

Національна академія наук України

ІНСТИТУТ ГАЗУ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Інституту газу  
НАН України  
член-кореспондент НАН України

Г.В. Жук

«12» вересня 2024 р.



Прикладна газова динаміка

РОБОЧА ПРОГРАМА  
КРЕДИТНОГО МОДУЛЯ

підготовки доктора філософії  
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності 144 "Теплоенергетика"  
(шифр і назва)

Ухвалено Вченою радою Інституту газу  
НАН України

Протокол № 7 від 12 вересня 2024 року

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

12.09.2024 року

Вводиться в дію з « 01 » жовтня 2024 року.

КИЇВ – 2024

Робоча програма кредитного модуля «Прикладна газова динаміка» 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 складена відповідно до програми навчальної дисципліни «Прикладна газова динаміка»

### РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Головний наук. спів-к, академік НАН України, д.т.н., проф. Карп Ігор Миколайович

(посада, наукова ступінь, вчене звання, ПІБ)

Завідувач відділу, д-р техн. наук П'яних Костянтин Євгенович

(посада, наукова ступінь, вчене звання, ПІБ)

## 1. Опис кредитного модуля

Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Загальні показники	Характеристика кредитного модуля
Галузь знань <u>14 «Електрична інженерія»</u> (шифр і назва)	Назва навчальної дисципліни, до якої належить кредитний модуль <u>«Прикладна газова динаміка»</u>	Форма навчання <u>денна / заочна</u>
Спеціальність <u>144 «Теплоенергетика»</u>	Кількість кредитів ECTS – <u>1</u>	Статус кредитного модуля <u>Нормативна частина підготовки</u>
Освітньо-кваліфікаційний рівень: <u>доктор філософії</u>	Кількість розділів – <u>2</u>	Цикл до якого належить кредитний модуль <u>Професійної підготовки</u>
	Індивідуальне завдання <u>Розрахункова робота</u>  (вид)	Рік підготовки: 2-й. Семестр: 3-й і 4-й.
	Загальна кількість <u>30</u> год.	Лекції <u>5</u> год. Практичні (семінарські) <u>15</u> год.
	Тижневих годин: аудиторних – <u>1,0</u> CPA – <u>0,5</u> (семестр триває <u>10</u> тижнів)	Самостійна робота <u>10</u> год. У тому числі на виконання індивідуального завдання <u>10</u> год. Вид та форма семестрового контролю: <u>Диференційований залік</u>

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 напрямку 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 прийняттого 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;
- розраховувати 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 напрямках

**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 проекти, 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 проекти, 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.** Знати теорію струменів, CFD – моделювання неізотермічних систем та струменів, дозвукових та надзвукових струменів, течію газу у соплах та дифузорах, гідравлічний опір та втрати тиску, ежекцію та інжекцію, рециркуляцію газів у обмеженому просторі. Знати теорію газодинаміки двофазних потоків та процесів у киплячому та фонтануючому шарі.

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
<b>Розділ 1. Основні теоретичні положення прикладної газової динаміки</b>	<b>18</b>	<b>3</b>	<b>9</b>		<b>6</b>
Тема 1.1. Рівняння енергії. Рівняння нерозривності. Рівняння Бернуллі. Рівняння кількості руху. Термодинаміка потоку. Ентропія.	6	1	3		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.	6	1	3		2
Тема 1.3. Гідродинамічна подібність. Критерії подібності. Основи моделювання потоків. Основи CFD -моделювання.	6	1	3		2
<b>Розділ 2. Практичне застосуван-</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>6</b>		<b>4</b>

<b>ня основних положень прикладної газової динаміки</b>					
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	3		2
Тема 2.2. Киплячий шар. Розрахунки гідродинамічного опору камер з киплячим шаром. Згоряння палив у киплячому шарі. Багатокамерні установки киплячого шару.	6	1	3		2
<b>Всього</b>	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>15</b>		<b>10</b>

#### 4. Лекційні заняття

<b>№ з/п</b>	<b>Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів<sup>1</sup>, посилання на літературу та завдання на СРА)</b>
<b>1</b>	<p><i>Тема 1.1. Рівняння енергії. Рівняння нерозривності. Рівняння Бернуллі. Рівняння кількості руху. Термодинаміка потоку. Ентропія.</i></p> <p><i>Рекомендована література [1, Гл. 1. §§1.2].</i></p> <p><i>СРА. Практичне використання рівнянь нерозривності та енергії.</i></p> <p><i>Рекомендована література [7, Гл. 10].</i></p>
<b>2</b>	<p><i>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.</i></p> <p><i>Рекомендована література [1. Гл.1, §§ 4,5.]</i></p> <p><i>СРА. Використання рівняння Бернуллі для розрахунків витоків газу. Використання рівняння кількості руху для оцінки довжини факелу.</i></p> <p><i>Рекомендована література [1. Гл.1, §§ 4,5.]</i></p>
<b>3</b>	<p><b>Тема 1.3.</b> Гідродинамічна подібність. Критерії подібності. Основи моделювання потоків. Основи CFD -моделювання.</p> <p><i>Рекомендована література [8], [6 Гл. 8 § 1-4],</i></p> <p><i>СРА. Критерії гідродинамічної подібності.</i></p> <p><i>Рекомендована література [8, 9].</i></p>

<sup>1</sup> Основними дидактичними засобами на лекції є дошка, крейда. Технічних засобів проведення лекцій не передбачено.

4	<b>Тема 2.1.</b> Методи та формули розрахунку газодинамічних втрат у газопроводах. Газові ежектори. Призначення та схеми ежекторів. Розрахунки сопел, інжекторів та ежекторів. Тяга у топковому просторі.
	<i>Рекомендована література</i> [3., Гл. 2,3,5] <i>СРА.</i> Приклади розрахунків газопроводів, сопел, пальникових пристроїв <i>Рекомендована література</i> [3., Гл. 2,3,5; 6., Гл.8 ]
5	<b>Тема 2.2.</b> Киплячий шар. Розрахунки гідродинамічного опору камер з киплячим шаром. Згоряння палив у киплячому шарі. Багатокамерні установки киплячого шару.
	<i>Рекомендована література</i> [6, Гл.9,10] <i>СРА.</i> Конструктивні особливості шарових топков та апаратів. <i>Рекомендована література</i> [6, 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 <sup>2</sup> , посилання на літературу та завдання на СРА)
1	Методи розрахунку витікання газів з дозвукових, звукових та надзвукових сопел. <i>Рекомендована література:</i> [2,3,6]
2	Особливості роботи та розрахунок інжекторних пальників. Розрахунок ежекторів. <i>Рекомендована література:</i> [2,3,6]
3	Втрати енергії при русі газового потоку по трубах. Коефіцієнти опору. Розрахунок тяги димової труби. <i>Рекомендована література:</i> [2,6]
4	Розрахунок розвитку струменів. Визначення довжини факелу полум'я залежно від калорійності газу. <i>Рекомендована література:</i> [1,3]
5	Типи пальників. Дифузійні пальники, атмосферні пальники, пальники попереднього змішування та плоско-полум'яні. Приклади вибору та застосування. <i>Рекомендована література:</i> [3,6]



6	Особливості аеродинаміки шарових процесів. Розрахунок газодинаміки у газогенераторі. Рекомендована література:[6]
7	Аеродинаміка «киплячого» шару. Рекомендована література:[6]
8	Розрахунок ділянки газопроводу. Рекомендована література:[2,3,6]
9	Застосування теорії подібності для моделювання теплових процесів та агрегатів. Рекомендована література:[9]
10	Двофазні потоки Розрахунок ділянки пневмотранспорту. Питомі витрати повітря на транспортування різних матеріалів. Рекомендована література:[2,3,6]
11	Перший закон термодинаміки для стаціонарного потоку Рекомендована література:[7]
12	Ізоентропійне витікання газу із звуженого сопла Рекомендована література:[1,7]
13	Масова витрата газу при витіканні газу із сопла. Критична швидкість Рекомендована література:[7]
14	Основні закономірності потоку ідеального газу у соплах і дифузорах. Сопла Лавалю Рекомендована література:[1,7]
15	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

Індивідуальні завдання складаються з розрахункової роботи «*Прикладна газова динаміка*».

Основна ціль розрахункової роботи: закріпити знання, одержані на лекційних і практичних заняттях, продемонструвати вміння самостійно розв'язувати поставлені задачі.

Розрахункова робота передбачає вирішення аспірантами певної практичної задачі з матеріалу усього кредитного модуля на основі засвоєння теоретичного матеріалу, включає певний ілюстраційний матеріал і сприяє поглибленому засвоєнню методів розв'язку типових фізико-технічних та хіміко-технологічних задач, що мають прикладне значення. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи [13.2 п.4] є додатком до даної робочої програми та знаходяться у керівника відділу технологій альтернативних палив..

## 11. Рейтингова система оцінювання

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

1. Поточну роботу на семінарських заняттях: **40** балів (за 4-бальною шкалою) 10 відповідей (кожного аспіранта в середньому) на 15 практичних заняттях

$$(15_{\text{занять}} \times 4_{\text{аспіранта}}) / 6_{\text{макс. кількість аспірантів на семінарі}} = 10_{\text{відповідей}}$$

2. Виконання МКР: **45** балів.

3. Виконання РГР: **15** балів

$$RD = 40 + 45 + 15 = 100 \text{ балів}$$

### 1. Робота на практичних (семінарських) заняттях

Ваговий бал – **4**. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює **4 бали** × **10** відповідей = **40** балів.

*Критерії оцінювання*

- «Відмінно», повна і вичерпна відповідь ( не менше 90% потрібної інформації) – **4** бали.
- «Добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – **3** бали.
- «Задовільно», неповна відповідь ( не менше 60% потрібної інформації)– **2** бали.
- «Незадовільно», в усіх інших випадках – **0** балів.

### 2. Модульна контрольна робота *Прикладна газова динаміка*

Контрольна робота складається з 5 задач.

Ваговий бал – **9**. Максимальна кількість балів – **45**.

1. Термодинаміка потоків– **9** балів
2. Теорія струменів– **9** балів
3. Теорія подібності–**9** балів
4. Течії газів у газопроводах– **9** балів
5. Пальникові та топкові пристрої– **9** балів

*Критерії оцінювання.*

- «Відмінно», повна і вичерпна відповідь ( не менше 90% потрібної інформації) – **9-8** балів.
- «Добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – **7-6** балів.
- «Задовільно», неповна відповідь ( не менше 60% потрібної інформації)– **5,5** балів.
- «Незадовільно», в усіх інших випадках – **0** балів.

За умови правильного виконання **менше 60%** усіх завдань за модульну контрольну роботу нараховується **0** балів.

*Штрафні бали:* знімається по **1** балу за відсутність без поважної причини на

практичних заняттях або невідповідність до них, за несвоєчасно здану домашню контрольну роботу (максимально **5** балів).

*Заохочувальні бали:* додається по **1** балу за удосконалення дидактичного матеріалу, що відповідає одній лекції (практичному заняттю) курсу або активну участь у роботі на практичному занятті (максимально **5** балів). За участь у наукових конференціях додається **1** бал, виступу із доповіддю – **3** бали, публікацію статті – **5** балів.

#### Допуск до заліку:

Аспірант допускається до заліку у випадку, якщо за семестр набрано не менше **40** балів і має хоча б одну позитивну атестацію.

Аспірант, який набрав протягом семестру **60** і більше балів має можливість:

- отримати залікову оцінку «автоматом» відповідно до набраного рейтингу;
- виконувати залікову письмову роботу з метою підвищення оцінки;
- у разі отримання оцінки, вищої ніж семестровий рейтинг, аспірант отримує оцінку за результатом письмової залікової роботи;
- у разі отримання оцінки, меншої ніж семестровий рейтинг, застосовується жорстка РСО – попередній рейтинг скасовується і аспірант отримує оцінку за результатом письмової залікової роботи.

Аспірант, який набрав протягом семестру менше **60** балів зобов'язаний виконувати залікову письмову роботу.

Оцінка письмової залікової роботи здійснюється за окремою шкалою.

#### 4. Письмова залікова робота.

Ваговий бал – **20**. Максимальна кількість балів  $20 \text{ балів} \times 5 \text{ завдань} = \mathbf{100}$  балів.

- Термодинаміка потоків – **20** балів
- Структура струменів – **20** балів
- Застосування теорії подібності – **20** балів
- Течії газів у газопроводах – **20** балів
- Пальникові та топкові пристрої – **20** балів

#### *Критерії оцінювання*

- «Відмінно», повна і вичерпна відповідь ( не менше 90% потрібної інформації) – **20-18** балів.
- «Добре», є несуттєві помилки (не менше 75% потрібної інформації) – **17-15** балів.
- «Задовільно», є певні помилки і недоліки ( не менше 60% потрібної інформації) – **14-12** бал.
- «Незадовільно», в усіх інших випадках – **0** балів.

#### **Розрахунок шкали (R) рейтингу:**

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_c = 40 + 60 = \mathbf{100 \text{ балів.}}$$

#### **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:

<b>Рейтинг</b>	<b>Оцінка ECTS</b>	<b>Традиційна оцінка</b>
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	D – задовільно	задовільно
Від 60 до 64	E – достатньо	
Від 40 до 59	FX – незадовільно	незадовільно
Від 0 до 39	F – незадовільно, потрібна додаткова робота	Не допущено

## 12. Методичні рекомендації

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

### 12.1 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.

### 12.2. Рекомендації, щодо забезпечення наочності навчальних занять

**12.2.1.** 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.

**12.2.2.** 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.

### 12.3. Застосування нових технологій навчання

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

## **12.4. 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 проблемної лекції або лекції у формі наукового диспуту.

Домашня контрольна робота та норми її оцінювання видаються аспірантам завчасно. Прийом роботи здійснюється до кінця терміну, зазначеного викладачем. Методичні вказівки до виконання домашньої контрольної роботи [13.2 п.4] додаються до робочої навчальної програми.

## **13. Рекомендована література**

### **13.1. Базова**

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М., Главная редакция ФМЛ, издательство «Наука», – 1969г.
2. Аверин С.И., Механика жидкости и газа. Учебник для вузов. М., Издательство «Металлургия», 1987г.
3. Аверин С.И. и другие. (Под редакцией Тайца Н.Ю.). Расчеты нагревательных печей. Киев., Издательство «Техника», – 1969 г.
4. Семикин И.Д., Аверин С.И., Радченко И.И. Топливо и топливное хозяйство металлургических заводов. М., Издательство «Металлургия», – 1965 г.
5. Под редакцией Померанцева В.В., Арефьев К.М., Ахмедов Д.Б. Основы практической теории горения. Учебник для студентов высших учебных заведений. Л. Издательство «Энергия», – 1973г.
6. Б.И. Китаев, Б.Ф. Зобнин, В.Ф. Ратников и др. Теплотехнические расчеты металлургических печей. М., Metallurgiya. 1970.
7. О.Ф. Буляндра. Технічна термодинаміка. (Розділ 10). Київ. Техніка. 2006.
8. П. І. Огородніков, А. А. Гуржій, В. М. Світлицький, О. С. Тітлов. Газова динаміка : навч. посіб. ; Одес. нац. акад. харч. технологій. - Одеса, 2019.
9. В.П. Михеев. Основы теплопередачи. Машгиз. 1969.
10. Бекнев В.С. Сборник задач и упражнений по газовой динамике. М., Машиностроение. 1992.
11. Буляндра О.Ф. Збірник задач з технічної термодинаміки: Навч. посіб. — К: НУХТ, 2016. — 394 с

### **13.2. Допоміжна**

1. Бекнев В.С. Сборник задач и упражнений по газовой динамике. М., Машиностроение. 1992.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии М.: Химия, – 1973

3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Носков А.А. Учеб. пособ.-Л.: Химия, –1987
4. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи.