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.

Хімічна термодинаміка. Прикладна теорія горіння та газифікації

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 «Хімічна термодинаміка. Прикладна теорія горіння та газифікації» (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 «Хімічна термодинаміка. Прикладна теорія горіння та газифікації» (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, проф. Сорока Борис Семенович
(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
«Хімічна термодинаміка. Прикладна теорія горіння та газифікації»</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 – 1</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 «Хімічна термодинаміка. Прикладна теорія горіння та газифікації» 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 «Хімічна термодинаміка. Прикладна теорія горіння та газифікації» забезпечує інші навчальні дисципліни у програмі підготовки фахівця, які потребують знань, щодо хімічної термодинаміки, прикладної теорії горіння та газифікації.

Загальний курс кредитного модуля «Хімічна термодинаміка. Прикладна теорія горіння та газифікації» 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 науково-технічних знань;
- застосування методологічних 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 «Хімічна термодинаміка. Прикладна теорія горіння та газифікації»;
- вироблення навичок аналізувати, узагальнювати 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:

КОМПЕТЕНТНІСТЬ:

−у поняттях та умовах хімічної рівноваги;
−в основних задачах хімічної термодинаміки;
−в ентальпійному та ексергетичному аналізі процесів використання палива;
−у фізико-хімічних засадах перебігу процесів горіння як самоприскорених автотермічних реакцій;
−у технічних засобах реалізації процесу спалювання та створення енергоефективних та екологічно чистих пальникових систем;

у визначенні основних шкідливих речовин, що супроводжують процес горіння, а також у методах скорочення шкідливих викидів.

ЗНАННЯ:

−основних параметрів та функцій стану, в тому числі за умов хімічних реакцій, стандартних/ термодинамічних умов стану;
− теплот утворення хімічних сполук з базових елементів за різних початкових умов;
−базових засад хімічної кінетики;

−поняття повної та часткової хімічної рівноваги, констант хімічної рівноваги;
− швидкостей хімічних реакцій та впливу на них параметрів стану (температури, тиску);
−1-го та 2-го початку термодинаміки, теореми Карно;
−сучасних програм комп'ютерного розрахунку температур реакцій, складу продуктів реакцій та їх термодинамічних властивостей;
− мінеральних та нетрадиційних (альтернативних) палив;
−основних механізмів горіння: ланцюгового та теплового;
−поняття нормального розповсюдження полум'я, ламінарного та турбулентного горіння;
−поняття стабільності горіння та технічних методів його забезпечення;
−основних процесів горіння газоподібних та твердих палив, у т.ч. альтернативних;
− газогенераторних процесів та конструкції газогенераторів.

УМІННЯ: виконувати розрахунки матеріальних, енергетичних (ентальпійних) балансів та ККД (використання палива те теплоти) процесів спалювання широкого спектру палив;
– розраховувати теоретичні температури горіння, теплові ефекти (теплоти згорання);
– використовувати сучасні програмні продукти для розрахунку складу продуктів реакції різних паливо- окислювальних сумішей з можливістю визначення газових та дисперсних компонент (сажа, вода) в продуктах згоряння;
– розраховувати процеси конверсії та газифікації, визначати питомі енергетичних витрати палива;
– визначати екологічні показники (шкідливі речовини та парникові гази) та можливі наслідки впливу на стан довкілля та глобальний клімат планети.

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.
ПРН12. Виконувати розрахунки процесів горіння широкого спектру палив. Уміти використовувати сучасні програмні продукти для розрахунку складу продуктів реакції багато компонентних систем – продуктів горіння, конверсії та газифікації, оцінювати їх екологічні показники та можливі наслідки впливу на стан довкілля.

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
Хімічна термодинаміка. Прикладна теорія горіння та газифікації					
Тема 1.1. Термодинаміка рівноважних хімічних процесів	10	2	2	-	6
Тема 1.2. Термодинамічний розрахунок процесу горіння. Створення системи рівнянь для загального випадку.	10	2	2		6
Тема 1.3. Хімічна кінетика горіння.	10	1	1		8
ВСЬОГО:	**30**	**5**	**5**	**-**	**20**

4.Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (посилання на літературу)
1.	**Лекція 1**. **Термодинаміка рівноважних хімічних процесів**. **Питання:** 1. Сучасні палива для енергетики, промисловості та транспорту. Паливно-енергетичний комплекс: тенденції розвитку та вплив на навколишнє середовище. 2. Процеси перетворення палива, нормального та швидкого реагування при цьому. 3. Фундаментальні характеристики горіння. Основні поняття прикладної теорії горіння. 4. Основні поняття та закони кінетики хімічних реакцій. Зв'язок з кінетичною теорією газів. 5. Основі параметри, функції стану, та закони термодинаміки стосовно хімічно реагуючих систем. 6. Термодинамічна рівновага при хімічних реакціях: основні закони та рівняння. 7. Складання системи рівнянь термодинамічної рівноваги; розрахунок складу та властивостей рівноважних продуктів згоряння. 8. Класичні та сучасні теорії ламінарного та турбулентного розповсюдження полум'я. 9. Теорії ланцюгових реакцій та теплового вибуху.
2.	**Лекція 2.** Термодинамічний розрахунок процесу горіння. Створення системи рівнянь для загального випадку.

	Питання: 1. Структура факела при турбулентному згорянні та її зв’язок з існуючими механізмами горіння природного газу. 2. Утворення оксидів азоту в процесах згоряння. Математичне моделювання низькоемісійного спалювання. 3. Паливо: органічне (мінеральне), штучне, синтетичне. Палива. Окислювачі. Сценарії розвитку світової економіки і паливно-енергетичного комплексу. 4. Забруднення навколишнього середовища в зв'язку з використанням палива. Вплив на глобальну зміну клімату. Парниковий ефект. Стаціонарні паливо-використовуючі агрегати: котли; промислові печі. Основні елементи паливовикористовуючих агрегатів: пальника, теплоприймача, утилізатори теплоти (рекуператори, регенератори). 5. Горіння. Детонація. Вибух. Основні визначення і відмінні риси. Загальні рівняння Ренкіна-Гюгоніо для хвиль горіння і детонації. 6. Основні поняття прикладної теорії горіння: горіння і полум'я, хімічні і фізичні аспекти горіння, поширення полум'я, межі запалення, кінетичні і дифузійні пламена, стаціонарні і нестаціонарні пламена, самозапалювання, затримка самозапалювання, запалювання паливних сумішей, іскрове запалювання, запалювання накаленою поверхнею, факельне запалювання, стабілізація горіння в потоці, гідродинаміка газової суміші і горіння, горіння і сила ваги. 7. Бунзеновський пальник як пристрій для визначення фундаментальних характеристик горіння. Нормальна швидкість горіння. Конус полум'я і структура факела. Стійкість горіння: відрив і проскакування полум'я, вплив складу паливної суміші, характерного розміру пальника, швидкості потоку. Межі горіння. 8. Типи хімічних реакцій у світлі робіт Вант-Гоффа й Арреніуса. Основні характеристики кінетичних рівнянь: порядок реакції; час напівперетворення. Кінетичні закони в диференціальній і інтегральній формі для реакцій різного порядку. Швидкість реакції; константа швидкості. 9. Теорія зіткнень у світлі кінетичної теорії газів і статистичних законів розподілу. Рівняння Арреніуса. Швидкість реакції. Множник Больцмана. Закон діючих мас. Розподіл Максвела та облік ефективності зіткнень. Енергія активації хімічних реакцій. 10. Закони термодинаміки: 0-ий, 1-ий, 2-ий. Відкрита і закрита термодинамічні системи. зворотні і незворотні (реальні) процеси. Інтенсивні й екстенсивні параметри. 11. Параметри стану (незалежні термодинамічні перемінні). Основні термодинамічні функції. Основні характеристики хімічно реагуючої системи. Робота і теплота процесу при взаємодії термодинамічної системи з зовнішнім середовищем: складові роботи. Максимальна робота при різних процесах: оборотному ізоентропічному, та ізотермічному (ізохорно-ізотермічному, ізобарно-ізотермічному).

	12.Основні рівняння хімічної термодинаміки. Хімічний потенціал системи.
3.	**Лекція 3.** Хімічна кінетика горіння.. **Питання:** 1. Проведення теплового розрахунку котлів, мета, основні залежності методики Загальні умови хімічної рівноваги. Ступінь просування реакції. Ступінь реагування (глибина протікання реакції). Константи рівноваги і зв'язок з хімічним потенціалом. Хімічна спорідненість реакції. 2. Розрахунок термодинамічної рівноваги при хімічних реакціях. Вплив теплового ефекту реакції. Рівняння максимальної роботи Гібса-Гельмгольца. Закон Вант-Гоффа. Рівняння ізобари та ізохори реакції. 3. Складання системи рівнянь термодинамічної рівноваги для розрахунку процесу горіння. Розрахунок складу гомогенної суміші продуктів згоряння. Розрахунок складу гетерогенних продуктів реакції. Теоретична (адіабатна) температура горіння. Склад і термодинамічні властивості продуктів горіння. Ентальпія. Повна ентальпія. Сполуки «рівноважних» і «заморожених» продуктів реакції. Тепловий ефект реакції. Ентропія суміші. Теплоємності. 4. Теорія ламінарного полум'я і рівняння теплопереносу при поширенні полум'я. Зони полум'я. Швидкість полум'я для моно- і бімолекулярних реакцій. Теорія і моделі турбулентного горіння: традиційні (механістичні) підходи. Швидкість турбулентного поширення полум'я. Вплив масштабу турбулентності: крупно- і дрібномасштабна турбулентність. Поверхнева, об'ємна і мікрооб'ємна моделі. 5. Нові теорії турбулентного горіння. Розвиток моделі Магнуссена: швидкість горіння визначається лімітуючим компонентом і k-ε моделлю турбулентності при каскадній схемі передачі турбулентності. Модель Зімонта-Ліпатнікова. 6. Ланцюгові реакції і ланцюгове запалення. Нерозгалужені і розгалужені ланцюгові реакції. Теплове запалення – тепловий вибух. Критичні параметри запалення: температура, тиск, діаметр. 7. Існуючі механізми горіння природного газу (метану). -1, -2, -3, -4 – і багатостадійні. Математичні моделі і «глобальні» кінетичні рівняння 2-стадійного горіння потоку підготовленої суміші в обмежених каналах. “Reduced” (скорочений) механізм горіння розроблений Інститутом газу НАНУ. Основні закономірності турбулентного горіння і структура факела підготовленої суміші в каналі. Основні закономірності турбулентного горіння неперемішаних потоків палива та окислювача і структура дифузійного турбулентного факела в каналі.

5. Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять: навчитися застосовувати отримані знання при розв'язуванні практичних задач щодо проведення розрахунків щодо прикладної теорії горіння та газифікації.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення[1], посилання на літературу та завдання на СРА)
1.	Математичне моделювання низькоемісійного спалювання природного газу. Врахування процесів переносу і хімічної кінетики. Розрахунковий аналіз процесу спалювання природного газу з метою мінімізації токсичних викидів. Аналіз впливу визначальних режимних і геометричних факторів на вихід NOx.
2.	Хімічна кінетика згоряння: основні поняття, розрахункові залежності та зв'язок з термодинамікою. Запалення реакційної суміші та розповсюдження полум'я.
3.	Методи стабілізації полум'я при горінні в потоці: прямому, вихровому (скрученому). Вплив складу та параметрів паливо-окислювальної суміші, температури в камері спалювання. Руху середовища навколо факелу.
4.	Розрахунок складу рівноважних продуктів згоряння з урахуванням утворення твердої фази (сажі) на прикладі вуглеводневого палива.
5.	Високотемпературний теплообмін в топкових системах. Методи інтенсифікації. Вплив на характеристики випромінювання складу паливної суміші, конструктивно-геометричних та температурних умов топкової системи: пальник – камера спалювання.
6.	Екологічні аспекти спалювання. Шкідливі викиди при згорянні та основні методи їх зменшення в енергетиці та промисловості. Утворення оксидів азоту: термодинаміка та кінетика процесу.
	Залік

[1] Проведення практичних занять не передбачає застосування технічних дидактичних засобів. Основними дидактичними засобами на практичних заняттях є конспект лекцій, підручник, збірник задач.

6. Рекомендований перелік лабораторних робіт (комп'ютерних практикумів)

Не передбачено.

7. Самостійна робота

Самостійна робота повинна бути спрямована на огляд наукової літератури щодо нових досліджень і прикладній теорії горіння та газифікації.

Обов'язковим питанням до кожного аспіранта під час заліків буде перелік десяти наукових статей за останні 3 роки які б він рекомендував до ознайомлення.

8. Індивідуальні завдання

Індивідуальне завдання (як правило, одне) визначається під час роботи на практичних (семінарських) заняттях і складається з розрахункової задачі по одній з тем, що розглядаються на практичних заняттях.

Індивідуальні завдання складаються з проведення розрахунків щодо прикладної теорії горіння та газифікації.

9. Засоби діагностики успішності навчання

Диференційований залік з навчальної дисципліни проводиться на останньому практичному занятті курсу у вигляді іспиту-співбесіди.

До диференційованого заліку допускається здобувач, якій виконав необхідні умови допуску (див.розділ 10).

10. Рейтингова система оцінювання

Рейтинг аспіранта з кредитного модуля складається з балів, що він отримує за поточну роботу на практичних семінарських заняттях та за виконання індивідуального завдання (з врахуванням штрафних та заохочувальних балів), всього максимально 100 балів:

Робота на практичних (семінарських) заняттях:

Ваговий бал – 10. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює 10 балів х 5 відповідей – 50 балів.

Критерії оцінювання

- «Відмінно», повна і вичерпна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 10 балів.
- «Добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – 8 балів.
- «Задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) – 6 балів.
- «Незадовільно», в усіх інших випадках – 0 балів.

Виконання індивідуального завдання:

Максимальна кількість балів складає – 50 балів.

Штрафні бали: знімається по 1 балу за відсутність без поважної причини на практичних заняттях або непідготовленість до них (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 (якщо загальна кількість балів рейтингу аспіранта з кредитного модуля вже досягла 100 балів, то заохочувальні бали не нараховуються).

Допуск до диференційованого заліку:

Аспірант допускається до диференційованого заліку у випадку, якщо за курс дисципліни на практичних семінарських заняттях набрано не менше 60 балів (з врахуванням штрафних та заохочувальних балів).

Максимальна кількість балів за складання диференційованого заліку складає – 100 балів.

Фінальний рейтинг (оцінка) за дисципліну складається з суми балів набраних за поточну роботу на практичних семінарських заняттях та за виконання індивідуального завдання (з врахуванням штрафних та заохочувальних балів) помножених на ваговий коефіцієнт 0,5 та оцінки за диференційований залік (за 100 бальною шкалою) помноженим на ваговий коефіцієнт 0,5 (всього максимально 100 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 40 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, обгрунтувати. Запропонувати аспірантам деякі факти обгрунтувати самостійно. Проілюструвати теоретичний матеріал прикладами. Звернути особливу увагу на ключові моменти обгрунтування.

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.

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 проблемної лекції або лекції у формі наукового диспута.

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 додаються до робочої навчальної програми.

12. Рекомендована література

1. Колієнко А.Г. Паливо та ефективність його використання : наук.-виробн. вид. / А.Г. Колієнко, О.В. Крошка. – Полтава : АСМІ, 2025. – 476 с. ISBN 978-966-182-739-3.
2. Хімія. Хімічна кінетика та рівновага: Навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей / Укладачі: А.В. Підгорний, Т.М.Назарова. – К.: НТУУ «КПІ ім.ІгоряСікорського», 2017. – 68 с. [Електронний ресурс] : https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/20913/1/Kinet_2017.pdf
3. Пономаренко, С. М. Основи фізики горіння [Електронний ресурс] : навчальний посібник / С. М. Пономаренко ; НТУУ «КПІ» ; відп. ред. Т. В. Литвинова. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,58 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 85 с. – Бібліогр.: с. 84–85 [Електронний ресурс] : https://ela.kpi.ua/bitstreams/35190946-3625-4796-9cce-b55d207e6da3/download

4. І. М. Карп, Є. Є. Нікітін, К.Є. П’яних, К. К. П’яних, Заміщення природного газу альтернативними паливами. НАН України. Ін-т газу. – Київ: Наук. думка, 2019. – 231 с.
5. Warnatz J., Maas U., Dibble R.W. Combustion: Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulation, Experiments, Pollutant Formation, Berlin: Springer Science & Business Media, 2006.
6. Goodwin D.G., Speth R.L., Moffat H.K. and Weber B.W. Cantera: An object-oriented software toolkit for chemical kinetics. Thermodynamics, and transport processes. https://www.cantera.org. 2021. Version 2.5.1. doi:10.5281/zenodo.4527812.
7. Soroka, B., & Zgurskyi, V. (2024). DEVELOPMENT OF THE THEORY OF GAS FUEL COMBUSTION TAKING INTO ACCOUNT MODERN KINETIC MECHANISMS OF COMBUSTION. Energy Technologies & Resource Saving, 80(3), 5-https://doi.org/10.33070/etars.3.2024.01
8. Global Energy Perspectives (1998).Ed.N. Nikicenovic, A.Grubler, A.McDonald. Proceedings, IIASA –WEC. Cambridge University Press: 1-299.