Національна академія наук України

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

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Заступник директора

“ 25 ” 2025 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Аналіз ефективності систем термотрансформації методами прикладної термодинаміки

(назва навчальної дисципліни)

Підготовки докторів філософії

зі спеціальності G4 Енерговиробництво (спеціалізація G4.02 Теплоенергетика)

2025 / 2026 навчальний рік

Робочу програму навчальної дисципліни «Аналіз ефективності систем термотрансформації методами прикладної термодинаміки» 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)
Тарасова Вікторія Олександрівна, д-р техн. наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник

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)

1. Опис навчальної дисципліни

Мета викладання навчальної дисципліни

Метою курсу є формування у аспірантів комплексних знань і навичок, необхідних для наукових досліджень та практичного застосування сучасних методів прикладної термодинаміки для аналізу ефективності, економічності систем термотрансформації у галузі мікроклімату, кондиціонування та теплових насосів, що відповідають сучасним вимогам енергоефективності та екологічної безпеки.

Перелік компетентностей та програмних результатів навчання, що забезпечує дисципліна

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.

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

ФК2. Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та англійською мовами, глибоке розуміння англомовних наукових текстів за напрямом досліджень з теплоенергетики.

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.

ПРН2. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми теплоенергетики державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.

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.

Характеристика навчальної дисципліни

Вибіркова освітня компонента	
Кількість кредитів	3
Рік підготовки	2-й
Семестр	2-й
Загальна кількість годин	90
Лекції	24 год.
Практичні, семінарські заняття	6 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 поняття та визначення прикладної термодинаміки; методи енергетичного, ентропійного, ексергетичного й термоекономічного аналізу; принципи складання матеріальних, енергетичних і ексергетичних балансів; поняття ексергії, анергії, деструкції ексергії та ексергетичного ККД; методи оцінювання втрат від необоротності в елементах і системі в цілому; сучасні підходи до термоекономічної оптимізації систем термотрансформації.

Вміти: виконувати енергетичний, ентропійний та ексергетичний аналіз систем термотрансформації та їх окремих елементів; складати та аналізувати енергетичні й ексергетичні баланси; визначати ексергію потоків речовини, теплоти; оцінювати величину та структуру внутрішніх і зовнішніх втрат ексергії.

Розуміти: фізичну сутність процесів перетворення енергії в системах термотрансформації; взаємозв'язок між термодинамічними та економічними показниками роботи систем; вплив режимних, структурних і зовнішніх факторів на ексергетичну та термоекономічну ефективність енергетичних і теплотехнологічних установок.

4. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи термодинамічного аналізу систем термотрансформації

Тема 1. Класифікація методів енергетичного та ексергетичного аналізу систем термотрансформації.

Енергетичний аналіз систем термотрансформації. Метод теплових балансів. Ентропія. Максимальна корисна робота.

Тема 2. Основи ексергетичного методу аналізу.

Поняття ексергії. Ексергетичний баланс системи. Визначення значення ексергії для різних видів енергії. Визначення ексергії матеріального потоку, речовини в замкненому об'ємі, потоку теплоти. Визначення хімічної ексергії викопного палива. Поняття анергії.

Розділ 2. Сучасні методи аналізу та оптимізації систем термотрансформації

Тема 3. Класифікація сучасних методів прикладної термодинаміки

Класифікація сучасних методів прикладної термодинаміки. Ентропійно-цикловий аналіз енергоперетворюючих систем. Термоекономічний аналіз на основі методу питомого ексергетичного ціноутворення (SPECO). Структурно-варіантний метод термоекономічної оптимізації систем термотрансформації та енергетичних установок.

Тема 4. Порівняльний аналіз методів формування ексергетичної та монетарної вартості продукту систем термотрансформації

Порівняльний аналіз методів формування ексергетичної та монетарної вартості холоду на основі термоекономічних моделей: негентропійний підхід; H-S метод, E-метод. Графоаналітичний апарат термоекономічного аналізу та оптимізації систем термотрансформації та енергетичних установок. Термоекономічне моделювання термотрансформаторів на основі теорії ексергетичної вартості.

5. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин						
	усього	у тому числі					
		лекції	практ.	лаб.	сем.	інд.	с.р.
Розділ 1. Моделювання фізичних процесів							
Тема 1. ***Класифікація методів енергетичного та ексергетичного аналізу систем термотрансформації***.	6	4	2				
Тема 2. ***Основи ексергетичного методу аналізу.***	38	6	2				30
Разом за розділом 1	44	10	4				30
Розділ 2. Ідентифікація і оптимізація фізичних процесів							
Тема 3. ***Класифікація сучасних методів прикладної термодинаміки***	10	8	2				
Тема 4. ***Порівняльний аналіз методів формування ексергетичної та монетарної вартості продукту систем термотрансформації***	36	6					30
Разом за розділом 2	46	14	2				30
Усього годин	90	24	6				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	Ексергетичний аналіз теплової схеми теплофікаційної паротурбінної установки	30
2	Термоекономічне моделювання термотрансформаторів на основі теорії ексергетичної вартості	30
	Разом	60

Завдання для самостійної роботи

1. Провести аналіз теплової схеми теплофікаційної паротурбінної установки **(**ПТУ) електричної потужності 20 МВт за енергетичними та ексергетичними показниками. Визначити елементи з високою ексергетичною вартістю. Розглянути варіанти теплової схеми ПТУ, в яких мережевий підігрівач 2 (рис. Т2.1) високого тиску перенесено у частину низького тиску (відбір пари 7). Визначити, як це вплине на втрати ексергії та на електричний ККД ПТУ. Провести розрахунок ексергетичних втрат в ПТУ.

2. Провести термоекономічне моделювання парокомпресійної холодильної машини на основі теорії ексергетичної вартості.

* 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. Оцінення термодинамічної досконалості сучасних чилерів Wesper на основі трьох параметричної ентропійно-статистичної моделі. Визначення методом найменших квадратів внутрішніх дисипативних втрат енергії у циклі $\Delta S_{\text{вн}}$, теплових втрат з поверхні обладнання$Q_{\text{тп}}^{\text{екв}}$, сумарних втрат від незворотності у наслідок кінцевої різниці теплообміну у випарнику та конденсаторі $R_{\text{сум}}$.

Оцінення термодинамічної досконалості сучасних чилерів Vicot VMN430L.

2. Wesper на основі трьох параметричної ентропійно-статистичної моделі. Визначення методом найменших квадратів внутрішніх дисипативних втрат енергії у циклі $\Delta S_{\text{вн}}$, теплових втрат з поверхні обладнання$Q_{\text{тп}}^{\text{екв}}$, сумарних втрат від незворотності у наслідок кінцевої різниці теплообміну у випарнику та конденсаторі $R_{\text{сум}}$.

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 студентами 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 для визначення теплофізичних властивостей робочих речовин.

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		
	Т2		Т4		100	–	100
	50		50				

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 розрахункових методів, 3 – досконале засвоєння розрахункових методів, 4 – уміння адаптувати засвоєні методи для розв’язання задач термодинаміки та теплоенергетики), оцінювання ступені опрацювання матеріалу тем для самостійного вивчення (1 – часткове розуміння матеріалу, 2 – досконале розуміння

матеріалу) та оцінювання виконання завдання для самостійної роботи (1 – уміння обрати розрахунковий 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. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навчальний посібник / В.М. Арсеньєв, С. С. Мелейчук. – Суми : Сумський державний університет, 2018. – 364 с. ISBN 978-966-657-740-8.

2. Розвиток теорії та методів термоекономічного аналізу, синтезу, оптимізації інноваційних систем термотрансформації. Дис. … доктора техн. наук: 05.14.06/ Тарасова Вікторія Олександрівна. –Харків, 2019. – 429 с.

Допоміжна література

1 Методи термодинамічного аналізу термомеханічних систем: основи теорії, приклади та завдання : навчальний посібник / В. М. Арсеньєв, С. О. Шарапов. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 322 с. ISBN 978-966-657-890-0

2 Frangopoulos C. A. Thermo-economic Functional Analysis and Optimization// Energy. 1987. № 12(7). P. 563 – 571.

3 Morosuk T., Tsatsaronis G. Advansed exergoeconomic analysis of refrigeration machine: Part 1. Methodology and first evaluation// Proc. 2011 Int. Mech. Eng. Congress at Denver (USA), 2011. P. 1 – 10.

4 On the Negenthropy Application in Thermoeconomics: A Fictitious or an Exergy Component Flow?/ J. Santos, M. Nascimento, E. Lora, A.M. Reyes// International Journal of Thermodynamics. 2009. Vol. 12, № 4. P. 163 – 176.

5 Reay D. A., Macmichael D. B. A. Heat Pumps. Elsevier Science & Technology Books, 1988 – 337 p.

6 Харлампіді Д. Х. Розрахунково-експериментальне дослідження спеціалізованих теплонасосних установок. Дис. … канд. техн. наук: 05.14.06. Харків, 2000, ІПМаш НАН України. – 177 с.

7 Харлампіді Д. Х. Системно-структурний аналіз, діагностика та оптимізація парокомпресійних циклів з незворотними процесами термотрансформації. Дис. … докт. техн. наук: 05.14.06. Харків, 2013, ІПМаш НАН України. – 396 с.

8 Mazur. Analysis of the district heating steam turbine unit at CHPP based on energy and exergy indicators. Journal of Mechanical Engineering – Problemy Mashynobuduvannia, 2025, vol. 28, no. 2. P. 17-26. DOI: https://doi.org/10.15407/pmach2025.02.017.

9 Gordon J. M. Cool thermodynamics. The engineering and physics of predictive, diagnostic and optimization methods for cooling systems / J. M. Gordon, K. C. Ng. – Cornwall. England: MPG Books Ltd., 2001. – 276 p.

10 Тарасова В. О. Система моніторингу та діагностики енергетичної ефективності теплонасосної установки / В. О. Тарасова, М. О. Кузнецов, Д. Х. Харлампіді // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ "ХПІ", 2019. – № 5 (1330). – С. 58–69.

Інформаційні ресурси

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