

Національна академія наук України
Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Заступник директора
з наукової роботи



Робоча програма навчальної дисципліни
Газова динаміка енергетичних установок
(назва навчальної дисципліни)

спеціальність 142 Енергетичне машинобудування
спеціалізація Турбомашини та турбоустановки

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



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 “Газова динаміка енергетичних установок” 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 основами динаміки рідин та газів, основних законів та рівнянь руху газу та рідини в елементах енергетичних машин.

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 газодинаміки, гідродинаміки при моделюванні процесів в енергетичному обладнанні

1.3. Кількість кредитів 3

1.4. Загальна кількість годин 90

1.5. Характеристика навчальної дисципліни

Нормативна		
Вид підсумкового контролю (екзамен)		
Рік підготовки	1-й	2-й
Семестр	2-й 2018/2019 р.р.	1-й 2019/2020 р.р.
Лекції	30 год.	30 год.
Практичні, семінарські заняття	-----	-----
Лабораторні заняття	-----	-----
Самостійна робота	15 год.	15 год.
Індивідуальні завдання	-----	-----

1.6. Заплановані результати навчання

Після вивчення курсу студенти повинні:

Знати: основні проблеми газодинаміки лопаткових апаратів турбомашин, математичне моделювання газодинамічних 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

Семестр 2 2018/2019 р.р.

Розділ 1. Механічні властивості рідини та газів

Тема 1. Предмет аеродинаміки. Короткий огляд історії розвитку аеродинаміки. Основні механічні властивості рідини та газів. Стисливість, в'язкість, щільність, тиск, температура. Гіпотеза про безперервність.

Тема 2. Сили, що діють в рідині і газі. Нормальне і дотичні напруги. Закон Ньютона для дотичних напруг.

Розділ 2. Основні закони газодинаміки

Тема 3. Диференціальні рівняння рівноваги рідини. Рівновага нестисливої рідини. Основні рівняння гідростатики. Рівняння газу.

Тема 4. Закон збереження маси. Рівняння нерозривності руху. Рівняння витрати для рідини та газу.

Тема 5. Закон збереження енергії. Рівняння енергії в диференціальній формі для струйки. Рівняння Бернуллі.

Тема 6. Швидкість розповсюдження пружних збуджень в газі (швидкість звуку). Залежність між площиною поперечного перетину струйки та швидкістю руху ідеального газу. Число Маха. Рівняння енергії для сталої течії стисливої рідини.

Тема 7. Ізоентропічна одномірна течія газу. Критична та приведена швидкість адіабатичної течії. Газодинамічні функції.

Тема 8. Рівняння енергії для нестисливої рідини та газу з втратою енергії та підводом енергії. Опір при русі рідини і газу в циліндричному трубопроводі.

Тема 9. Застосування моделей в аеродинаміці. Механічна, динамічна, теплова подібність потоків. Критерії подібності.

Розділ 3. Кінематика рідини та газу.

Тема 10. Особливості кінематики рідини та газу. Методи Лагранжа і Ейлера. Лінії струму та траєкторія частинок. Функція струму плоского та осесиметричного потоків.

Тема 11. Швидкості деформації і кутові швидкості обертання рідкої частинки.

Тема 12. Швидкість без обертання частинок. Потенціал швидкості. Рівняння для потенціалу швидкості та функції струму потоку нестисливої рідини. Потенціали швидкості та функції струму простіших потоків (поступовий, вихор, істочник-сток).

Тема 13. Вихорові лінії і трубки. Циркуляція швидкості. Теорема Стокса про циркуляцію швидкості по замкненому контуру.

Розділ 4. Динаміка ідеальної рідини та газу.

Тема 14. Диференціальна та інтегральна форми рівнянь руху ідеальної рідини (рівняння Ейлера). Рівняння руху в формі Громеки-Лемба. Інтеграли рівнянь руху.

Тема 15. Властивості вихорів у баротропному середовищі. Теорема Томпсона про зміну циркуляції. Рівняння для потенціалу швидкості та функції струму плоского і осесиметричного потоків баротропного середовища.

Семестр 1 2019/2020 р.р.

Тема 16. Теорема Жуковського про підйомну силу. Поширення обурень у газі при русі в ньому матеріальної точки. Конус обурень.

Тема 17. Надзвукова течія газу з малими збудженнями. Характеристики в надзвуковому потоці. Діаграма характеристик. Перетин та відбиття хвиль розрідження. Визначення поля швидкостей у надзвуковому потоці.

Тема 18. Утворення стрібків ущільнень. Основні рівняння стрібків ущільнень. Ударна адіабата. Зростання ентропії та втрати енергії в стрібках ущільнень. Ударна поляра. Взаємодія стрібків ущільнень з хвилями розрідження.

Тема 19. Одномірна нестала течія. Основні рівняння. Інваріанти Рімана.

Тема 20. Ударні хвилі. Розпад розриву.

Розділ 5. Динаміка в'язкої рідини та газу.

Тема 21. Ламінарна течія. Рівняння Нав'є-Стокса.

Тема 22. Основні властивості приграницього шару. Рівняння Прандтля. Умовні товщини пограничного шару. Приближний метод розрахунку пограничного шару.

Тема 23. Особливості турбулентної течії. Рівняння Рейнольдса. Закони опору. Тертя при турбулентній течії.

Тема 24. Перехід ламінарного пограничного шару в турбулентний. Розрахунок турбулентного пограничного шару. Взаємодія стрибків ущільнень з пограничним шаром.

Розділ 6. Прикладна аеродинаміка

Тема 25. Рух в'язкого газу в трубах. Похідні рівняння. Структура течії. Рух в'язкого газу у криволінійних каналах.

Тема 26. Розрахунок і профілювання звужуючих сопел. Критичне відношення тиску. Коефіцієнт витрати.

Тема 27. Розрахунок і профілювання сопел Лаваля. Сопла Лаваля у не розрахункових умовах.

Тема 28. Течія газу у дифузорах. Класифікація і аеродинамічні характеристики дифузорів. Колозвукові і надзвукові дифузори. Змінні та нестационарні режими роботи дифузорів.

Тема 29. Течія газу в лопаткових машинах. Геометричні параметри решіток. Теорема Жуковського для решіток турбомашин.

Тема 30. Трикутники швидкостей для ступеня осьової турбіни. Реактивність. ККД турбінного ступеня. Термодинаміка компресорного ступеня. Трикутники швидкостей. Втрати та ККД ступеня компресора.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	усього	Кількість годин					
		у тому числі					
		лекції	практ.	лаб.	сем.	Інд.	с.р.
1	2	3	4	5		6	7
Семестр 2 2018/2019 р.р.							
Розділ 1. Механічні властивості рідини та газів							
Тема 1. Предмет аеродинаміки. Короткий огляд історії розвитку аеродинаміки. Основні механічні властивості рідини та газів. Стисливість, в'язкість, щільність, тиск, температура. Гіпотеза про безперервність.	2	2	-	-	-	-	
Тема 2. Сили, що діють в рідині і газі. Нормальні і дотичні напруги. Закон Ньютона для дотичних напруг.	2	2	-			-	
Разом за розділом 1	4	4	-			-	
Розділ 2. Основні закони газодинаміки							
Тема 3. Диференціальні рівняння рівноваги рідини. Рівновага нестис-	2	2	-	-	-	-	

ливої рідини. Основні рівняння гідростатики. Рівняння газу.							
Тема 4. Закон збереження маси. Рівняння нерозривності руху. Рівняння витрати для рідини та газу.	2	2	-	-	-	-	
Тема 5. Закон збереження енергії. Рівняння енергії в диференціальній формі для струйки. Рівняння Бернуллі.	2	2	-	-	-	-	
Тема 6. Швидкість розповсюдження пружних збуджень в газі (швидкість звуку). Залежність між площиною поперечного перетину струйки та швидкістю руху ідеального газу. Число Macha. Рівняння енергії для сталої течії стисливої рідини.	2	2	-	-	-	-	
Тема 7. Ізоцентропічна однорідна течія газу. Критична та приведена швидкість адіабатичної течії. Газодинамічні функції.	2	2	-	-	-	-	
Тема 8. Рівняння енергії для нестисливої рідини та газу з втратою енергії та підводом енергії. Опір при русі рідини і газу в циліндричному трубопроводі.	2	2	-	-	-	-	
Тема 9. Застосування моделей в аеродинаміці. Механічна, динамічна, теплова подібність потоків. Критерій подібності.	2	2	-	-	-	-	
Разом за розділом 2	14	14	-				-
Розділ 3. Кінематика рідини та газу.							
Тема 10. Особливості кінематики рідини та газу. Методи Лагранжа і Ейлера. Лінії струму та траєкторія частинок. Функція струму плоского та осесиметричного потоків.	2	2	-	-	-	-	
Тема 11. Швидкості деформації і кутові швидкості обертання рідкої частинки.	2	2	-	-	-	-	
Тема 12. Швидкість без обертання частинок. Потенціал швидкості. Рівняння для потенціалу швидкості та функції струму потоку нестисливої рідини. Потенціали швидкості та функції струму простіших потоків (поступовий, вихор, істочник-сток).	2	2	-	-	-	-	
Тема 13. Вихорові лінії і трубки. Циркуляція швидкості. Теорема Стокса про циркуляцію швидкості по замкненому контуру.	2	2	-	-	-	-	
Разом за розділом 3	8	8					

Розділ 4. Динаміка ідеальної рідини та газу..							
Тема 14. Диференціальна та інтегральна форми рівнянь руху ідеальної рідини (рівняння Ейлера). Рівняння руху в формі Громеки-Лемба. Інтеграли рівнянь руху.	2	2	-	-	-	-	-
Тема 15. Властивості вихорів у баротропному середовищі. Теорема Томпсона про зміну циркуляції. Рівняння для потенціалу швидкості та функції струму плоского і осесиметричного потоків баротропного середовища.	2	2	-	-	-	-	-
Семестр 1 2019/2020 р.р.							
Тема 16. Теорема Жуковського про підйомну силу. Поширення обурень у газі при русі в ньому матеріальній точки. Конус обурень.	2	2	-	-	-	-	-
Тема 17. Надзвукова течія газу з малими збудженнями. Характеристики в надзвуковому потоці. Діаграма характеристик. Перетин та відбиття хвиль розрідження. Визначення поля швидкостей у надзвуковому потоці.	2	2	-	-	-	-	-
Тема 18. Утворення стрибків ущільнень. Основні рівняння стрибків ущільнень. Ударна адіабата. Зростання ентропії та втрати енергії в стрибках ущільнень. Ударна поляра. Взаємодія стрибків ущільнень з хвилями розрідження.	2	2	-	-	-	-	-
Тема 19. Одномірна нестала течія. Основні рівняння. Інваріанти Рімана.	2	2	2	-	-	-	-
Тема 20. Ударні хвилі. Розпад розриву.	2	2					
Разом за розділом 4	14	14	-	-	-	-	-
Розділ 5. Динаміка в'язкої рідини та газу.							
Тема 21. Ламінарна течія. Рівняння Нав'є-Стокса.	2	2	-	-	-	-	-
Тема 22. Основні властивості приграницого шару. Рівняння Прандтля. Умовні товщини пограничного шару. Приближний метод розрахунку пограничного шару.	2	2		-	-	-	-
Тема 23. Особливості турбулентної течії. Рівняння Рейнольдса. Закони опору. Тертя при турбулентній течії.	2	2	-	-	-	-	-
Тема 24. Перехід ламінарного пограничного шару в турбулентний.	2	2	-	-	-	-	-

<i>Розрахунок турбулентного пограничного шару. Взаємодія стрибків ущільнень з пограничним шаром.</i>							
Разом за розділом 5	8	8		-			
Розділ 6. Прикладна аеродинаміка							
<i>Тема 25. Рух в'язкого газу в трубах. Похідні рівняння. Структура течії. Рух в'язкого газу у криволінійних каналах.</i>	2	2	-	-	-	-	
<i>Тема 26. Розрахунок і профілювання звужуючих сопел. Критичне відношення тиску. Коефіцієнт витрати.</i>	2	2		-	-	-	
<i>Тема 27. Розрахунок і профілювання сопел Лаваля. Сопла Лаваля у не розрахункових умовах.</i>	2	2	-	-	-	-	
<i>Тема 28. Течія газу у дифузорах. Класифікація і аеродинамічні характеристики дифузорів. Колозвукові і надзвукові дифузори. Змінні та нестационарні режими роботи дифузорів.</i>	2	2	-	-	-	-	
<i>Тема 29. Течія газу в лопаткових машинах. Геометричні параметри решіток. Теорема Жуковського для решіток турбомашин.</i>	2	2					
<i>Тема 30. Трикутники швидкостей для ступеня осьової турбіни. Реактивність. ККД турбінного ступеня. Термодинаміка компресорного ступеня. Трикутники швидкостей. Втрати та ККД ступеня компресора.</i>	2	2					
Разом за розділом 6	12	12		-			
Разом	60	60					

**4. Завдання для самостійної роботи
Семестр 2 2018/2019 р.р.**

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість Годин
1	Газодинамічні функції одномірного адіабатичного потоку. Класифікація течії стисливої рідини.	3
2	Швидкість звуку. Різні форми рівняння енергії.	3
3	Закон збереження маси. Рівняння безперервності руху. Теорема імпульсів. Рівняння кількості руху.	3
4	Класифікація решіток турбомашин. Сили, що діють на профіль в решітці.	3
5	Потенційний потік в решітках по теорії каналів. Профілювання дозвукових та надзвукових профілів.	3
	Разом	15

Семестр 1 2019-2020 р.р.

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Диференціальне рівняння та інтегральне співвідношення приграницього шару.	3
2	Приграницький шар на криволінійній поверхні.	3
3	Розрахунок турбулентного приграницього шару для плоскої пластини	3
4	Приклади двохмірних течій, які містять стрибки	3
5	Розрахунок форми сопла Лаваля для заданого підвищення швидкості.	3
	Разом	15

5. Індивідуальні завдання

6. Методи контролю

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

7. Схема нарахування балів

Поточне тестування та самостійна робота						Екзамен	Сума
Розділ1	Розділ2	Розділ3	Розділ4	Розділ5	Розділ6		
T1-T2	T3-T9	T10-T13	T14-T20	T21-T24	T25-T30		
10	20	10	20	20	20	10	100

T1, T2 ... – теми розділів.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
90 – 100	відмінно
70–89	добре
50–69	задовільно
1–49	незадовільно

8. Рекомендована література

Основна література

1	Н.Я. Фабрикант. Аеродинамика. – Наука.- М., 1964, 814 с.
2	Л.Г. Лойцянский. Механика жидкости и газа. – М. Гостехиздат., 1957.
3	С.Л.Диксон. Механика жидкостей и газов. Термодинамика турбомашин.-М: Машиностроение, 1981.
4	Г.С. Самойлович. Гидрогазодинамика. – М: Машиностроение, 1990, 384с
5	А.В. Бойко. Гидрогазодинамика. – Харьков: НТУ «ХПІ», 2006, 412с.
6	М.Е. Дейч, А.Е. Зарянкин. Гидрогазодинамика. – М: Энергоиздат, 1984, 384с.
7	Г.С. Самойлович, В.В. Нитусов. Сборник задач по гидроаэромеханике. – М: Машиностроение, 1986, 150с.
8	А.В. Бойко. Методичні вказівки по виконанню курсової роботи по курсу

Допоміжна література

9	Д.В. Давидсон. Основы газовой динамики в задачах. – М: “Высшая школа”, 1965, 208с.
10	А.В. Бойко, А.В. Гаркуша. Аеродинамика проточной части паровых и газовых турбин. – Харьков, ХГПУ, 1999, 360с.
11	Г. Шлихтинг. Теория пограничного слоя. – Наука.- М:, 1974, 690 с.
12	Методичні вказівки по виконанню лабораторних робіт по курсу “Газодинаміка парових і газових турбін”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2006.

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

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