Національна академія наук України

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

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Заступник директора

“25” 09 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МАШИН І СИСТЕМ ІМ. А. М. ПІДГОРНОГО НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ
№03534570
УКРАЇНА

Робоча програма навчальної дисципліни

Холодильне обладнання

(назва навчальної дисципліни)

Підготовки докторів філософії

зі спеціальності G4 Енерговиробництво (спеціалізація G4.02 Теплоенергетика)

2025 / 2026 навчальний рік

Робочу програму навчальної дисципліни «Холодильне обладнання» 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)
Кузнецов Михайло Олександрович, канд. техн. наук, старший 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 дисципліни є формування у здобувачів системних знань щодо принципів роботи, конструкції, методів розрахунку та експлуатації холодильних машин і установок, а також методів підвищення їх енергетичної ефективності та екологічної безпеки.

Особлива увага приділяється аналізу термодинамічних процесів холодильних циклів, вибору обладнання, оптимізації режимів роботи холодильних установок та їх інтеграції до сучасних енергетичних систем.

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, параметри та нормативні вимоги до холодильного обладнання; термодинамічні цикли холодильних машин; методи розрахунку холодопродуктивності установок; класифікацію та призначення основного обладнання холодильних систем; способи підвищення ефективності холодильних машин; методи визначення теплопритоків до холодильних камер.

Вміти: визначати ефективності холодильних машин; виконувати розрахунки продуктивності компресора, випарника та основних показників ефективності; будувати та аналізувати термодинамічні цикли холодильних машин; обґрунтовувати вибір обладнання холодильних машин залежно від умов експлуатації.

Розуміти: фізичну сутність термодинамічних та теплообмінних процесів у холодильних машинах; взаємозв'язок параметрів холодильного циклу та ефективності системи; вплив зовнішніх факторів на роботу холодильних машин.

4. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Теоретичні основи холодильних процесів

Тема 1. Основи холодильного процесу
Поняття штучного холоду. Вплив низьких температур на властивості продуктів. Методи холодильного оброблення та зберігання продуктів. Безперервний холодильний ланцюг.

Тема 2. Холодильні машини: поняття та призначення, будова і принципи дії парокомпресійної холодильної машини.
Термодинамічні цикли холодильних машин. Одноступінчасті, двоступінчасті та регенеративні цикли. Аналіз ефективності холодильного циклу.

Розділ 2. Холодильні камери та системи холодопостачання

Тема 3. Типи холодильних агрегатів.
Класифікація способів охолодження, їхні переваги та недоліки, критерії вибору. Холодильні камери. Конструкція холодильних камер. Теплова ізоляція. Розрахунок теплопритоків.

Тема 4. Стаціонарно-охолоджувані об'єкти
Камери, шафи, вітрини, прилавки-вітрини, льодогенератори, фризери: типи, призначення, загальна характеристика, особливості будови основних вузлів, правила безпечної експлуатації. Прилади автоматики холодильних машин.

5. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин						
	усього	у тому числі					
		лекції	практ.	лаб.	сем.	інд.	с.р.
Розділ 1. Теоретичні основи холодильних процесів							
Тема 1. Основи холодильного процесу	21	4	2				15
Тема 2. Холодильні машини: поняття та призначення, будова і принципи дії парокомпресійної холодильної машини.	23	6	2				15
Разом за розділом 1	44	10	4				30
Розділ 2. Холодильні камери та системи холодопостачання							
Тема 3. Типи холодильних агрегатів.	21	7	-				15
Тема 4. Стаціонарно-охолоджувані об'єкти	25	8	2				15
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	Аналіз термодинамічних циклів парокомпресійної холодильної машини (одноступінчастого, двоступінчастого та регенеративного циклів). Визначення коефіцієнта холодильної ефективності (COP).	15
2	Розрахунок теплоприпливів до холодильної камери. Визначення теплового навантаження холодильного об'єкта з урахуванням теплопередачі через огороджувальні конструкції, інфільтрації повітря та внутрішніх тепловиділень.	15
3	Підбір основного обладнання холодильної установки. Розрахунок та вибір компресора, конденсатора і випарника для заданої холодопродуктивності.	15
4	Оцінка енергоефективності сучасних холодильних систем. Порівняльний аналіз різних схем холодильних установок (докритичних та транскритичних CO_2-систем).	15
	Разом	60

Завдання для самостійної роботи

1. Провести аналіз термодинамічних циклів парокомпресійної холодильної машини (одноступінчастого, двоступінчастого та регенеративного циклів). Визначити коефіцієнт холодильної ефективності (COP).
2. Розрахувати теплоприпливи до холодильної камери. Визначити теплове навантаження холодильного об'єкта з урахуванням теплопередачі через огороджувальні конструкції, інфільтрації повітря та внутрішніх тепловиділень.
3. Провести підбір основного обладнання холодильної установки. Обрати холодильне обладнання: компресор, конденсатор і випарник для заданої холодопродуктивності.
4. Провести оцінку енергоефективності сучасних холодильних систем. Провести порівняльний аналіз різних схем холодильних установок (докритичних та транскритичних CO_2-систем).

* 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. Аналіз впливу переохолодження холодоагенту на ефективність парокомпресійної холодильної машини.

Для заданого холодоагенту (R134a, R410A або CO_2) побудувати холодильний цикл у *p–i* та *T–s* діаграмах без переохолодження та з переохолодженням. Визначити зміну холодопродуктивності та коефіцієнта холодильного перетворення (COP).

2. Розрахунок ефективності адіабатного охолодження повітря після конденсатору.

Визначити зміну температури конденсації холодоагенту при використанні адіабатного охолодження повітря. Оцінити вплив зниження температури конденсації на холодопродуктивність та енергоспоживання компресора.

3. Дослідження переохолодження холодоагенту додатковою холодильною машиною. Виконати розрахунок холодильної установки з використанням окремого контуру переохолодження холодоагенту додатковою холодильною машиною. Визначити приріст холодопродуктивності та зміну енергетичної ефективності системи.
4. Порівняльний аналіз методів підвищення ефективності холодильних машин. Провести порівняння способів підвищення ефективності: переохолодження рідкого холодоагенту шляхом адіабатного охолодження повітря конденсатора; переохолодження холодоагенту додатковою холодильною машиною. Визначити умови, за яких кожен метод є найбільш ефективним.

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		
Т1	Т2	Т3	Т4		100	-	100
25	25	25	25				

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. Refrigeration and Air Conditioning . Wilbert F. Stoecker, Jerold W. Jones. McGraw-Hill, 1982 – 443 p.
2. Dossat R.J., Horan T.J. Principles of Refrigeration. — 5th ed. — Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002. – 624 p.
3. Granryd E. Refrigerating Engineering. — Stockholm: Royal Institute of Technology, 2005. – 592 p.

Допоміжна література

1. Solanki N., Sharma C., Singh A. Energy–exergy analysis of mechanical subcooled refrigeration system // *Energy Systems*. — 2023. — Vol. 14. — P. 1–16.
2. Molskyi S., Molskyi O., Vorontsova A. Increasing the efficiency of a vapor compression refrigerating machine through adiabatic air cooling. Archives of Thermodynamics. 2025. Vol. 46, No 2. P. 123–132. doi.org/10.24425/ather.2025.154195.
3. Molskyi S. M., Molskyi O. S., Vorontsova A. L. Complex approach to the conversion of existing refrigeration systems to A2L group refrigerants. Journal of Mechanical Engineering – Problemy Mashynobuduvannia. 2025. Vol. 28, No 1, P. 19–32.

Інформаційні ресурси

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