

Національна академія наук України

Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Заступник директора
з наукової роботи



Робоча програма навчальної дисципліни

АЕРОПРУЖНІ ЯВИЩА В ЛОПАТКОВИХ АПАРАТАХ ТУРБОМАШИН
(назва навчальної дисципліни)

спеціальність 142 Енергетичне машинобудування

спеціалізація Турбомашини та турбоустановки

2019/2020 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою інституту

“18” жовтня 2018 року, протокол № 10

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)
Гнесін Віталій Ісайович, доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник

Програму схвалено на засіданні відділу
Оптимізація процесів та конструкцій турбомашин

Протокол від 10 вересня 2018 року № 2

Завідувач відділу Оптимізація процесів та конструкцій турбомашин

(підпис)

Шубенко О. Л.

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено науково-технічною проблемною радою
Енергомашинобудування. Теплова та відновлювальна енергетика. Екологія

Протокол від 13 вересня 2018 року № 13

Голова НТПР

(підпис)

Русанов А.В.

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Аеропружні явища в лопаткових апаратах турбомашин»

складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти доктора філософії (назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності 142 Енергетичне машинобудування

спеціалізації Турбомашини та турбоустановки

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Засвоєння майбутніми фахівцями знань, умінь та навичок, необхідних для самостійного вирішення задач, пов'язаних з підвищенням надійності та продовження ресурсу турбомашин шляхом прогнозування нестационарних аеропружних характеристик, зменшення нестационарних навантажень і амплітуд коливань лопаткових апаратів на основі розробки нових ефективних методів вирішення зв'язаної задачі аеродинаміки і пружних коливань лопаткових апаратів в тривимірному потоці в'язкого (ідеального) газу.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Формування знань з питань цієї дисципліни, оволодіння знаннями з фізичної та математичної суті процесів, законів, якими підпорядковується рух суцільних середовищ, Здатність використовувати закони аеродинаміки, динаміки при моделюванні процесів в енергетичному обладнанні

1.3. Кількість кредитів __ 3

1.4. Загальна кількість годин __ 90

1.5. Характеристика навчальної дисципліни

Вибіркова	
Вид підсумкового контролю - залік	
Рік підготовки	1-й
Семестр	1-й
Лекції	30 год.
Практичні, семінарські заняття	
Лабораторні заняття	-----
Самостійна робота	60 год.
Індивідуальні завдання	-----

1.6. Заплановані результати навчання

Після вивчення курсу аспіранти повинні:

знати: основні проблеми газодинаміки лопаткових апаратів турбомашин, математичне моделювання аеропружних явищ, чисельні методи розрахунку газодинамічних течій в проточних частинах турбомашин.

вміти: використовувати знання при вирішенні практичних задач для оцінки газодинамічних характеристик лопаткових вінців.

розуміти: проблеми газодинаміки лопаткових апаратів турбомашин.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Сучасний стан та основні напрямки в аеропружності турбомашин.

Тема 1. Вступ. Сучасний стан проблеми аеропружності лопаткових апаратів турбомашин.

Основні напрямки в аеропружності турбомашин.

Нестаціонарна аеродинаміка.

Динамічний аналіз.

Флатер.

Розділ 2. Нестаціонарна аеродинаміка турбомашин

Тема 2. Основні закони аеродинаміки турбомашин

Диференціальні та інтегральні форми рівнянь руху ідеальної рідини (рівняння Ейлера).

Рівняння руху у формі Громекі – Лемба. Інтеграл рівнянь руху.

Теорема Томсона про зміну циркуляції.

Теорема Жуковського про підйомну силу.

Одномірні неусталені течії. Основні рівняння. Інваріанти Рімана. Розпад розриву.

Потенціальний рух ідеальної баротропної течії. Рівняння для потенціала швидкості та функції току течії баротропного середовища.

Тема 3. Динаміка в'язкої рідини. Рівняння Нав'є – Стокса.

Чисельний метод розрахунку тривимірного нестаціонарного потоку ідеального (в'язкого) газу через лопатковий вінець турбомашини. Постановка задачі.

Різницева схема Годунова – Колгана для рухомої сітки в просторовій області.

Задача про розпад розриву на рушійній грані. Підвищення точності різницевої схеми. Начальне приближення. Граничні умови.

Розділ 3. Зв'язана задача аеропружності лопаткового вінця турбомашини.

Тема 4. Постановка зв'язаної задачі нестаціонарної аеродинаміки та пружних коливань лопаток.

Динамічна модель коливаючої лопатки. Модальний підхід.

Аеропружна модель.

Розділ 4. Аналіз фізичного механізму решітчастого флатеру.

Тема 5. Тестування чисельного методу.

Крутильні коливання компресорної решітки профілей. Перша стандартна конфігурація.

Згинальні коливання лопаткового вінця турбомашини. Четверта стандартна конфігурація.

Аеропружна поведінка лопаткового вінця турбомашини на нерозрахунковому трансзвуковому режимі в потоці в'язкого газу. Одинадцята стандартна конфігурація.

Огляд експериментальних і розрахункових досліджень в області аеропружності турбомашин.

Тема 6. Аеропружні характеристики лопаткового вінця турбомашини з урахуванням взаємодії власних форм коливань.

Зв'язані аеропружні коливання. Граничні цикли коливань.

Розділ 5. Чисельний аналіз аеропружної поведінки лопаткових вінців в ступенях турбомашин та компресорів.

Тема 7. Аеропружні характеристики турбінного ступеню на номінальному та частковому режимах.

Тема 8. Аеропружна взаємодія трьох лопаткових вінців у турбінному ступені (статор + ротор + статор). Вплив співвідношення чисел лопаток.

Тема 9. Аеропружна поведінка лопаткових вінців у відсіку осевого компресора з урахуванням коливань лопаток.

Тема 10. Вплив захарашування частки дуги направляючого соплового апарату на аеродинамічні навантаження та коливання робочих лопаток осевого компресора авіаційного двигуна.

Побудова об'єктно-орієнтованих різницевих сіток.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин						
	усього	у тому числі					
		лекції	практ.	лаб.	сем.	Інд.	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	
Розділ 1. Сучасний стан та основні напрямки в аеропружності турбомашин							
<i>Тема 1.</i> Вступ. Сучасний стан проблеми аеропружності лопаткових апаратів турбомашин.	4	4	-	-	-	-	
Разом за розділом 1	4	4	-			-	
Розділ 2. Нестационарна аеродинаміка турбомашин							
<i>Тема 2.</i> Основні закони аеродинаміки турбомашин	14	4	-	-	-	-	10
<i>Тема 3.</i> Динаміка в'язкої рідини. Рівняння Нав'є – Стокса.	26	6	-	-	-	-	20
Разом за розділом 2	40	10	-			-	30
Розділ 3. Зв'язана задача аеропружності лопаткового вінця турбомашини							
<i>Тема 4.</i> Постановка зв'язаної задачі нестационарної аеродинаміки та пружних коливань лопаток.	2	2	-	-	-	-	
Разом за розділом 3	2	2					
Розділ 4. Аналіз фізичного механізму решітчастого флатера							
<i>Тема 5.</i> Тестування чисельного методу.	19	4	-	-	-	-	15
<i>Тема 6.</i> Аеропружні характеристики лопаткового вінця турбомашини з урахуванням взаємодії власних форм коливань.	2	2					
Разом за розділом 4	21	6	-	-	-	-	15
Розділ 5. Чисельний аналіз аеропружної поведінки лопаткових вінців в ступенях турбомашин та компресорів							
<i>Тема 7.</i> Аеропружні характеристики турбінного ступеню на номінальному та частковому режимах.	17	2	-	-	-	-	15
<i>Тема 8.</i> Аеропружна взаємодія трьох лопаткових вінців у турбінному ступені (статор + ротор + статор). Вплив	2	2	-	-	-	-	

співвідношення чисел лопаток.							
<i>Тема 9.</i> Аеропружна поведінка лопаткових вінців у відсіку осьового компресора з урахуванням коливань лопаток.	2	2	-	-	-	-	
<i>Тема 10.</i> Вплив захаращування частки дуги направляючого соплового апарату на аеродинамічні навантаження та коливання робочих лопаток осьового компресора авіаційного двигуна.	2	2		-	-		
Разом за розділом 5	23	8			-		15
Разом	90	30					60

4. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість Годин
1	Одномірні неусталені течії. Основні рівняння. Інваріанти Рімана. Розпад розриву. Потенціальний рух ідеальної баротропної течії. Рівняння для потенціала швидкості та функції току течії баротропного середовища.	10
2	Задача о розпаді розриву на рушійній грані. Підвищення точності різницевої схеми. Начальне приближення. Граничні умови.	20
3	Огляд експериментальних і розрахункових досліджень в області аеропружності турбомашин.	15
4	Побудова об'єктно-орієнтованих різницевих сіток.	15
	Разом	60

5. Методи контролю

На заняттях – опитування. По закінченні розділу – усний контроль. Форма підсумкового контролю знань — залік.

6. Схема нарахування балів

Поточне тестування та самостійна робота					Залік	Сума
Розділ1	Розділ2	Розділ3	Розділ4	Розділ5		
T1	T2-T3	T4	T5-T6	T7-T10		
10	15	15	20	20	20	100

T1, T2 ... – теми розділів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
50 – 100	Зараховано
0–49	Не зараховано

7. Рекомендована література

Основна література

1	Фершинг Г. Основы аэроупругости / Г. Фершинг // Москва: Машиностроение.– 1984.– 600с.
2	Самойлович Г.С. Нестационарное обтекание и аэроупругие колебания решеток турбомашин / Г.С. Самойлович // Москва: Наука, 1969.–444с.
3	Самойлович Г.С. Возбуждение колебаний лопаток турбомашин / Г.С. Самойлович // М.: Машиностроение.– 1975.– 288 с.
4	Белоцерковский С.М. Введение в аэроавтоупругость/ Ю.А. Кочетков, А.А. Красовский, В.В. Новицкий // Москва: Наука, 1980.– 384с.
5	Вольмир А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа. Задачи аэроупругости. /А.С. Вольмир // Москва: Наука, 1976.– 416с.
6	Соколовский Г.А. Нестационарные трансзвуковые и вязкие течения в турбомашинах / Г.А. Соколовский, В.И. Гнесин // Киев: Наук. Думка.– 1986.– 260 с.
7	Bolcs A. Aeroelasticity in turbomachines. Comparison of theoretical and experimental cascade results / A. Bolcs, T. Fransson // Communication de Laboratoire de Thermique Appliquée de Turbomachines.– 1986.– №13.–174 p.

Допоміжна література

8	Г.С. Самойлович. Гидрогазодинамика. – М: Машиностроение, 1990, 384с
9	Dowell E.H. A modern course in aeroelasticity / E. H. Dowell (editor), C. Howard, Jr. Curtiss, H. Robert Scanlan and Ferrando Sisto // Kluwer Academic Publishers, Netherlands.– 1989.– 555 p.
10	Годунов С.К. Численное решение многомерных задач газовой динамики/ С.К.Годунов, А.В. Забродин, М.Я. Иванов // М.: Наука, 1976.– 400с.
11	Фын Я.Ц. Введение в аэроупругость /Я.Ц. Фын // Москва: Физматгиз.– 1959.– 524с.

8. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Мережа Internet.
2. Бібліотека ІПМаш НАН України.