальні консультації (при необхідності), самостійна робота студентів за матеріалами, опублікованими кафедрою (методичні посібники).

## 11. Методи контролю

Проведення поточного контролю у вигляді письмового складання практичних робіт, модульний контроль або фінальний контроль у вигляді іспиту.

## 12. Розподіл балів, які отримують студенти

### 12.1. Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
<b>Змістовний модуль 1</b>			
Робота на лекціях	0...1	6	0...6
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	4...6	4	16...24
Модульний контроль	8...10	1	8...10
<b>Змістовний модуль 2</b>			
Робота на лекціях	0...1	10	0...10
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	5...7	5	25...35
Модульний контроль	11...14	1	11...15
Виконання і захист РГР (РР, РК)			
<b>Усього за семестр</b>			<b>60...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 запитань (наприклад):

1. Класифікація математичних моделей в залежності від складності об'єкту моделювання (20 балів).
2. Обов'язкові перевірки адекватності моделі. (20 балів).
3. Приклади математичних моделей теплообміну. (30 балів).
4. Приклад реалізації метода Галеркіна-Рітца для рішення задачі Діріхле (30 балів).



## 12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

Призначення методів чисельного розв'язання задач; класифікацію чисельних методів; похибки, що виникають при використанні того, чи іншого методу; призначення методів оптимізації; області використання методів оптимізації

Необхідний обсяг умінь для одержання позитивної оцінки:

Грамотно провести постановку задачі; вибрати метод розв'язання задачі; підготувати вихідні дані, чи зробити їх придатними для використання обраного методу; розрахувати чи оцінити похибку обчислень; при необхідності провести уточнення результатів; написати алгоритм для вирішення заданої задачі чисельними методами.

## 12.3 Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру

**Задовільно (60-74).** Показати мінімум знань та умінь. Захистити всі індивідуальні завдання та здати тестування. Знати основні характеристики сучасних комп'ютерних технологій моделювання. Уміти формулювати вхідні дані для рішення задач в рамках сучасних комп'ютерних технологій моделювання.

**Добре (75-89).** Твердо знати мінімум, захистити всі індивідуальні завдання, виконати всі КР, здати тестування та поза аудиторну самостійну роботу. Уміти: обґрунтовувати вибір математичної для вирішення конкретних задач; формулювати вхідні дані для рішення задач в рамках сучасних комп'ютерних технологій моделювання.

**Відмінно (90-100).** Здати всі контрольні точки з оцінкою «відмінно». Досконально знати всі теми та уміти застосовувати їх.

### 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. Базыма Л.А., Маштылев Н.А. Компьютерное моделирование процессов в электрореактивных двигателях. Учебн. Пособ. по Лабор. Практикуму. – Харьков: Нац. Аэрокосмический ун-т «Харьк. Авиаци. Ин-т», 2003, с. 1-45.

2. Базыма Л.А. Компьютерное моделирование тепловых потоков и гидродинамических процессов в электрореактивных двигателях / Л.А.Базыма, В.Ф.Гайдуков // Учеб. пособие по лаб. практикуму. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. 43 с.

**Вказати електронний ресурс, на якому розміщено навчально-методичний комплекс дисципліни, який включає в себе:**

Обов'язкові складові:

- робоча програма дисципліни;
- конспект лекцій, підручники (навчальні посібники), в тому числі в електронному вигляді, які за змістом повністю відповідають робочій програмі дисципліни;
- методичні вказівки та рекомендації для виконання курсових робіт та проєктів, розрахункових та розрахунково-графічних робіт, лабораторних та практичних робіт, а також рекомендації для самостійної підготовки;
- тематики індивідуальних завдань;
- приклади розв'язування типових задач чи виконання типових завдань;
- питання, тести для контрольних заходів;
- каталоги інформаційних ресурсів;

Додаткові складові НМКД (за необхідністю):

- збірники ситуативних завдань (кейсів);
- комп'ютерні презентації;
- ілюстративні матеріали (плакати, таблиці тощо).

file:///10.0.0.250/obmen/402/Программы/2019 -2020/Базыма/

### 14. Рекомендована література

#### Базова

1. Базыма Л.А. Компьютерное моделирование тепловых процессов в газоразрядной камере стационарного плазменного двигателя: Учеб. пособие по курс. и дипл. проектированию. / Л.А.Базыма, В.Ф.Гайдуков, М.В.Пластомак. — Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2015. – 56 с.

2. Базыма Л.О. Комп'ютерне моделювання процесів теплообміну в плазмово-іонних двигунах / Л.О. Базыма // Навч. посіб. до курс. й дипл. проектування, Нац. аэрокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіаци. ін-т», 2017. – 60 с

3. Базыма Л.А. Расчет характеристик электронагревных двигателей: Учеб. пособие по курс. и дипл. проектированию. / Л.А. Базыма — Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2012. – 52 с.

4. Н.Н. Калиткин. Численные методы. М., Наука, 1978.

5. Т Щуп Решение инженерных задач на ЭВМ М., Мир, 1982.

4. Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы: учебное пособие. — М.: Наука, 1987. 600с.

5. К. Жаблон, Ж-К. Симон. Применение ЭВМ для численного моделирования в физике. — М.: Наука, 1983. 236с.

### **Допоміжна**

1. Горушкин В. И., Выполнение энергетических расчетов с помощью вычислительных машин, М., 1962.
2. Глинский Б.А., Грязнов Б.С. и др. Моделирование как метод научного исследования. — М.: Наука, 1965. 245с.
3. Математическое моделирование /Под ред. Дж.Эндрюса и Р.Мак-Лоуна. — М.: Мир, 1979. 250с.
4. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ, т.2: Получисленные алгоритмы. — М.: Мир, 1977. 370с.

### **15. Інформаційні ресурси**

1. The Flexible Solution System for Partial Difference Equations. <http://www.pdesolutions.com>