

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний авіаційний університет

Аерокосмічний факультет

Кафедра авіаційних двигунів



УЗГОДЖЕНО

Проректор з наукової роботи

С. Романенко

«22» 09 2021 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної роботи

А. Полухін

«23» 09 2021 р.

УЗГОДЖЕНО

Декан аерокосмічного факультету

М. Кулик

«22» 09 2021 р.



Система менеджменту якості

**РОБОЧА ПРОГРАМА**

**навчальної дисципліни**

**«Прикладна аеротермогазодинаміка»**

Освітньо-наукова програма: «Енергетичне машинобудування»

Галузь знань: 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»


Статус дисципліни: обов'язковий компонент

Форма навчання	Семестр	Усього (годин/ кредитів ECTS)	Лекції	Практичні/ лабораторні заняття (семінари)	Самостійна робота	Форма семестрового контролю
Очна (денна/вечірня)	2	90/3	10	20	60	Екзамен – 2 с
Заочна	2	90/3	6	4	80	Екзамен – 2 с

Індекс: НДФ-1-142/21-ОК 1.3.2

НДФ-1-142/21-ОК 1.3.2з

СМЯ НАУ РПДН 07.01.03-01-2021

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Прикладна аеротермогазодинаміка»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03– 01-2021
		Стор. 2 із 11	

Робочу програму навчальної дисципліни «Прикладна аеротермогазодинаміка» розроблено на основі освітньо-наукової програми «Енергетичне машинобудування», навчального №НДФ–1–142/21 та робочих № РДФ–1–142/21, № РДФ–1–142/21з навчальних планів підготовки здобувачів ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування».

Робочу програму розробив професор кафедри авіаційних двигунів  Ю. Терещенко

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» 09 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. Балаласва


УЗГОДЖЕНО

Завідувач аспірантурою та докторантурою  А. Лелеченко  
«21» 09 2021 р.

Рівень документа – 3б


Плановий термін між ревізіями – 1 рік

**Контрольний примірник**

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Прикладна аеротермогазодинаміка»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 3 із 12	

## 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.....	6
<b>3. Навчально-методичні матеріали</b> .....	7
3.1. Методи навчання .....	7
3.2. Рекомендована література (базова і допоміжна) .....	7
3.3. Інформаційні інтернет-ресурси.....	7
<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 «Прикладна аеротермогазодинаміка»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 4 із 12	

## ВСТУП

Робоча програма (РП) навчальної дисципліни «Прикладна аеротермогазодинаміка» 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 навчальної дисципліни є формування системи уявлень про аеротермогазодинаміка газотурбінних двигунів, управління пограничним шаром в елементах газотурбінних двигунів.

*Завданнями* вивчення навчальної дисципліни є:

- оволодіння системою уявлень щодо основних проблем вдосконалення внутрішньої аеродинаміки газо-турбінних двигунів.
- дослідження аеродинаміки компресорних решіток;
- ознайомлення з законами обтікання тіл в'язкою рідиною та газом;
- дослідження управління пограничним шаром в компресорних решітках.

### 1.2. Очікувані результати навчання

Навчальна дисципліна «Прикладна аеротермогазодинаміка» дає можливість досягти таких *програмних результатів*:

Планувати і виконувати експериментальні та / або теоретичні дослідження з двигунобудування та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми, застосовувати сучасні методи наукометрії та лідерство під час реалізації наукових проектів.


Глибоко розуміти загальні принципи та методи технічних наук, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері двигунобудування та у викладацькій практиці.

Знати основні методи керування пограничним шаром у лопаткових машинах

Використовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для дослідження аеродинамічних і теплових процесів та вирішення практичних завдань в авіаційному двигунобудуванні.

Навчальна дисципліна «Прикладна аеротермогазодинаміка» дає можливість здобути такі *компетентності*:

Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у двигунобудуванні та дотичних до нього міждисциплінарних напрямках з авіації та суміжних галузей.

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Прикладна аеротермогазодинаміка»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 5 із 12	

Здатність розробляти проекти в області авіаційних двигунів та енергетичних установок.

Здатність до розробки методів реалізації і моделюванню процесів в авіаційних двигунах та енергетичних установках.

### 1.3. Передумови вивчення навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна «Прикладна аеротермогазодинаміка» базується на знаннях таких дисциплін: «Філософія науки та інновацій», «Системно-синергетичне моделювання об'єктів досліджень та математичні методи обробки даних за спеціальністю «Енергетичне машинобудування» та слугує основою для вивчення таких дисциплін: «Аероакустика газотурбінних двигунів», «Аеротермогазодинаміка газотурбінних двигунів», «Робота газотурбінних двигунів на неусталених режимах», з циклу вибіркових дисциплін з рекомендованого каталогу та написання дисертаційного дослідження.

## 2. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 2.1. Програма навчальної дисципліни

Навчальний матеріал дисципліни складається з одного навчального модуля №1 «Прикладна аеротермогазодинаміка», яких є логічною завершеною, відносно самостійною, цілісною частиною навчальної дисципліни.

#### *Модуль №1 «Прикладна аеротермогазодинаміка»*

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. Основні проблеми вдосконалення внутрішньої аеродинаміки газотурбінних двигунів.*

Предмет та зміст навчальної дисципліни. Значення і місце дисципліни в плані підготовки фахівця. Короткий історичний нарис розвитку аеротермогазодинаміки. Роль вітчизняних та закордонних вчених у розвитку аеротермогазодинаміки газотурбінних двигунів та компресорів. Загальна картина течії в газотурбінному двигуні.

*Тема 2. Ізоентропійна (безстрибкова) течія газу.*

Кінематичні характеристики газового потоку. Рівняння нерозривності. Загальна картина течії в газотурбінному двигуні. Течія реального газу в каналах з теплообміном та тертям.

*Тема 3. Аеродинаміка компресорних решіток.*

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Прикладна аеротермогазодинаміка»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 6 із 12	


Основні параметри компресорних решіток. Характеристики дозвукових та надзвукових компресорних решіток. Вплив чисел Маха та Рейнольдса на характеристики компресорних решіток.

*Тема 4. Обтікання тіл в'язкою рідиною та газом.*

Течія реального газу на окремій поверхні та в каналі. Ламінарний та турбулентний приграничний шар. Перехід ламінарного приграничного шару в турбулентний. Коефіцієнт опору тертя плоскої пластини. Відривання приграничного шару. Критерії відривання потоку на пластини та в каналі. В'язка криза за умови зривного обтікання.

*Тема 5. Управління пограничним шаром в компресорних решітках.*

Методи та засоби газодинамічного впливу на обтікання лопаток в компресорних решітках. Зміна параметрів потоку за товщиною приграничного шару. Активне управління приграничним шаром в компресорних решітках. Пасивне управління приграничним шаром в компресорних решітках. Визначення температури поверхні тіла в газовому потоці.

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Прикладна аеротермогазодинаміка»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 7 із 12	

## 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 «Прикладна аеротермогазодинаміка»</b>										
1.1	Основні проблеми вдосконалення внутрішньої аеродинаміки газотурбінних двигунів	18	2	4	12	18	2	–	16	
1.2	Ізоентропійна (безстрибкова ) течія газу	18	2	4	12	18	–	2	16	
1.3	Аеродинаміка компресорних решіток	18	2	4	12	18	2	–	16	
1.4	Обтікання тіл в'язкою рідиною та газом	18	2	4	12	18	–	2	16	
1.5	Управління пограничним шаром в компресорних решітках	12	2	2	8	11	–	–	11	
1.6	Модульна контрольна робота	–	–	–	–	7	2	–	5	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.7	Підсумкова контрольна робота	6	–	2	4	–	–	–	–	
<b>Усього за модулем №1</b>		<b>90</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>80</b>	
<b>Усього за навчальною дисципліною</b>		<b>90</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>80</b>	

## 2.3. Самостійна робота аспірантів.

Самостійна робота з дисципліни складається з таких видів роботи:


1). Виконання розрахунку аеродинамічних характеристик компресорних решіток.

2). Виконання розрахунку параметрів та характеристик пограничного шару компресорної решітки.

**Завдання №1** виконується з метою оволодіння принципами дослідження характеристик решіток компресора.

**Завдання №2** виконується з метою ознайомлення з методиками розрахунку параметрів та характеристик пограничного шару.

Орієнтовна тематика рефератів / завдання для виконання контрольних робіт / перелік питань для підготовки до екзамену тощо розробляються провідним

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Прикладна аеротермогазодинаміка»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 8 із 12	

викладачем кафедри відповідно до робочої програми, затверджується на засіданні 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 «Прикладна аеротермогазодинаміка» 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). Расчет и оптимальное проектирование проточной части турбомашин: монография / А. В. Бойко, Ю. Н. Говорущенко, С. В. Ершов Х.НТУ «ХПИ», 2002. – 356 с.
- 2). Аэродинамические следы в компрессорах газотурбинных двигателей / Под ред. Ю. М. Терещенко. – К.: НАУ, 2012. – 232 с.
- 3). Теорія теплових двигунів. /Під ред. Ю. М. Терещенко. – К.: Вища школа, 2001. – 382 с.
- 4). Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Москва: Наука, 1974. — 712 с.
- 5). Чжен П. К.Отрывные течения: монография в 3-х томах/ перевод с англ.: Голубинского А. И.; под ред.: Майкапа Г. И. – Москва: Мир, 1972.

##### 3.2.2. Допоміжна література

- 1). Аэродинамика в вопросах и задачах /под ред. Н. Ф. Краснова. – М.: Высш. шк., 1985. – 563 с.
- 2) Терещенко Ю. М. Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов компрессоров. – М.: Машиностроение, 1988. – 168 с.
- 3) Tereshchenko, Y. M. Gas Dynamic Action of Annular Blowing on the Aerodynamic Factors of the Resonance Vibration Excitation of Rotor Blades in a Compressor Stage / Y.M. Tereshchenko, E.V. Doroshenko, Y.Y. Tereshchenko, P.V. Gumenyuk // Strength of Materials. – 2018. -№2. - pp. 317-322. DOI: [10.1007/s11223-018-9974-9](https://doi.org/10.1007/s11223-018-9974-9)



	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Прикладна аеротермогазодинаміка»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 9 із 12	

### 3.3. Інформаційні інтернет-ресурси

- 1). Journal Turbomachinery / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://asmedigitalcollection.asme.org/turbomachinery>.
- 2). DOAJ / [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doaj.org/>

## 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. Розрахунок аеродинамічних характеристик компресорних решіток.
- Діяльність №2. Розрахунок параметрів та характеристик пограничного шару компресорної решітки.


### 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. «Прикладна аеротермогазодинаміка»</b>		
Діяльність №1. Розрахунок аеродинамічних характеристик компресорних решіток.	30	20
Діяльність №2. Розрахунок параметрів та характеристик пограничного шару компресорної решітки.	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 «Прикладна аеротермогазодинаміка»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 10 із 12	

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,

	Система менеджменту якості. Робоча програма навчальної дисципліни «Прикладна аеротермогазодинаміка»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03–01-2021
		Стор. 11 із 12	

захистити його з позитивною оцінкою в балах, яка буде додана до поточної модульної рейтингової оцінки.


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 «Прикладна аеротермогазодинаміка»	Шифр документа	СМЯ НАУ РПДН 07.01.03-01-2021
		Стор. 12 із 12	

(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				
Узгоджено				