Національна академія наук України

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

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Заступник директора

_____

“28” _____ 2025 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Воднева енергетика

(назва навчальної дисципліни)

Підготовки докторів філософії

зі спеціальності G4 Енерговиробництво (спеціалізація G4.02 Теплоенергетика)

2025 / 2026 навчальний рік

Робочу програму навчальної дисципліни «Воднева енергетика» 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)
Зіпунніков Микола Миколайович, к.т.н., старший дослідник, с.н.с.

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

Програму схвалено на 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)

1. Опис навчальної дисципліни

Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є вивчення термодинамічних та теплофізичних основ отримання водню та його ефективного використання в енергетичних та технологічних установках, формування практичних умінь і навичок щодо застосування науково-технічних знань на практиці при вивченні фізико-енергетичних технологій отримання та трансформації енергії.

Перелік компетентностей та програмних результатів навчання, що забезпечує дисципліна

Загальні компетентності

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК3. Здатність розв'язувати комплексні проблеми у сфері теплоенергетики на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

Фахові компетентності

ФК3. Здатність здійснювати науково-педагогічну діяльність у вищій освіті з теплоенергетики.

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

ФК5. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в теплоенергетиці та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації.

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

Програмні результати навчання

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.

ПРН6. 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.

ПРН8. Створювати методичне забезпечення, організовувати та проводити викладання професійно-орієнтованих дисциплін теплоенергетики на рівні, що відповідає вимогам вищої школи.

Характеристика навчальної дисципліни

Вибіркова освітня компонента	
Кількість кредитів	3
Рік підготовки	2-й
Семестр	4-й
Загальна кількість годин	90
Лекції	22 год.
Практичні, семінарські заняття	8 год.
Індивідуальні заняття	_год.
Самостійна робота	60 год.
Вид підсумкового контролю	залік

2. Зв'язок з іншими освітніми компонентами

Освітні компоненти, що передують вивченню:
ОК6 Тепломасообмін в енергетичному обладнанні.
ОК7 Сучасні засоби комп'ютерного моделювання в енергетиці.
Освітні компоненти, які розвивають результати навчання за цією дисципліною: немає

3. Заплановані результати навчання

Після вивчення курсу аспіранти повинні:

Знати: основні способи генерації і застосування водню в енергетичній та хімічній промисловості, а також основні моменти щодо ефективного зберігання водню в хімічних сполуках та під високим тиском.

Вміти: розрізняти основні способи отримання водню щодо його подальшого ефективного застосування в промисловості.

Розуміти: основні принципи і закони термодинаміки при аналізі процесів зберігання водню в енергетичних установках та хімічних сполуках.

4. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Технології та одержання водню, енергетичні та технологічні проблеми.

Тема 1. Природні ресурси водню.

Водневі ресурси. Водневовмісні сполуки природного та штучного походження.

Тема 2. Фізико-хімічні та термодинамічні характеристики водню. Отримання водню.

Загальні відомості щодо фізико-хімічних властивостей ізотопів водню. Теплотехнічні та термодинамічні характеристики водню. Засоби отримання водню.

Розділ 2. Зберігання, транспортування і ефективне використання водню в енергетичних та технологічних установках.

Тема 3. Зберігання та транспортування водню.

Зберігання водню в газоподібному стані. Зберігання водню в формі рідини (кріогенні методи). Зберігання водню в хімічно зв'язаному вигляді.

Тема 4. Інноваційні технології переробки водню.

Металогідридні технології стиску та переробки ізотопів водню. Електроплазмохімічні методи активації водню.

Тема 5. Основні сфери використання водню

Водень – екологічно чистий енергоносій для транспортних енергоустановок. Використання водню в хімічній промисловості для отримання синтетичних палив. Використання водню в комунально-побутовій сфері.

Тема 6. Металогідридні енергетичні системи.

Теплоутилізаційні металогідридні технології. Енергетичне застосування металогідридних установок. Водневі енерготехнологічні комплекси на базі металогідридних компресорів.

Тема 7. Техніка безпеки при використанні водню.

Вимоги пожежовибухонебезпеки при використанні водню. Інженерні методи забезпечення безпечної експлуатації водневих систем.

5. 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
Розділ 1. Технології та засоби одержання водню, енергетичні та технологічні проблеми							
Тема 1. ***Природні ресурси водню***	4	4					
Тема 2. ***Фізико-хімічні та термодинамічні характеристики водню. Отримання водню***	14	6	2				6
Разом за розділом 1	18	10	2				6
Розділ 2. Зберігання, транспортування та його ефективне використання в водневих енергетичних та технологічних установках							
Тема 3. ***Зберігання та транспортування водню***	22	4	2				16
Тема 4. ***Інноваційні технології переробки водню***	24	2	2				20
Тема 5. ***Основні сфери використання водню***	2	2					
Тема 6. ***Металогідридні енергетичні системи***	22	2	2				18
Тема 7. ***Техніка безпеки при використанні водню***	2	2					
Разом за розділом 2	72	12	6				54
Усього годин	90	22	8				60

6. Самостійна робота

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

Теми для самостійного вивчення

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Фізико-хімічні та термодинамічні характеристики водню. Отримання водню	6
2	Зберігання та транспортування водню	16
3	Інноваційні технології переробки водню	20
4	Металогідридні енергетичні системи	18
	Разом	60

Завдання для самостійної роботи

1. Розглянути варіанти методів генерації водню в автономних умовах.
2. Провести аналіз основних способів отримання водню з мінімальними витратами енергії з метою впровадження їх в енергетичному секторі та хімічній промисловості.
3. Проаналізувати основні способи акумулювання водню на наземних транспортних засобах.
4. Провести розрахунково-теоретичні дослідження щодо можливості роботи електролізної комірки при імпульсній подачі струму.
5. Розглянути можливість роботи електролізера в період резонансу.

6. Описати роботу металогідридного акумулятора в період сорбції-десорбції в надкритичних умовах.

* 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. Вибір параметрів роботи біполярного електролізера при електроживленні від вітряної установки.
2. Визначення допустимих температурних режимів при сорбції (десорбції) водню металогідридом $LaNi_5$.
3. Розрахунок продуктивності роботи монополярного електролізера при оптимальних концентраціях КОН (від 28 % до 33 %).
4. Тепловий розрахунок сорбції (десорбції) водню металогідридом в термосорбційному компресорі.
5. Виконання порівняльного аналізу параметрів роботи лужного та кислотного електролізерів.

* 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

7. Методи навчання

При викладанні дисципліни застосовуються словесні, наочні та практичні методи навчання. Словесні та наочні методи навчання використовуються під час лекцій, самостійної роботи, консультацій, практичні – при здійсненні аспірантами самостійної роботи. Під час проведення лекцій використовуються такі словесні методи як розповідь і пояснення. До числа наочних методів, які застосовуються при викладанні дисципліни, належать: ілюстрація, демонстрація, робота із програмними продуктами.

8. Методи контролю

Поточний контроль теоретичних знань, що отримані здобувачем вищої освіти ступеня доктора філософії здійснюється шляхом опитування та перевірки виконання завдань для самостійної роботи.

Підсумковий контроль проводиться у вигляді заліку.

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота							Екзамен	Сума
Розділ 1			Розділ 2			Разом		
Т1	Т2	Т3	Т4	Т5		100	–	100
20	20	20	20	20				

Т1, Т2 ... – теми розділів.

Критерії оцінювання

Бали поточного контролю за кожною темою складаються з оцінювання відповідей під час усного опитування щодо засвоєння лекційного матеріалу (1 – розуміння окремих положень, 2 – розуміння окремих математичних методів, 3 – досконале засвоєння математичних методів, 4 – вміння адаптувати засвоєні методи для розв'язання комплексних задач теплообміну), оцінювання ступені опрацювання матеріалу тем для самостійного вивчення (1 – часткове розуміння матеріалу, 2 – досконале розуміння матеріалу) та оцінювання виконання завдання для самостійної роботи (1 – вміння вибрати математичний метод для розв'язання поставленої задачі; 2 – розробка методики розв'язання поставленої задачі, 3 – часткове застосування розробленої методики; 4 – повне застосування методики з отриманням частково помилкових результатів, 5 –

вирішення поставленої задачі в цілому, 6 – повне вирішення поставленої задачі з творчим аналізом отриманих результатів)

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
50–100	Зараховано
1–49	не зараховано

10. Рекомендоване методичне забезпечення

Конспект лекцій.

Перелік завдань і методичні матеріали для самостійної роботи.

Основна література

1. Русанов А.В., Соловей В.В., Внукова Н.В., Зіпунніков М.М., Козловський О.В. Термогазодинаміка фізико-енергетичних процесів в альтернативних технологіях : в 3-х томах. Т. 2: Термогазодинаміка фізико-енергетичних процесів в металогідридних технологіях. 2024. С. 378.
2. Русанов А.В., Соловей В.В., Зіпунніков М.М., Шевченко А.А. Термогазодинаміка фізико-енергетичних процесів в альтернативних технологіях : в 3-х томах. Т. 1: Водневі технології. 2018. С. 335.
3. Роїк О.С., Усенко Н.І. Фізична хімія. термодинаміка та електрохімія. – Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2022. С. 308.

Допоміжна література

4. Muminov M. Autonomous Energy Technological Complex with Hydrogen as the Secondary Energy Carrier / M. Muminov // HYPOTHESIS-1V (Hydrogen Power – Theoretical and Engineering Solutions) (September 09 – 14, 2001, Germany). – Stralsund, 2001. – P. 108-112.
5. Golota V.I. Influence of electronegative admixtures on atmospheric pressure discharge in N_2/O_2 mixture. Abstract. / V.I. Golota, L.M. Zavada, B.B. Kadolin et al. // Book of abstracts part 2, 13th International Congress on Plasma Physics. May 22-26, Kiev, Ukraine. – 2006. – P. 246.
6. Теплові й масообмінні процеси та обладнання хімічних і нафтогазопереробних виробництв у системах «газ (пара) – рідина»: підручник / Я.Е. Михайловський, А.Є. Артюхов, М.П. Юхименко, Н.О. Артюхова; за заг. ред. Я.Е. Михайловського. – Суми : Сумський державний університет, 2021. – 391 с
7. Воднева стратегія України: проєкт/ Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – Київ, 2021. – 91 с.
8. Kozin L.H., Volkov S.V., Skryptun I.N. Modern Hydrogen Energetics and Ecology. PH “Akademperiodyka”, 2019. – 364 pp.
9. Воднева стратегія України: проєкт / [Бенменні М., Іванченко І.В., Кудря С.О., Кузнєцов М.П., Петренко К.В., Рєпкін О.О., Яценко Л.В.] Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – Київ, 2021. – 91 ст.
10. Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об’єктів енергетики : монографія / [В. А. Щокіна, В. О. Артемчук, Т. Р. Білан, та ін.]; за ред. А. О. Запорожця, Т. Р. Білан ; ВФТПЕ НАН України. – К.: ТОВ «Наш формат», 2017. – 312 с.

11. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.

Інформаційні ресурси

1. Навчально-методичний комплекс навчальної дисципліни у сховищі Google Drive.
2. Мережа Internet.
3. Бібліотека ІЕМС НАН України.