

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Національний авіаційний університет**

Аерокосмічний факультет

Кафедра авіаційних двигунів

УЗГОДЖЕНО

Проректор з наукової роботи

  
\_\_\_\_\_ Є. Романенко  
« 24 » 09 2021 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи

\_\_\_\_\_ А. Полухін  
\_\_\_\_\_ 2021 р.



УЗГОДЖЕНО

Декан аерокосмічного факультету

\_\_\_\_\_ М. Кулик  
« 24 » 09 2021 р.



Система менеджменту якості

**РОБОЧА ПРОГРАМА**

**навчальної дисципліни**

**«Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»**

Освітньо-наукова програма: «Енергетичне машинобудування»

Галузь знань: 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»


Статус дисципліни: варіативний компонент

Форма навчання	Семестр	Усього (годин/кредитів ECTS)	Лекції	Практичні/лабораторні заняття (семінари)	Самостійна робота	Форма семестрового контролю
Очна (денна/вечірня)	2	150/5	20	30	100	Залік – 4 с
Заочна	2	150/5	6	10	134	Залік – 4 с

Індекс: НДФ-1-142/21-ОК 2.1.2

НДФ-1-142/21-ОК 2.1.23

**СМЯ НАУ РПДН 07.01.03-01-2021**

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 2 із 11	

Робочу програму навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках» розроблено на основі освітньо-наукової програми «Енергетичне машинобудування», навчального №НДФ–1–142/21 та робочих № РДФ–1–142/21, № РДФ–1–142/21 з навчальних планів підготовки здобувачів ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування».

Робочу програму розробив  
 професор кафедри авіаційних двигунів \_\_\_\_\_ К. Балалаєва

Робочу програму обговорено та схвалено на засіданні випускової кафедри освітньо-наукової програми «Енергетичне машинобудування» спеціальності 142 «Енергетичне машинобудування» – кафедри авіаційних двигунів, протокол №10 від «13» вересня 2021 р.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Ю. Терещенко

Гарант освітньо-наукової програми \_\_\_\_\_ Ю. Терещенко

Робочу програму обговорено та схвалено на засіданні науково-методично-редакційної ради аерокосмічного факультету, протокол № 1 від «20» 09 2021 р.

Голова НМРР \_\_\_\_\_ К. Балалаєва


УЗГОДЖЕНО

Завідувач аспірантурою та докторантурою \_\_\_\_\_ А. Лелеченко  
 «23» 09 2021 р.

Рівень документа – 3б


Плановий термін між ревізіями – 1 рік

**Контрольний примірник**

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 3 із 11	

## ЗМІСТ

	стор.
<b>Вступ</b> .....	4
<b>1. Пояснювальна записка</b> .....	4
1.1. Мета та завдання навчальної дисципліни.....	4
1.2. Очікувані результати навчання .....	4
1.3. Передумови вивчення навчальної дисципліни.....	5
<b>2. Зміст навчальної дисципліни</b> .....	5
2.1. Програма навчальної дисципліни .....	5
2.2. Тематичний план навчальної дисципліни .....	6
2.3. Самостійна робота аспірантів.....	7
<b>3. Навчально-методичні матеріали</b> .....	7
3.1. Методи навчання .....	7
3.2. Рекомендована література (базова і допоміжна) .....	8
3.3. Інформаційні інтернет-ресурси.....	8
<b>4. Система оцінювання результатів навчання</b> .....	8
4.1. Засоби діагностики результатів навчальної діяльності .....	8
4.2. Форми контролю результатів навчання та їх оцінювання .....	8
4.3. Критерії оцінювання досягнень аспірантів.....	9

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 4 із 11	

## ВСТУП

Робоча програма (РП) навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках» розроблена на основі Методичних рекомендацій щодо розроблення робочих програм навчальних дисциплін з підготовки здобувачів ступеня доктора філософії у Національному авіаційному університеті, затверджених наказом ректора від 01.06.2021 р., №321/од.

## 1. ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

### 1.1. Мета, завдання навчальної дисципліни

**Метою** викладання дисципліни є формування системи знань і умінь фізичного та математичного моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках літальних апаратів для вирішення наукових задач у проблемі вдосконалення параметрів та характеристик теплових двигунів широкого спектру призначення.

Завданнями навчальної дисципліни є оволодіти знаннями щодо основ фізичного та математичного моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках літальних апаратів дадуть можливість аспірантам самостійно вирішувати професійні завдання.


### 1.2. Очікувані результати навчання

Навчальна дисципліна «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках» дає можливість досягти таких *програмних результатів*: оволодіння навичками творчого використання евристичних прийомів і алгоритмів, методів і засобів теоретичних і прикладних дисциплін, сучасних можливостей обчислювальної техніки і прикладного програмного забезпечення для розв'язання практичних задач вдосконалення параметрів та характеристик газотурбінних двигунів та енергетичних установок.

В процесі вивчення дисципліни аспіранти отримують наступну *компетентність*: здатність до розуміння сучасних методів та засобів фізичного та математичного моделювання процесів в газотурбінних двигунах і енергетичних установках.

### 1.3. Передумови вивчення навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках» базується загальних та фахових знаннях у сфері двигунобудування. Знання з дисципліни можуть бути використані при написанні дисертаційної роботи.

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 5 із 11	

## 2. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 2.1. Програма навчальної дисципліни

Навчальний матеріал дисципліни складається з одного навчального модуля №1 «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках», який є логічною завершеною, відносно самостійною, цілісною частиною навчальної дисципліни.

*Модуль №1 «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»*

Інтегровані вимоги:

– мати передові концептуальні та методологічні знання з двигунобудування і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань та здійснення інновацій.

#### *Тема 1. Основи фізичного моделювання.*


Вступ. Основи фізичного моделювання. Основні етапи фізичного експерименту. Планування фізичного експерименту. Основи теорії подібності. Критерії подібності. Теорема подібності. Фізичний експеримент. Теорія і техніка експериментальних досліджень. Експеримент і практиці двигунобудування. Класифікація видів експериментальних досліджень. Похибка результатів експериментальних досліджень. Стенди для фізичних досліджень в елементах газотурбінного двигуна.

#### *Тема 2. Основи математичного моделювання.*

Основні гіпотези і визначення. Рівняння Нав'є – Стокса. Огляд чисельних методів. Поняття дискретизації. Метод кінцевих різниць. Метод кінцевих об'ємів. Метод кінцевих елементів. Побудова сіток. Загальні положення. Побудова регулярних сіток. Побудова неструктурованих сіток. Вибір топології сітки для різних класів задач.

#### *Тема 3. Моделювання фізичних явищ в газотурбінних двигунах.*

Моделювання турбулентності. Загальна характеристика моделей турбулентної в'язкості. Вибір моделі турбулентної в'язкості. Граничні та вхідні умови. Моделювання нестационарної течії. Розрахунок ламінарно-турбулентного переходу. Моделювання дозвучової та трансзвучової течії.

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03-01-2021
		Стор. 6 із 11	

## 2.2. Тематичний план навчальної дисципліни

№ пор	Назва теми (тематичного розділу)	Обсяг навчальних занять (год.)								
		Очна форма навчання				Заочна форма навчання				
		Усього	Лекції	Практ./лабор. заняття (семінари)	СРС	Усього	Лекції	Практ./лабор. заняття (семінари)	СРС	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<b>Модуль №1 « Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»</b>										
1.1	Основи фізичного моделювання.	50	8	10	32	50	2	2	46	
1.2	Основи математичного моделювання	50	8	10	32	50	2	4	44	
1.3	Моделювання фізичних явищ в газотурбінних двигунах	44	4	8	32	44	2	2	40	
1.4	Модульна контрольна робота	-	-	-	-	6	-	2	4	
1.7	Підсумкова контрольна робота	6	-	2	4	-	-	-	-	
<b>Усього за модулем №1</b>		<b>150</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>134</b>	
<b>Усього за навчальною дисципліною</b>		<b>150</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>134</b>	

## 2.3. Самостійна робота аспірантів.

Самостійна робота з дисципліни складається з таких видів роботи:


1). Підготовка літературного огляду методів фізичного і математичного моделювання процесів і авіаційних газотурбінних двигунах.

2). Порівняльна оцінка топології розрахункової сітки для моделювання течії в ступені осьового компресора (вентилятора).

**Завдання №1** виконується з метою виявлення сучасних тенденцій в фізичному і математичному моделюванні процесів і авіаційних газотурбінних двигунах.

**Завдання №2** виконується з метою ознайомлення з різними типами розрахункових сіток при моделюванні течії у ступені осьового компресора (вентилятора).

Орієнтовна тематика рефератів / завдання для виконання контрольних робіт / перелік питань для підготовки до екзамену тощо розробляються провідним викладачем кафедри відповідно до робочої програми, затверджується на засіданні

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 7 із 11	

кафедри та доводяться до відома аспірантів. При здійсненні самостійної роботи аспіранти мають керуватися відповідними методичними рекомендаціями кафедри.

### 3. НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ

#### 3.1. Методи навчання

При вивченні навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках» використовуються такі методи навчання:

- пояснювально-ілюстративний метод;
- метод проблемного викладання;
- репродуктивний метод;
- дослідницький метод.

Реалізація цих методів здійснюється при проведенні лекцій, демонстрацій, самостійному розв'язанні завдань, роботі з навчальною літературою, аналізі та розв'язанні завдань з оцінкою безпеки експлуатації технологічного обладнання.


#### 3.2. Рекомендована література

##### 3.2.1. Базова література

1. А.А. Юн, Б.А. Крылов. Расчет и моделирование турбулентных течений с теплообменом, смешением, химическими реакциями и двухфазных течений в программном комплексе Fastest-3D: Учебное пособие. - М.: Изд-во МАИ, 2007. – 116 с.: ил.
2. Азбука КОМПАС3D V14. Электронный учебник, 2013. – 412с.
3. Разностные схемы на нерегулярных сетках Монография / Самарский А.А., Колдоба А.В., Повещенко Ю.А., Тишкин В.Ф., Фаворский А.П. - Минск: ЗАО "Критерий", 1996. - 276 с.
4. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике. – 2003.
5. Хрустальов О.Ф. Основи математичного моделювання: навч. Посібник. – Севастополь, 2009. – 212с.
6. Теорія теплових двигунів, п/р Терещенко Ю.М. – Київ, Вища школа, 2001,-382с.
7. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента / Зажигаев Л. С., Кишьян А. А., Романиков Ю. И. – Москва: Атомиздат, 1978. – 231с.

#### 3.3. Додаткові рекомендовані джерела

1. Чжен П. Управление отрывом потока. М. Мир. 1979, 352с.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М. Наука. 1069. 717 с
3. Забара С.С. Моделювання систем у середовищі MATLAB: Навч. посіб. / С.С. Забара, О.О. Гагарін, І.М. Кузьменко Ю.Д. Щербашин. – К.: Университет «Україна», 2011. – 317 с.

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 8 із 12	

### 3.3. Інформаційні інтернет-ресурси

1). Вісник двигунобудування. / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://vd.zntu.edu.ua/>

2). Springer / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.springer.com/gp/search?query=boundary+layer+control&submit=%D0%9E%D1%82%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D1%82%D1%8C>

## 4. СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ

### 4.1. Засоби оцінювання результатів навчальної діяльності.

Діагностика навчальних досягнень аспірантів здійснюється шляхом обов'язкового виконання аспірантами таких видів навчальної діяльності:

Діяльність №1. Підготовка літературного огляду методів фізичного і математичного моделювання процесів і авіаційних газотурбінних двигунах.

Діяльність №2. Порівняльна оцінка топології розрахункової сітки для моделювання течії в ступені осьового компресора (вентилятора).

### 4.2. Форми контролю результатів навчання та їх оцінювання


4.2.1. Оцінювання навчальної роботи аспіранта здійснюється в балах відповідно до табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Вид навчальної діяльності	Максимальна кількість балів	
	Очна форма навчання	Заочна форма навчання
<b>Модуль №1. «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»</b>		
Діяльність №1. Підготовка літературного огляду методів фізичного і математичного моделювання процесів і авіаційних газотурбінних двигунах.	30	20
Діяльність №2. Порівняльна оцінка топології розрахункової сітки для моделювання течії в ступені осьового компресора (вентилятора).	30	20
Модульна контрольна робота	–	20
Підсумкова контрольна робота	20	–
<b>Всього за модулем</b>	<b>80</b>	<b>60</b>
<b>Екзамен</b>	<b>20</b>	<b>40</b>
<b>Підсумкова рейтингова оцінка</b>	<b>100</b>	

4.2.2. Переведення підсумкової рейтингової оцінки в балах в оцінки за національною шкалою та шкалою ECTS здійснюється відповідно до табл. 4.2.



	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 9 із 11	

Таблиця 4.2

**Відповідність підсумкової семестрової рейтингової оцінки в балах  
оцінці за національною шкалою та шкалою ECTS**

Оцінка в балах	Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS	
		Оцінка	Пояснення
90-100	Відмінно	A	<b>Відмінно</b> (відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок)
82-89	Добре	B	<b>Дуже добре</b> (вище середнього рівня з кількома помилками)
75-81		C	<b>Добре</b> (в загальному вірне виконання з певною кількістю суттєвих помилок)
67-74	Задовільно	D	<b>Задовільно</b> (непогано, але зі значною кількістю недоліків)
60-66		E	<b>Достатньо</b> (виконання задовольняє мінімальним критеріям)
35-59	Незадовільно	FX	<b>Незадовільно</b> (з можливістю повторного складання)
1-34		F	<b>Незадовільно</b> (з обов'язковим повторним курсом)

4.2.3. Підсумкова рейтингова оцінка з дисципліни заноситься до заліково-екзаменаційної відомості, індивідуального навчального плану аспіранта та до академічної довідки про виконання освітньо-наукової програми.


### 4.3. Критерії оцінювання досягнень аспірантів.

4.3.1. Критерієм успішного проходження аспірантом оцінювання є досягнення ним мінімальних рівнів оцінок за кожним запланованим видом навчальної діяльності.

Виконані види навчальної роботи зараховуються аспіранту, якщо він отримав за них позитивну оцінку (за національною шкалою) відповідно до даних табл. 4.3.

4.3.2. Аспірант допускається до виконання модульної контрольної роботи за умови наявності у нього поточної модульної рейтингової оцінки величиною не менше 60% максимальної поточної модульної рейтингової оцінки.

Слід мати на увазі, що отримання аспірантом лише мінімальних оцінок за виконання окремих видів навчальної роботи з певного модуля може виявитися недостатнім для отримання допуску до виконання модульної контрольної роботи та потребуватиме виконання ним додаткового індивідуального завдання, захистити його з позитивною оцінкою в балах, яка буде додана до поточної модульної рейтингової оцінки.

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03– 01-2021
		Стор. 10 із 11	


Таблиця 4.3

**Відповідність рейтингових оцінок за окремі види навчальної роботи в балах  
оцінкам за національною шкалою**

Рейтингова оцінка в балах						Оцінка за національною шкалою
Оцінка за діяльність 1		Оцінка за діяльність 2		Модульна контрольна оцінка	Підсумкова контрольна оцінка	
Очна форма навчання	Заочна форма навчання	Очна форма навчання	Заочна форма навчання			
27-30	18-20	27-30	18-20	18-20	18-20	Відмінно
23-26	15-17	23-26	15-17	15-17	15-17	Добре
18-22	12-14	18-22	12-14	12-14	12-14	Задовільно
менше 18	менше 12	менше 18	менше 12	менше 12	менше 12	Незадовільно

4.3.3. До екзамену аспірант допускається за умови отримання позитивних (за національною шкалою) контрольних модульних рейтингових оцінок.

У разі отримання незадовільних контрольної модульної чи екзаменаційної рейтингових оцінок аспірант повинен повторно пройти відповідний контроль в установленому порядку. При повторному його проходженні максимальна величина рейтингової оцінки в балах не повинна перевищувати максимальне значення оцінки «Добре» за національною шкалою.

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Фізичне та математичне моделювання процесів в двигунах та енергетичних установках»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03-01-2021
		Стор. 11 із 11	

(Ф 03.02 – 01)

**АРКУШ ПОШИРЕННЯ ДОКУМЕНТА**

№ прим.	Куди передано (підрозділ)	Дата видачі	П.І.Б. отримувача	Підпис отримувача	Примітки

(Ф 03.02 – 02)

**АРКУШ ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ДОКУМЕНТОМ**

№ пор.	Прізвище ім'я по-батькові	Підпис ознайомленої особи	Дата ознайомлення	Примітки

(Ф 03.02 – 04)

**АРКУШ РЕЄСТРАЦІЇ РЕВІЗІЇ**

№ пор.	Прізвище ім'я по-батькові	Дата ревізії	Підпис	Висновок щодо адекватності

(Ф 03.02 – 03)

**АРКУШ ОБЛІКУ ЗМІН**

№ зміни	№ листа (сторінки)				Підпис особи, яка внесла зміну	Дата внесення зміни	Дата введення зміни
	Зміненого	Заміненого	Нового	Анульованого			

(Ф 03.02 – 32)

**УЗГОДЖЕННЯ ЗМІН**

	Підпис	Ініціали, прізвище	Посада	Дата
Розробник				
Узгоджено				
Узгоджено				