Національна академія наук України

Інститут енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Заступник директора
з наукової роботи

"25" 12 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНА
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МАШИН І СИСТЕМ ІМ. А.М. ПІДГОРНОГО НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
№03534570
УКРАЇНА

Робоча програма навчальної дисципліни

Газова динаміка енергетичних установок

(назва навчальної дисципліни)

Підготовки докторів філософії

зі спеціальності G4 Енерговиробництво (спеціалізація G4.02 Теплоенергетика)

2025 / 2026 навчальний рік

Робочу програму навчальної дисципліни «Газова динаміка енергетичних установок» складено відповідно до освітньо-наукової програми «Теплоенергетика» підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю G4 Енерговиробництво (спеціалізація G4.02 Теплоенергетика).

Розробники: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)
Русанов Роман Андрійович, д-р філософії, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу термогазодинаміки енергетичних машин

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою інституту 25 вересня 2025 року, протокол № 9.

Програму схвалено на розширеному засіданні відділу моделювання та ідентифікації теплових процесів в енерготехнологічному обладнанні.

Протокол № 4 від 22.09.2025 р.

В. о. завідувача відділу

_____ Орлова Н. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Протокол № 6 від 25.09.2025 р.

Заступник голови НТПР _____

_____ Костіков А. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Національна академія наук України

Інститут енергетичних машин і систем ім. А. М. Підгорного

“**ЗАТВЕРДЖУЮ**”

Заступник директора
з наукової роботи

_____

“_____”_____ р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Газова динаміка енергетичних установок

(назва навчальної дисципліни)

Підготовки докторів філософії

зі спеціальності G4 Енерговиробництво (спеціалізація G4.02 Теплоенергетика)

2025 / 2026 навчальний рік

Робочу програму навчальної дисципліни «Газова динаміка енергетичних установок» складено відповідно до освітньо-наукової програми «Теплоенергетика» підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю G4 Енерговиробництво (спеціалізація G4.02 Теплоенергетика).

Розробники: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)
Русанов Роман Андрійович, д-р філософії, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу термогазодинаміки енергетичних машин

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою інституту 25 вересня 2025 року, протокол № 9.

Програму схвалено на розширеному засіданні відділу моделювання та ідентифікації теплових процесів в енерготехнологічному обладнанні.

Протокол № 4 від 22.09.2025 р.

В. о. завідувача відділу

_____Орлова Н. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Протокол № 6 від 25.09.2025 р.

Заступник голови НТПР _____

_____ _ Костіков А. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програму навчальної дисципліни **“Газова динаміка енергетичних установок**”
складено відповідно до освітньо-наукової програми підготовки третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти доктора філософії
(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

Енерговиробництво (спеціалізація G4.02 Теплоенергетика)

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Засвоєння майбутніми фахівцями знань, умінь та навичок, необхідних для самостійного розв’язання задач, пов’язаних з основами динаміки рідин та газів, основних законів та рівнянь руху газу та рідини в елементах енергетичних машин.

Перелік компетентностей та програмних результатів навчання, що забезпечує дисципліна

Компетентності

ФК1. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукові результати, які створюють нові знання у сфері теплоенергетики та дотичних до неї міждисциплінарних напрямах.

ФК4. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у сфері теплоенергетики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

ФК6. Здатність розробляти математичні моделі, що адекватно описують теплофізичні та термодинамічні процеси в досліджуваних об’єктах.

ФК7. Здатність застосовувати сучасні методи і програмні засоби для розв’язання задач тепломасообміну і термодинаміки в об’єктах отримання, перетворення та споживання теплової енергії.

ФК8. Здатність проводити обчислювальні експерименти з обробкою розрахункових даних, аналізувати та інтерпретувати теплофізичні дані, які отримано розрахунковим та/або експериментальним шляхом

Програмні результати навчання

ПРН1. Мати передові концептуальні та методологічні знання з теплоенергетики і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з теплоенергетики, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

ПРН3. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень, спостережень, тощо і математичного та/або комп’ютерного моделювання, наявні літературні дані.

ПРН4. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп’ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у теплоенергетиці та дотичних міждисциплінарних напрямах.

ПРН5. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з теплоенергетики 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.

ПРН9. Ефективно використовувати сучасні програмні засоби для моделювання, ідентифікації і оптимізації тривимірних нелінійних теплофізичних процесів в об’єктах отримання, перетворення і споживання енергії.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Формування знань з питань цієї дисципліни, оволодіння знаннями з фізичної та математичної суті процесів, законів, яким 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

Вибіркова освітня компонента	
Вид підсумкового контролю (залік)	
Рік підготовки	2-й
Семестр	2-й
Лекції	24 год.
Практичні, семінарські заняття	6 год.
Лабораторні заняття	------
Самостійна робота	60 год.
Індивідуальні завдання	1

1.6. Заплановані результати навчання

Після вивчення курсу аспіранти 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

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. Нормальні і дотичні напруги. Закон Ньютона для дотичних напруг.

Розділ 2. Основні закони газодинаміки

Тема 3. Закон збереження маси. Рівняння нерозривності руху. Рівняння витрати для рідини та газу.

Тема 4. Закон збереження енергії. Рівняння енергії в диференціальній формі для струйки. Рівняння Бернуллі.

Тема 5. Швидкість розповсюдження пружних збуджень в газі (швидкість звуку). Число Маха. Рівняння енергії для сталої течії стисливої рідини.

Тема 6. Ізоентропічна одномірна течія газу. Критична та приведена швидкість адіабатичної течії. Газодинамічні функції.

Тема 7. Застосування моделей в аеродинаміці. Механічна, динамічна, теплова подібність потоків. Критерії подібності.

Розділ 3. Кінематика рідини та газу.

Тема 8. Особливості кінематики рідини та газу. Методи Лагранжа і Ейлера. Лінії струму та траєкторія частинок.

Тема 9. Швидкості деформації і кутові швидкості обертання рідкої частинки.

Тема 10. Вихорові лінії і трубки. Циркуляція швидкості. Теорема Стокса про циркуляцію швидкості по замкненому контуру.

Розділ 4. Динаміка ідеальної рідини та газу.

Тема 11. Диференціальна та інтегральна форми рівнянь руху ідеальної рідини (рівняння Ейлера). Рівняння руху в формі Громеки-Лемба. Інтеграли рівнянь руху.

Тема 12. Властивості вихорів у баротропному середовищі. Теорема Томпсона про зміну циркуляції.

Розділ 5. Динаміка в'язкої рідини та газу.

Тема 13. Ламінарна течія. Рівняння Нав'є-Стокса.

Тема 14. Система рівнянь Нав'є-Стокса в дивергентній формі, яка виражає закони збереження.

Тема 15. Основні властивості пограничного шару. Рівняння Прандтля. Умовні товщини пограничного шару. Приблизний метод розрахунку пограничного шару.

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
Семестр 2 2025/2026 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,	6	2	-	-	-	-	4

температура. Гіпотеза про без-перервність.							
Тема 2. Сили, що діють в рідині і газі. Нормальні і дотичні напруги. Закон Ньютона для дотичних напруг.	6	2	-			-	4
Разом за розділом 1	12	4	-			-	8
Розділ 2. Основні закони газодинаміки							
Тема 3. Закон збереження маси. Рівняння нерозривності руху. Рівняння витрати для рідини та газу.	6	2	-	-	-	-	4
Тема 4. Закон збереження енергії. Рівняння енергії в диференціальній формі для струйки. Рівняння Бернуллі.	6	2	-	-	-	-	4
Тема 5. Швидкість роз-повсюдження пружних збуджень в газі (швидкість звуку). Число Маха. Рівняння енергії для сталої течії стисливої рідини.	6		2 -	-	-	-	4
Тема 6. Ізоентропічна одно-мірна течія газу. Критична та приведена швидкість адіабатичної течії. Газодинамічні функції.	6	2		-	-	-	4
Тема 7 . Застосування моделей в аеродинаміці. Механічна, динамічна, теплова подібність потоків. Критерії подібності.	6	2	-	-	-		4
Разом за розділом 2	30	8	2			-	20
Розділ 3. Кінематика рідини та газу.							
Тема 8. Особливості кінематики рідини та газу. Методи Лагранжа і Ейлера. Лінії струму та траєкторія частинок.	6	2	-	-	-	-	4
Тема 9. Швидкості деформації і кутові швидкості обертання рідкої частинки.	6	2	-	-	-	-	4
Тема 10. Вихорові лінії і трубки. Циркуляція швидкості. Теорема Стокса про циркуляцію швидкості по замкненому контуру.	6	2		-	-	-	4
Разом за розділом 3	18	6					12
Розділ 4. Динаміка ідеальної рідини та газу..							
Тема 11. Диференціальна та інтегральна форми рівнянь руху ідеальної рідини (рівняння Ейлера). Рівняння руху в формі Громеки-Лемба. Інтеграли рівнянь руху.	6		2	-	-	-	4
Тема 12. Властивості вихорів у баротропному середовищі. Теорема Томпсона про зміну циркуляції	6	2	-	-	-	-	4

Разом за розділом 4	12	2	2	-	-		8
Розділ 5. Динаміка в'язкої рідини та газу.							
Тема 13. Ламінарна течія. Рівняння Нав'є-Стокса.	6	2	-	-	-	-	4
Тема 14. Система рівнянь Нав'є-Стокса в дивергентній формі, яка виражає закони збереження.	6	2					4
Тема 15. Основні властивості пограничного шару. Рівняння Прандтля. Умовні товщини погранич-ного шару. Розрахунок умовних товщин пограничного шару на пластині.	6		2	-	-	-	4
Разом за розділом 5	18	4	2		-		12
Разом	90	24	6				60

4. Самостійна робота

Метою самостійної роботи для аспіранта є навчитися користуватися навчально-методичними матеріалами, бібліотечними фондами, базами даних наукової літератури і інформаційними джерелами, аналізувати матеріал, порівнювати різні наукові концепції та робити висновки. Види самостійної роботи аспіранта: опрацювання лекційного матеріалу; опрацювання тем курсу, які виносяться на самостійне вивчення; виконання завдань для самостійної роботи, відвідування консультацій; підготовка до підсумкового контролю.

Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість Годин
1	Точні рішення рівнянь Нав'є-Стокса.	8
2	Рівняння руху стисливої в'язкої рідини (рівняння Нав'є-Стокса).	4
3	Диференціальне рівняння пограничного шару.	4
4	Відрив пограничного шару	4
5	Ламінарний пограничний шар для плоскої пластини.	4
6	Турбулентний приграничний шар для плоскої пластини.	4
7	Особливості турбулентної течії.	4
8	Перехід ламінарної форми течії в турбулентну.	4
9	Зв'язок між напругами в рідині та деформацією рідини	8
10	Опір тертя.	4
11	Турбулентні течії в трубах	4
12	Рівняння Ейлера для ідеальної рідини.	4
13	Умовні товщини пограничного шару.	4
	Разом	60

1. Оцінити, при яких умовах течію газу можна приблизно розглядати як течію нестисливої рідини.
2. Довести, що число Рейнольдса, як і інші критерії подібності є величина безрозмірна.
3. Вивести силу тертя для плоскої пластини з ламінарним шаром , яка омивається з одного боку ($W = \alpha\mu\, bU_\infty \sqrt{\frac{U_\infty}{\nu}} \int_0^l \frac{dx}{\sqrt{x}} =$).
4. Використовуючи газодинамічні функції визначити масову витрату, площу робочої частини надзвукового сопла і параметри течії в горловині сопла та в робочій частині сопла.

* за бажанням здобувача він може сам скласти перелік завдань для самостійної роботи, адаптувавши їх під своє наукове дослідження, за умови узгодження переліку і змісту завдань з викладачем і науковим керівником.

Індивідуальні завдання

1. Газодинамічний розрахунок каналу сопла Лаваля.
2. Ознайомлення з методикою побудови надзвукового сопла.
3. Визначення параметрів потоку в належних зонах сопла.
4. Визначення геометричних розмірів каналу сопла.

* за бажанням здобувача він може сам запропоновувати тему і зміст індивідуального завдання, виходячи із змісту навчальної дисципліни і тематики свого наукового дослідження, за умови узгодження їх з викладачем і науковим керівником .

5. Методи контролю

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

6. Схема нарахування балів

Поточне тестування та самостійна робота						Екзамен	Сума
Розділ1	Розділ2	Розділ3	Розділ4	Розділ5			
Т1-Т2	Т3-Т9	Т10-Т13	Т14-Т20	Т21-Т24			
20	20	20	20	20			100

Т1, Т2 ... – теми розділів.

Шкала оцінювання

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

7. Рекомендована література

Основна література

1	Liepman H.W., Roshko A. Elements of gasdynamics. Mineola, New York: Dover Publications, inc., 2002. 464 p.
2	Zucker R.D., Biblarz O. Fundamentals of gas dynamics, 2nd ed. Monterey, California: John Wiley@Sons, inc., 2002. 493 p.
3	Путята В.Й., Сідляр М.М. Гідроаеромеханіка: підручник. Київ: Видавництво Київського університету, 1963. 480 с.
4	Гідрогазодинаміка. Курс лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальностей 142 Енергетичне машинобудування, 143 Атомна енергетика, 144 Теплоенергетика / В. М. Турик; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 8,37 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 145 с. https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41225
5	Von Kármán Th. Aerodynamics. New-York, Toronto, London: McGraw-Hill Paperbacks, Cornell University Press; London: Oxford University Press, 1963. 204 p.

Допоміжна література

6	Milne–Thomson L. M. Theoretical hydrodynamics, 4th ed. New York: The Macmillan Company, 1962. 697 p.
7	Schlichting H. Boundary layer theory, 7th ed. New-York: McGraw—Hill Book Co., 1979. 817 p.

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

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