Національна академія наук України

ІНСТИТУТ ГАЗУ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Інституту газу
НАН України
член-кореспондент НАН України,
д.т.н., проф.
_____ Г.В. Жук
«30» вересня 2026 р.

Прикладна газова динаміка

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

підготовки доктора філософії
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності 144 “Теплоенергетика ”
(шифр і назва)

та

спеціальності G4 Енерговиробництво (за спеціалізацією)
(шифр і назва)

спеціалізація G4.02 Теплоенергетика
(шифр і назва)

Ухвалено Вченою радою Інституту газу НАН України

Протокол № 11 від 30 вересня 2026 року

Голова _____ Г.В. Жук
(підпис) (ініціали, прізвище)

30.09.2026 року

Вводиться в дію з « 01 » жовтня 2026 року.

КИЇВ – 2026

Робоча програма навчальної дисципліни «Прикладна газова динаміка» (силабус) для аспірантів за спеціальністю 144 «Теплоенергетика», галузі знань 14 «Електрична інженерія», третього освітньо-наукового рівня доктор філософії в галузі електричної інженерії, за денною/заочною формою навчання.

Робоча програма навчальної дисципліни «Прикладна газова динаміка» (силабус) для аспірантів за спеціальністю G4 Енерговиробництво (за спеціалізацією), спеціалізація G4.02 «Теплоенергетика» в галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво, третього освітньо-наукового рівня доктор філософії, за денною/заочною формою навчання.

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Завідувач відділу, д-р техн. наук П’яних Костянтин Євгенович
(посада, наукова ступінь, вчене звання, ПІБ)

Під час розробки програми використані матеріали, підготовлені головним наук. співробітником, академіком НАН України, д.т.н., проф. Карп Ігор Миколайович
(посада, наукова ступінь, вчене звання, ПІБ)

1. Опис кредитного модуля

<table>
<tr><th>Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень</th><th>Загальні показники</th><th>Характеристика кредитного модуля</th></tr>
<tr><td>Галузь знань:
14 «Електрична інженерія»
G «Інженерія, виробництво та будівництво»</td><td>Назва навчальної дисципліни, до якої належить кредитний модуль
«Прикладна газова динаміка»</td><td>Форма навчання
денна / заочна</td></tr>
<tr><td>Спеціальність:
144 «Теплоенергетика»
G4 Енерговиробництво (за спеціалізацією)</td><td>Кількість кредитів ECTS – 1</td><td>Статус кредитного модуля
Нормативна частина підготовки</td></tr>
<tr><td>Спеціалізація:
G4.02 Теплоенергетика</td><td>Кількість розділів – 2</td><td>Цикл до якого належить кредитний модуль
Професійної підготовки</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Освітньо-науковий рівень: доктор філософії</td><td></td><td>Рік підготовки: 2-й.
Семестр: 3-й.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Загальна кількість 30 год.</td><td>Лекції 5 год.</td></tr>
<tr><td>Практичні (семінарські) 5 год.</td></tr>
<tr><td>Самостійна робота 20 год.
У тому числі на виконання індивідуального завдання
10 год.</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>Вид та форма семестрового контролю:
Диференційований залік</td></tr>
</table>

Кредитний модуль «Прикладна газова динаміка» входить до нормативної частини загальної підготовки та має важливе значення у підготовці фахівця з теплоенергетики. У структурно-логічній схемі програми підготовки з даного напряму навчальна дисципліна «Прикладна газова динаміка» забезпечує інші навчальні дисципліни у програмі підготовки фахівця, які потребують знань, щодо прикладної газової динаміки.

Загальний курс кредитного модуля «Прикладна газова динаміка» становить невід'ємну складову наукової та інженерної освіти спеціаліста з теплоенергетики.

2. Мета та завдання кредитного модуля

2.1. Метою кредитного модуля є формування у аспірантів здатностей:

- логічного мислення, розвиток інтелектуальних здібностей;
- виховання у здобувачів науково-технічної культури, необхідної ерудиції та інтуїції у питаннях прикладного застосування інженерно фізичних знань;
- застосування інженерно фізичних знань у розв'язанні інженерних розрахунків;
- доводити розв'язок задачі до практично прийнятного результату – числа, графіка, якісного висновку із застосуванням довідників, таблиць, обчислювальних засобів;
- самостійно вивчати літературу з дисципліни «Прикладна газова динаміка»;
- вироблення навичок аналізувати і застосовувати одержані результати.

2.2.Основні завдання кредитного модуля.

Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни аспіранти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати такі результати навчання:

знання :

- теорії струменів;
- CFD – моделювання неізотермічних систем та струменів;
- дозвукові та надзвукові струмені;
- течія газу у соплах та дифузорах;
- гідравлічний опір та втрати тиску, ежекція та інжекція;
- рециркуляція газів у обмеженому просторі;
- газодинаміка двофазних потоків;
- процеси у «киплячому» та фонтануючому шарі;

уміння:

- розраховувати характеристики газового факелу для різних умов організації горіння та для палив різного;
- розрахо-вувати довжину факелу полум'я залежно від теплотворної спроможності газового палива;
- розраховувати струменеві апарати;
- виконувати CFD – моделювання неізотермічних струменів;
- створювати дослідні та пілотні установки;

досвід:

- навчитися працювати з інформаційними ресурсами, підручниками, довідниками та інш.;
- навчитися розв’язувати технічні задачі, одержані в результаті математичного моделювання процесів;
- використовувати методи прикладної газової динаміки при розв’язуванні наукових, технологічних, управлінських та інших задач.

Інтегральна компетентність: Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми у теплоенергетичній галузі професійної та/або дослідницько-інноваційної діяльності, застосовувати методологію наукової та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Загальні компетентності, яких набуває здобувач:

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК03. Здатність розв’язувати комплексні проблеми у сфері теплоенергетики на основі системного наукового світогляду та загального культурного світогляду із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

Спеціальні (фахові) компетентності, яких набуває здобувач:

С(Ф)К01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері теплоенергетики та дотичних до неї міждисциплінарних напрямах

С(Ф)К04. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у сфері теплоенергетики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень

С(Ф)К05. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в теплоенергетиці та дотичні до неї міждисциплінарні проєкти, проявляти лідерство під час їх реалізації.

С(Ф)К06. Здатність розуміти сучасні проблеми науково-технічного та екологічного аспектів розвитку енергетики, знати сучасні технології енерго-, еколого- та ресурсозбереження.

Програмні результати навчання (ПРН):

ПРН01. 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, отримувати нові знання та/або здійснювати інновації.

ПРН05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з теплоенергетики та дотичних міждисциплінарних напрямів із використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

ПРН06. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проєкти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв’язувати значущі наукові та технологічні проблеми теплоенергетики з дотриманням норм академічної етики і

врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.
ПРН09. Проводити критичний аналіз різних інформаційних джерел конкретних освітніх, наукових та професійних текстів в сфері обраної спеціальності; вміння виявляти теоретичні та практичні проблеми, а також дискусійні питання в конкретних освітніх, наукових та професійних текстах в сфері теплоенергетики, критично сприймати та аналізувати чужі думки та ідеї, шукати власні шляхи вирішення проблеми.
ПРН13. Уміти розраховувати характеристики газового факелу для різних умов організації горіння та для палив різного походження; розраховувати довжину факелу полум'я залежно від теплотворної спроможності газового палива; розраховувати струменеві апарати. Виконувати CFD – моделювання неізотермічних струменів; створювати дослідні та пілотні установки.

3. Структура кредитного модуля

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практ. (семін.)	Лаборант. (комп.пр.)	СРА
1	2	3	4	5	6
Розділ 1. Основні теоретичні положення прикладної газової динаміки	**18**	**3**	**3**		**12**
Тема 1.1. Рівняння енергії. Рівняння нерозривності. Рівняння Бернуллі. Рівняння кількості руху. Термодинаміка потоку. Ентропія.	6	1	1		4
Тема 1.2. Турбулентні струмені. Загальні властивості струменів. Зміна параметрів по довжині струменю. Початкова ділянка. Дозвуковий неізотермічний струмінь однорідного газу. Витікання струменю у середовище іншої густини.	6	1	1		4
Тема 1.3. Гідродинамічна подібність. Критерії подібності. Основи моделювання потоків. Основи CFD -моделювання.	6	1	1		4
Розділ 2. Практичне застосування основних положень прикладної газової динаміки	**12**	**2**	**2**		**8**

Тема 2.1. Методи та формули розрахунку газодинамічних втрат у газопроводах. Газові ежектори. Призначення та схеми ежекторів. Розрахунки сопел, інжекторів та ежекторів. Тяга у топковому просторі.	6	1	1		4
Тема 2.2.Киплячий шар. Розрахунки гідродинамічного опору камер з киплячим шаром. Згоряння палив у киплячому шарі. Багатокамерні установки киплячого шару.	6	1	1		4
Всього	**30**	**5**	**5**		**20**

4. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів[1], посилання на літературу та завдання на СРА)
1	**Тема 1.1.** Основні рівняння газодинаміки. Рівняння нерозривності. Рівняння кількості руху. Рівняння енергії. Ентропія. Рекомендована література [1, Гл. 2. §§2.1-2.3, 3.3, 3.4.,]. СРА. Практичне використання рівнянь нерозривності та енергії. Рекомендована література [5, Гл. 10].
2	**Тема 1.2.** Турбулентні струмені. Загальні властивості струменів. Зміна параметрів по довжині струменю. Початкова ділянка. Дозвуковий неізотермічний струмінь однорідного газу. Витікання струменю у середовище іншої густини. Рекомендована література [1. Гл.1,§§ 4,5.] СРА. Практичне використання рівняння Бернуллі для розрахунків витоків газу. Використання рівняння кількості руху для оцінки довжини факелу.
3	**Тема 1.3.** Гідродинамічна подібність. Критерії подібності. Основи моделювання потоків. Основи CFD -моделювання Рекомендована література [4 Гл. 1, 2], [6,7]. СРА. Критерії гідродинамічної подібності. Рекомендована література:[2]
4	**Тема 2.1.**Методи та формули розрахунку газодинамічних втрат у газопроводах. Газові ежектори. Призначення та схеми ежекторів. Розрахунки со-

[1] Дидактичними засобами навчання є: підручники та навчальні посібники, конспекти лекцій, мультимедійні презентації, комп'ютерні програми для моделювання газодинамічних процесів, CFD-пакети, експериментальні установки, вимірювальні прилади, електронні інформаційні ресурси та інструменти аналізу наукових даних.

	пел, інжекторів та ежекторів. Тяга у топковому просторі. Рекомендована література [3.,Гл. 2,3,5] СРА. Приклади розрахунків газопроводів, сопел, пальникових пристроїв Рекомендована література [3.,Гл. 2,3,5; 4., Гл.8]
5	**Тема 2.2.** Киплячий шар. Розрахунки гідродинамічного опору камер з киплячим шаром. Згоряння палив у киплячому шарі. Багатокамерні установки киплячого шару. Рекомендована література [4, Гл.9,10] СРА .Конструктивні особливості шарових топок та апаратів. Рекомендована література [4, Гл.9,10]

5. Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять: навчитися застосовувати теоретичні знання до розв'язування практичних задач, виробити навички роботи з інформаційними ресурсами і оволодіти методами прикладної газової динаміки для розв'язування задач, що виникають в результаті моделювання фізико-технічних та хіміко-технологічних процесів.

№	**Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення[2], посилання на літературу та завдання на СРА)**
1	Методи розрахунку витікання газів з дозвукових, звукових та надзвукових сопел. Особливості роботи та розрахунок інжекторних пальників. Розрахунок ежекторів. Рекомендована література:[2,3,4]
2	Розрахунок розвитку струменів. Визначення довжини факелу полум'я залежно від калорійності газу. Рекомендована література:[1,3]
3	Перший закон термодинаміки для стаціонарного потоку. Основні закономірності потоку ідеального газу у соплах і дифузорах. Сопла Лаваля Рекомендована література:[5]
4	Типи пальників. Дифузійні пальники, атмосферні пальники, пальники попереднього змішування та плоско-полум'яні. Приклади вибору та застосування. Рекомендована література:[3,4]
5	Особливості аеродинаміки шарових процесів. Розрахунок газодинаміки у газогенераторі. Аеродинаміка «киплячого» шару. Рекомендована література:[4]
6	Застосування теорії подібності для моделювання теплових процесів та агрегатів. Рекомендована література:[7]

Під час навчання застосовується пояснювально-ілюстративний, частково-пошуковий, проблемний, дослідницький методи

7	Двофазні потоки Розрахунок ділянки пневмотранспорту. Питомі витрати повітря на транспортування різних матеріалів. Рекомендована література:[2,3,4]
	Диференційований залік

7. Самостійна робота

Завдання на самостійну роботу аспіранта визначається лектором індивідуально за наслідками засвоєння тем лекцій та практичних (семінарських занять).

8. Індивідуальні завдання

Індивідуальним завданням є поглиблене ознайомлення аспіранта с питаннями, винесеними на практичні заняття, дотичними до його наукових досліджень. Спрямування практичних занять для кожного слухача можуть коригуватись у відповідності з його науковою діяльністю, зберігаючи галузь «*Прикладна газова динаміка*» .

9. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Кожен слухач повинен ознайомитися і слідувати Положенню про академічну доброчесність, Статуту і розпорядку дня Інституту.

Відвідування лекційних та практичних занять є обов'язковим за винятком поважних причин (хвороби, форс-мажорних обставин).

В разі пропущення з поважних причин лекцій слухач самостійно опрацьовує матеріал пропущеного заняття та скласти відповідні контрольні заходи в індивідуальному порядку, практичних занять - викладач надає можливість слухачу виконати усі або деякі завдання (винятком є виконання деяких завдань у зв'язку із закінченням навчального процесу).

Для успішного засвоєння програмного матеріалу слухач зобов'язаний:

– не запізнюватися на заняття;

– брати активну участь у освітньому процесі;

– конструктивно підтримувати зворотній зв'язок на всіх заняттях;

– своєчасно і старанно виконувати завдання для самостійної роботи;

– бути доброзичливим до інших слухачів та викладачів;

– за об'єктивних причин (наприклад, хвороба, міжнародне стажування) навчання може відбуватись індивідуально (в дистанційній on-line формі за погодженням з керівництвом Інституту);

– будь-яке копіювання або відтворення результатів чужої праці (у тому числі списування), якщо тільки робота не має груповий формат, використання чужих завантажених з мережі Інтернет матеріалів кваліфікується як порушення норм і правил академічної доброчесності та передбачає притягнення винного до відповідальності, у порядку, визначеному чинним законодавством та Положенням про академічну доброчесність університету. Результатом невиконання та/або недотримання правил може бути оцінка «не зараховано» за курс.

Протягом семестру слухачі:

- приймають участь у семінарах;

- повинні позитивно закрити дві атестації;

По закінченні навчального процесу складають диференційований залік.

10. Рейтингова система оцінювання

Рейтинг аспіранта з кредитного модуля складається з балів, що він отримує за:

1. Участь у бліцопитуваннях на лекціях

На лекціях проводяться бліцопитування слухачів. Такі опитування проводяться н два рази протягом семестру, наприкінці лекції. Ваговий бал за вірні відповіді протягом лекційного часу – 1 - 7. Максимальна кількість балів, що може отримати кожен слухач за семестр - 14.

2. Поточна робота на семінарських заняттях

Слухачі представляють результати своєї роботи на практичних заняттях

Оцінювання участі у семінарі робіт:

- передбачається ведення обговорення питання, що є темою семінару слухачами за участю викладача. Ставиться задача по темі і обговорюються шляхи її вирішення. якщо робота виконана не самостійно та простежується не індивідуальне виконання то знімається 50% від максимальної кількості балів;

- якщо в програмі не витримані основні правила створення програмних продуктів (модульність, дружній інтерфейс, наявність коментарів та т.п.) знімається 5%.

- Критерії нарахування балів за виконання лабораторних робіт.

Ваговий бал за роботу протягом семінарського заняття та якість підготовки до нього оцінюється в 8 балів. Максимальна кількість балів за всі завдання дорівнює 7 балів х 8 = 56 балів.

Робота на семінарі оцінюється за наступними критеріями:

1. якість підготовки матеріалів на семінар – від 1 до 5 балів;
2. логічне обґрунтоване викладення інформації по темі –2 бали;
3. правильні відповіді на питання, по темі семінару – 1 бал;

Мінімальна кількість для зарахування участі в семінарі 5 балів (60%)

5. Складання заліку

Максимальний ваговий бал $R_{\text{ісп}} = 30$

Під час заліку слухач виконує письмову контрольну роботу, яка містить два теоретичних питання і одне практичне питання. Теоретичні питання оцінюються по 12 балів, практичне - 6 балів. Критерії оцінювання:

– «відмінно», повна відповідь на теоретичне питання – 10-12 балів, практичного завдання 6 балів;

– «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) на теоретичне питання – 8-9 балів, практичне – 5;

– «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) на теоретичне питання – 7 балів, на практичне - 4 бали;

– «незадовільно», незадовільна відповідь – 0 балів.

Необхідною умовою допуску до заліку є отримання балів в ході бліц-опитувань на лекціях та участі в семінарах зі стартовим рейтингом (Rc) не менше 42 балів (60%).

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума балів контрольних заходів протягом семестру (шкала рейтингу) складає:

$$R= R_{бл.оп.}+ R_{сем} + R_{зал}= 56+14+30=100 \text{ балів.}$$

Максимальний стартовий рейтинг становить

$$Rc= R_{бл.оп.}+ R_{сем} = 56+14=70 \text{ балів.}$$

Таким чином, рейтингова шкала з кредитного модуля складає

$$R= 70+30 = 100 \text{ балів.}$$

Умови позитивної проміжної атестації

На першій атестації (4 тиждень) аспірант отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 50% можливих на даний момент балів.

На другій атестації (8 тиждень) аспірант отримує «зараховано», якщо його поточний рейтинг не менше 50% можливих на даний момент балів.

Відповідність між балами шкали ECTS та традиційними оцінками:

Рейтинг	**Оцінка ECTS**	**Традиційна оцінка**
Від 95 до 100	A – відмінно	відмінно
Від 85 до 94	B – дуже добре	добре
Від 75 до 84	C – добре	
Від 65 до 74	Д – задовільно	задовільно
Від 60 до 64	E – достатньо	
Від 42 до 59	FX – незадовільно	незадовільно
Від 0 до 39	F – незадовільно, потрібна додаткова робота	Не допущено

11. Методичні рекомендації

Послідовність вивчення тем та їх розподіл узгоджуються із викладачами суміжних дисциплін. Строгість та детальність викладання розділів та тем навчальної програми вирішується відділом.

11.1 Методика вивчення кредитного модуля

На початку викладання лекційного матеріалу з нової теми бажано дати цілісну і повну характеристику розділу і теми, навести ключові слова і основні поняття, які розглядатимуться. Далі деталізувати матеріал, навести строгі означення, сформулювати принципи та положення з даної теми і, по можливості, обґрунтувати. Запропонувати аспірантам деякі факти обґрунтувати самостійно. Проілюструвати теоретичний матеріал прикладами. Звернути особливу увагу на ключові моменти обґрунтування.

11.2. Рекомендації, щодо забезпечення наочності навчальних занять

11.2.1. Для забезпечення наочності лекцій можливо навести приклади відповідних практичних застосувань стосовно матеріалу, що вивчається. Використовувати знаково-символічні засоби – формули, графіки, рисунки, що дає змогу виокремити суть предмета вивчення, тобто сприяє розвитку мислення й уяви.

11.2.2. На початку практичних занять необхідно повторити ключові означення і поняття з теоретичного матеріалу, користуючись конспектом лекцій, підручником чи посібником. Спираючись на приклади, наведені у лекціях, індивідуально розв'язувати задачі, які пропонує викладач зі збірників або методичних рекомендацій до практичних робіт. На початку або вкінці практичного заняття можливо провести невелику самостійну роботу. Результати оголосити на наступному занятті.

11.3. Застосування нових технологій навчання

Використання комп'ютерних технологій допоможе аспіранту у перевірці правильності виконання задач, а також пошуку додаткової інформації для їх розв'язування.

Передбачається активне застосування AI під час підготовки до семінарів.

11.4. Використання методичних прийомів і засобів, рекомендацій щодо методики проведення занять

Доречно пропонувати аспірантам самостійно розглянути деякі питання теми лекції, вказати підручники та інформаційні ресурси, де можливо поглиблено ознайомитись з введеними поняттями, навести історичні факти, які призвели до появи нових понять.

Кожне практичне заняття проводиться тільки після розгляду відповідної теми на лекції. За спільного бажання аспірантів і лектора можливе проведення обговорення проблемних питань у формі наукового диспуту.

12. Рекомендована література

12.1. Базова

1. В. М. Турик. Основи газодинаміки. Навчальний посібник, Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022., 139, стор.
2. Халатов А. А., Борисенко М. М. Механіка рідини і газу : навч. посіб. – Київ : НТУУ «КПІ», 2013. – 284 с.
3. Versteeg H., Malalasekera W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method [Electronic resource]. – Pearson Education, 2007. – 503 p. Доступ: https://www.researchgate.net/profile/Ghassan-Smaisim/post/FEM_mesh_generator/attachment/59d655b479197b80779acc78/AS%3A526908706508800%401502636233004/download/110+Versteeg+2007+an+introduction+to+computational+fluid+dynamics+the+finite+volume+method+2nd+edition.pdf
4. О.Ф. Буляндра. Технічна термодинаміка. Київ. Техніка. 2006.
5. П. І. Огородніков, А. А. Гуржій, В. М. Світлицький, О. С. Тітлов. Газова динаміка : навч. посіб. ; Одес. нац. акад. харч. технологій. - Одеса, 2019.
6. John D.Anderson, Jr. Computational Fluid Dynamics/ The Basics with Applications.// McGraw-Hill, Inc. 1995, 547 p. Доступ: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://soaneemrana.com/onewebmedia/COMPUTATIONAL%20FLUID%20DYNAMICS%20BY%20JHON%20D%20ANDERSON2%20JR..pdf.
7. Буляндра О.Ф. Збірник задач з технічної термодинаміки: Навч. посіб. - К: НУХТ, 2016. - 394 с

12.2. Допоміжна

1. Бойко А. В. Гідрогазодинаміка : підручник. – Харків : НТУ «ХПІ», 2007. – 444 с. Режим доступу: https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/8acab452-2011-4ffa-a034-a1947ab8a2a0/content
2. Огородніков П. І., Гуржій А. А., Світлицький В. М., Тітлов О. С. Газова динаміка : навч. посіб. – Одеса : ОНАХТ, 2019. – 190 с. Режим доступу: https://card-file.ontu.edu.ua/bitstream/123456789/9513/1/Gas_dynamics.pdf
3. Корнієнко Я. М., Лукач Ю. Ю., Мікульонок І. О., Ракицький В. Л., Рябцев Г. Л.
   Процеси та обладнання хімічної технології. Ч. 1. Механічні процеси [Електронний ресурс]. – Київ : НТУУ «КПІ», 2011. – 300 с. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/35012/1/Mekhanichni.pdf.