

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Навчально-науковий інститут фізико - технічних та комп'ютерних наук
Кафедра термоелектрики та медичної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор навчально-наукового інституту
фізико-технічних та комп'ютерних наук



Олег АНГЕЛЬСЬКИЙ

2024 року

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни
ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ
(вибіркова)

Освітньо-професійна програма Прикладна фізика та наноматеріали

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Рівень вищої освіти Третій (освітньо-науковий)

Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук

Мова навчання Українська

Чернівці 2024 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Термоелектричні системи охолодження» складена відповідно до освітньо-наукової програми «Прикладна фізика та наноматеріали» підготовки здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали галузі знань 10 Природничі науки.

Розробник:

Черкез Радіон Георгійович, професор, доктор фізико-математичних наук, професор.

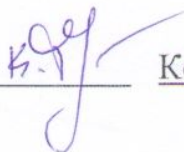
Викладач:

Черкез Радіон Георгійович, професор, доктор фізико-математичних наук, професор.

Погоджено з гарантом ОП і затверджено на засіданні кафедри термоелектрики та медичної фізики ННІФТКН ЧНУ імені Юрія Федьковича

Протокол № 1 від 09 серпня 2024 року


В.о. завідувача кафедри


Кобилянський Р.Р.

Схвалено методичною радою ННІФТКН

Протокол № 1 від 09 серпня 2024 року

Голова методичної ради ННІФТКН


Козярський І.П.

Пояснювальна записка

Мета навчальної дисципліни: дисципліна спрямована на вивчення теоретичних основ, а також прикладів практичного використання термоелектричних систем охолодження. Розглядаються методи проектування і оптимізації термоелектричних систем охолодження. Ця дисципліна покликана сформувати у майбутнього спеціаліста глибокі знання теорії термоелектрики у застосуванні до термоелектричного охолодження, а головне, уявленнь про досягнення науково-технічного прогресу в галузі термоелектричного охолодження, освоєння принципу роботи таких приладів, їх основних характеристик та галузей застосування; вміння застосувати отримані знання при створенні термоелектричних систем охолодження різного призначення.

Пререквізити.

Для ефективного засвоєння даної дисципліни будуть корисні знання, отримані аспірантом з матеріалів курсів «Електрика та магнетизм», «Комп'ютерне проектування теплових насосів, енергетичних та інформаційних систем» та «Комп'ютерне моделювання у прикладній фізиці».

Основні завдання вивчення навчальної дисципліни – вивчення аспірантами основних положень теорії термоелектрики у застосуванні до термоелектричного охолодження, основних розрахункових співвідношень для охолоджуючих термоелементів та режимів їх роботи; ознайомлення аспірантів з фізикою термоелектричного перетворення енергії та основними розробками термоелектричних холодильників відомих компаній світу, основними критеріями вибору холодильників для конкретних областей застосування; освоєння принципу роботи таких приладів, їх основних характеристик та галузей застосування; вміння застосувати отримані знання при створенні термоелектричних холодильників різного призначення; вироблення умінь проводити науково-методичний аналіз інформації, планувати науково-навчальну роботу з предмету.

Результати навчання

Відповідно до освітньо-наукової програми «Прикладна фізика та наноматеріали», вивчення дисципліни «Термоелектричні системи охолодження» сприяє формуванню у здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти таких **компетентностей**:

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2. Здатність до пошуку, оброблення та критичного аналізу інформації з різних джерел, критичного ставлення до власних наукових здобутків та досягнень інших дослідників.

ЗК8. Здатність працювати автономно, ініціювати, організувати та проводити комплексні теоретичні та експериментальні дослідження.

ЗК10. Здатність виявляти, ставити й вирішувати проблеми та проводити дослідження на відповідному рівні, планувати й прогнозувати результати.

Фахові компетентності (ФК)

ФК1. Дослідницькі здатності та компетентність виконувати оригінальні дослідження у вибраній області прикладної фізики та досягати наукових результатів, які створюють нові знання, із звертанням особливої уваги до актуальних задач та використанням новітніх наукових методів.

ФК9. Здатність до продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем у вибраній області фізичних досліджень.

ФК11. Здатність застосовувати знання теорій опису фізичних властивостей низькорозмірних систем різних типів.

ФК12. Здатність створювати та порівнювати між собою фізичні та математичні моделі фізичних об'єктів, процесів та явищ.

Вивчення даної навчальної дисципліни забезпечує досягнення здобувачем наступних **програмних результатів навчання (ПРН)**:

ПРН1. Здатність аналізувати та обговорювати наукові публікації в межах власної дослідницької проблематики та поза нею.

ПРН2. Здатність здійснити завершене оригінальне дослідження, що ґрунтується на використанні сучасних методів науки.

ПРН5. Здатність готувати результати власного наукового дослідження для опублікування наукових статей, монографій, навчальної літератури.

ПРН12. Вміти робити огляд та пошук інформації в спеціалізованій літературі, використовуючи різноманітні ресурси: журнали, бази даних, он-лайн ресурси. Здатність використовувати облікову інформацію з бібліотечних каталогів та найновіших ІКТ-ресурсів, щоб локалізувати джерела і літературу, корисні для власного дослідження.

ПРН13. Знати методи та засоби проектування оптимальних властивостей термоелектричних матеріалів та пристроїв на їх основі.

Аспірант повинен **вміти** застосовувати одержані знання на практиці, а саме:

- проводити оцінку доцільності використання різних систем та способів охолодження в конкретних випадках їх практичного застосування;
- розраховувати оптимальні конструкції термоелектричних систем охолодження для конкретних практичних застосувань;
- вимірювати основні характеристики термоелектричних систем охолодження;
- вибирати необхідний термоелектричний матеріал, способи теплообміну та струм живлення для використання у конкретних конструкціях термоелектричних систем охолодження.

Опис змісту робочої програми навчальної дисципліни

Загальна інформація

Назва навчальної дисципліни «Термоелектричні системи охолодження»												
Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	Змістових модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
Денна	1	2	4	120	3	10	20			90		екзамен

Структура змісту навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем навчальних занять	Кількість годин					
	денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль 1. Теоретичні основи функціонування термоелектричних систем охолодження						
Тема 1. Історія розвитку та перспективи застосування термоелектричних систем охолодження.	8	1	1	-	-	6
Тема 2. Порівняльний аналіз різних способів охолодження.	8	-	1	-	-	7
Тема 3. Фізичні основи роботи термоелектричних систем охолодження.	8	1	1	-	-	6
Тема 4. Режими роботи термоелектричних систем охолодження та основні співвідношення для їх опису.	8	-	1	-	-	7
Тема 5. Методи визначення параметрів термоелектричних систем охолодження.	8	-	2	-	-	6
Разом за ЗМ 1	40	2	6	-	-	32
Змістовий модуль 2. Проектування та оптимізація термоелектричних систем охолодження						
Тема 6. Основні методи та підходи до проектування і оптимізації термоелектричних систем охолодження.	8	1	1	-	-	6

Критерії якості в термоелектричному охолодженні.						
<i>Тема 7. Підвищення якості термоелектричних матеріалів для систем охолодження. Добротність термоелектричних матеріалів.</i>	8	1	1	-	-	6
<i>Тема 8. Проектування та оптимізація термоелектричних модулів охолодження. Нові типи термоелектричних перетворювачів енергії.</i>	8	-	1	-	-	7
<i>Тема 9. Методи інтенсифікації теплообміну в термоелектричних системах охолодження.</i>	8	1	1	-	-	6
<i>Тема 10. Комплексний підхід до проектування та оптимізації термоелектричних систем охолодження.</i>	8	-	2	-	-	6
Разом за ЗМ 2	40	3	6	-	-	31
Змістовий модуль 3. Галузі застосування термоелектричних систем охолодження						
<i>Тема 11. Термоелектричні кондиціонери для транспорту.</i>	8	1	1	-	-	6
<i>Тема 12. Термоелектричні охолоджувачі високочутливих приймачів випромінювання.</i>	8	1	1	-	-	6
<i>Тема 13. Термоелектричні теплові насоси космічного та наземного використання.</i>	8	1	2	-	-	5
<i>Тема 14. Індивідуальні кондиціонери для людини. Локальне охолодження людини як спосіб зменшення енергетичних затрат.</i>	8	1	2	-	-	5
<i>Тема 15. Термоелектричне охолодження в побуті та медицині.</i>	8	1	2	-	-	5
Разом за ЗМ 3	40	5	8	-	-	27
Усього годин	120	10	20	-	-	90

Тематика лекційних занять з переліком питань

№	Назва теми лекції
1.	Історія розвитку та перспективи застосування термоелектричних систем охолодження. Історичні передумови відкриття термоелектричних ефектів. Відкриття ефектів Пельтьє та Томсона. Сучасний стан термоелектричних технологій. Переваги та обмеження термоелектричних систем. Перспективи застосування термоелектричного охолодження в техніці.
2.	Порівняльний аналіз різних способів охолодження. Класифікація методів охолодження. Переваги та недоліки різних методів охолодження. Порівняння традиційних систем охолодження з термоелектричними.
3.	Фізичні основи роботи термоелектричних систем охолодження. Електричні та теплові процеси в напівпровідниках. Енергетичні перетворення в термоелектричних системах. Коефіцієнт Пельтьє та коефіцієнт Зеєбека. Фізична суть термоелектричного охолодження. Матеріали для термоелектричних систем.
4.	Режими роботи термоелектричних систем охолодження та основні співвідношення для їх опису. Основні рівняння термоелектрики. Тепловий та електричний баланс термоелектричного модуля. Робочі режими термоелектричних охолоджувачів. Коефіцієнт перетворення (COP) термоелектричних систем. Параметри, що впливають на ефективність роботи.
5.	Методи визначення параметрів термоелектричних систем охолодження. Експериментальні методи дослідження термоелектричних параметрів. Добротність термоелектричних матеріалів і способи її визначення. Огляд вимірювального обладнання.
6.	Основні методи та підходи до проектування і оптимізації термоелектричних систем охолодження. Критерії якості в термоелектричному охолодженні. Критерії ефективності термоелектричних систем. Оптимізація геометрії термоелектричних

	модулів. Вибір матеріалів та контактів. Зменшення теплових втрат у системах. Методи підвищення продуктивності. Енергетична ефективність і надійність систем.
7.	Підвищення якості термоелектричних матеріалів для систем охолодження. Добротність термоелектричних матеріалів. Поняття термоелектричної добротності ZT. Фактори, що впливають на ZT. Сучасні матеріали.
8.	Проектування та оптимізація термоелектричних модулів охолодження. Нові типи термоелектричних перетворювачів енергії. Конструкція термоелектричного модуля охолодження. Каскадні термоелектричні охолоджувачі. Методи комп'ютерного моделювання термоелектричних перетворювачів.
9.	Методи інтенсифікації теплообміну в термоелектричних системах охолодження. Роль теплового контакту в роботі термоелектричних систем. Тепловіоди і методи їх оптимізації. Пасивне охолодження: ребристі радіатори, теплові труби. Активні методи охолодження: вентилятори, рідинні системи. Підвищення теплової ефективності систем.
10.	Комплексний підхід до проектування та оптимізації термоелектричних систем охолодження. Узгальнена фізична модель термоелектричного охолоджувача. Комп'ютерне моделювання термоелектричних процесів. Оптимізація електричного та теплового навантаження. Комплексний підхід «матеріал–модуль–система».
11.	Термоелектричні кондиціонери для транспорту. Застосування в автомобільній промисловості. Термоелектричні системи керування мікрокліматом сидінь. Використання у вантажному та пасажирському транспорті. Особливості експлуатації в умовах вібрацій та перепадів температур. Переваги у порівнянні з традиційними кондиціонерами.
12	Термоелектричні охолоджувачі високочутливих приймачів випромінювання. Необхідність забезпечення температурних режимів приймачів. Застосування в інфрачервоних детекторах. Структура та принцип роботи термоелектричних охолоджувачів для сенсорів.
13	Термоелектричні теплові насоси космічного та наземного використання. Принцип дії термоелектричних теплових насосів космічного призначення. Особливості використання теплових насосів поза межами Землі. Термоелектричні теплові насоси для приладів очистки води космічного та наземного призначення.
14	Індивідуальні кондиціонери для людини. Локальне охолодження людини як спосіб зменшення енергетичних затрат. Проблема локального охолодження. Термоелектричні жилети та персональні охолоджувачі. Енергоефективність локального охолодження. Біофізичні аспекти теплового комфорту. Медичні застосування локального охолодження.
15	Термоелектричне охолодження в побуті та медицині. Термоелектричні міні-холодильники і портативні охолоджувачі. Медичні аналізатори та лабораторне обладнання з термоелектричними охолоджувачами. Стабілізація температури в медичній техніці. Переваги екологічних безфреонових технологій.

Тематика практичних занять з переліком питань

№	Назва теми (завдання).
1	Вступне заняття. Ознайомлення з лабораторією. Проходження інструктажу з безпеки життєдіяльності.
2	Дослідження термоелектричного ефекту охолодження. Схема експериментальної установки для дослідження термоелектричного охолодження. Вимірювання температурних характеристик при проходженні електричного струму. Побудова залежності температури холодного спаю від сили струму. Аналіз ефективності термоелектричного охолодження. Оцінка похибок вимірювань.
3	Дослідження термопарного елемента в режимі охолоджувача. Принцип дії термопари в режимі охолодження. Електричні та теплові характеристики термопарного елемента. Вимірювання різниці температур на спаях термопари. Вплив сили

	струму та теплового навантаження на роботу термопари. Визначення коефіцієнта Пельтьє експериментальним шляхом. Порівняння отриманих даних із теоретичними значеннями.
4	Перевірка першого співвідношення Томсона. Суть ефекту Томсона. Енергетичні перетворення в провіднику при температурному градієнті. Експериментальна установка для перевірки співвідношення Томсона. Вимірювання електрорушійної сили при різниці температур. Обчислення коефіцієнта Томсона.
5	Вимірювання параметрів побутового термоелектричного холодильника. Будова побутового термоелектричного холодильника. Основні технічні характеристики моделі. Вимірювання споживаної потужності пристрою. Визначення перепаду температур між гарячою і холодною сторонами. Оцінка коефіцієнта продуктивності (COP). Аналіз енергетичної ефективності та стабільності роботи.
6	Дослідження термоелектричного охолоджувача напоїв. Принцип роботи компактного охолоджувача на елементах Пельтьє. Схема досліду та набір вимірювальних приладів. Визначення часу охолодження рідини. Вплив теплового навантаження на продуктивність охолодження. Оцінка теплового потоку. Практичне застосування та недоліки таких охолоджувачів.
7	Дослідження термоелектричного рідинного охолоджувача. Конструкція рідинної системи охолодження. Порівняння повітряного і рідинного теплообміну. Дослідження циркуляції охолоджувальної рідини. Вплив швидкості потоку рідини на ефективність роботи. Визначення температурних характеристик системи. Аналіз результатів та побудова графіків залежностей.
8	Вимірювання параметрів термоелектричного зонда приладу для рефлексотерапії. Принцип дії термоелектричного зонду. Особливості медичного застосування елементів Пельтьє. Методика проведення вимірювань. Дослідження температурної стабільності зонду. Визначення потужності та ефективності роботи пристрою. Оцінка можливостей локального охолодження в медичній техніці.

Контроль виконання завдань, винесених на підготовку та виконання практичних занять, виконання необхідних розрахунків проводиться в рамках модульного контролю, переглядом звітів з виконання практичних робіт та самим захистом аспірантами практичних робіт. Бали за цю роботу входять у загальну кількість балів за діяльність – практичні роботи.

Завдання для самостійної роботи аспірантів

№	Завдання для самостійної роботи (види роботи).
1	Історія винайдення та етапи становлення термоелектричного охолодження. Історія відкриття термоелектричних ефектів Зеебека, Пельтьє та Томсона. Перші практичні застосування термоелектрики. Розвиток термоелектричних матеріалів у XX–XXI століттях. Основні наукові школи та дослідники термоелектрики. Еволюція застосувань термоелектричного охолодження.
2	Сучасні технології одержання холоду. Традиційні компресійні холодильні системи. Абсорбційні та адсорбційні холодильні установки. Ежекційні, магнітні, лазерні та кріогенні методи охолодження. Порівняння з термоелектричним охолодженням. Енергетичні та екологічні аспекти.
3	Порівняльна характеристика термоелектричних модулів охолодження різних компаній світу. Огляд провідних виробників термоелектричних модулів (ITE, Marlow, Komatsu, TEC Microsystems, Hi-Z Technology, Kryotherm). Аналіз конструкцій та параметрів модулів. Порівняння ефективності, надійності та вартості. Області застосування. Технологічні особливості виробництва.
4	Можливості використання термоелектричних перетворювачів енергії в режимі нагріву. Принцип роботи термоелектричного теплового насоса у режимі нагріву. Технічні обмеження й ефективність нагріву. Приклади застосування у медицині та промисловості. Енергетичні характеристики
5	Особливості проектування каскадних термоелектричних модулів охолодження. Необхідність каскадного охолодження для великих температурних різниць. Принцип

	каскадного з'єднання термоелементів. Проблеми теплового узгодження між каскадами. Методи підвищення ефективності каскадних систем. Математичне моделювання каскадування.
6	Методи теорії оптимального керування для проектування термоелектричних систем охолодження. Поняття оптимізації в термоелектричних системах. Застосування методів оптимального керування. Критерії оптимізації: мінімум енергоспоживання, максимум COP. Алгоритми оптимізації (градієнтні, генетичні, евристичні). Приклади оптимізаційних задач.
7	Теорія тепломасообміну у застосуванні до підвищення якості термоелектричних систем охолодження. Сучасні системи тепломасообміну. Теплові труби. Закони теплопровідності, конвекції та теплового випромінювання. Параметри теплопередачі в термоелектричних системах. Методи інтенсифікації тепломасообміну. Теплові труби та їх застосування. Сучасні технології відведення тепла.
8	Проектування термоелектричних систем охолодження в програмі ANSYS. Моделювання електричних і теплових процесів. Побудова геометрії термоелектричної системи. Граничні умови та параметри. Розрахунок температурних полів та потоків тепла. Аналіз характеристик системи.
9	Проектування термоелектричних систем охолодження в програмі Comsol Multiphysics. Побудова мультифізичних моделей термоелектрики. Задачі моделювання в середовищі COMSOL. Інтеграція теплових та електричних процесів. Оптимізація геометрії модуля. Аналіз результатів моделювання.
10	Термоелектричне охолодження у вимірювальній техніці. Необхідність термостабілізації вимірювальних приладів. Термоелектричні стабілізатори температури. Підвищення точності вимірювань за рахунок охолодження. Приклади застосування у спектроскопії та електроніці. Практичні рішення та конструктивні особливості.
11	Термоелектричне охолодження в військовій техніці. Системи охолодження інфрачервоних прицілів та датчиків. Переваги термоелектрики для військових приладів. Приклади використання у бронетехніці та авіації. Проблеми та перспективи.
12	Термоелектричне охолодження в медичній практиці. Стабілізація температури медичного обладнання. Термоелектричні системи у лабораторних аналізаторах. Застосування у кріотерапії та фізіотерапії. Безфреонові технології в медицині. Переваги та обмеження.
13	Термоелектричні мікрокалориметри. Принцип роботи мікрокалориметрів. Роль термоелектрики в точних вимірюваннях тепла. Конструкція й основні параметри мікрокалориметрів. Застосування у хімії, біології та матеріалознавстві. Новітні розробки.
14	Термоелектричне охолодження в комп'ютерній техніці. Проблема тепловиділення у процесорах і чипах. Охолоджувачі на елементах Пельтьє для ПК. Інтеграція з рідинними системами охолодження. Переваги й ризики застосування ТЕС у персональних комп'ютерах. Приклади промислових рішень.
15	Термоелектричне охолодження для космічних використань. Особливі вимоги космічної техніки до систем охолодження. Застосування термоелектрики на космічних супутниках та станціях. Розвиток технологій для космічних місій.

Контроль виконання завдань, винесених на самостійне опрацювання проводиться в рамках модульного контролю. Бали за цю роботу входять у загальну кількість балів за конкретний модуль.

Методи навчання

Методи навчання:

лекції: проблемний виклад, частково-пошукові та дослідницькі методи, презентації, бесіди і дискусії;

практичні заняття: метод проблемного підходу, дослідницький метод.

Самостійна робота аспірантів передбачає: конспектування лекційного матеріалу;

вивчення теоретичного матеріалу лекційних занять та опрацювання літературних джерел, рекомендованих цією програмою; проведення розрахунків та підготовку звітів з практичних робіт.

Інтерактивні методи навчання: застосуванням електронних мультимедійних комплексів навчальних дисциплін та ресурсів, а також платформи для дистанційного навчання Moodle (<https://moodle.chnu.edu.ua>).

Форми навчальних занять: лекції, практичні заняття, консультації.

Система контролю та оцінювання

Методи контролю

У процесі оцінювання навчальних досягнень застосовуємо методи усного і письмового контролю, зокрема такі **засоби оцінювання** та демонстрування результатів навчання:

- *засоби усного контролю:* індивідуальне опитування, фронтальне опитування, презентації результатів виконаних завдань;
- *засоби письмового контролю:* контрольні роботи, тестування, самостійні роботи, виконання та захист лабораторних;
- *засоби самоконтролю:* уміння самостійно оцінювати свої знання, самоаналіз.

У разі проведення навчального процесу та оцінювання у дистанційній формі використовуються засоби Moodle (у тому числі тестування; <https://moodle.chnu.edu.ua>).

Система оцінювання знань є накопичувальною (складається із суми балів за різними видами здійсненого контролю).

Форми контролю

Основними формами поточного контролю є:

- усні відповіді аспірантів;
- виконання тестових завдань з метою перевірки рівня засвоєння теоретичного матеріалу за навчальними темами;
- усна відповідь аспіранта при здачі практичної роботи;
- виконання модульної контрольної роботи (тестування та розв'язання навчально-професійних задач).

Зазначені форми контролю на лекційних та практичних заняттях є обов'язковими для всіх аспірантів.

Форма підсумкового контролю – екзамен.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

поточного та підсумкового контролю навчальних досягнень аспірантів

Критерії оцінювання навчальних досягнень аспірантів за результатами поточного контролю

Критеріями оцінювання навчальних досягнень аспірантів за результатами поточного контролю є:

- Знання теоретичного матеріалу
- Практичні навички
- Самостійність і критичне мислення
- Якість виконання завдань
- Активність на заняттях
- Дотримання термінів виконання завдань
- Академічна доброчесність

Розподіл балів, які отримують аспіранти за модулі

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)			Лабораторний практикум	Кількість балів (екзамен)	Сумарна к-ть балів
ЗМ №1	ЗМ №2	ЗМ №3			
T1-T5	T6-T10	T11-T15	T1-T15		
15	15	15	15	40	100

Критерії підсумкового оцінювання результатів навчання аспірантів з навчальної дисципліни

Критерієм підсумкового оцінювання є досягнення аспірантом певних знань передбаченим результатом навчання, коли аспірант опанував теоретичними та практичними знаннями навчальної дисципліни.

На екзамен виносяться питання теоретичних знань і практичних навиків аспірантів з навчальної дисципліни. Екзаменаційні білети містять два теоретичних питання.

Теоретичні питання (пункт 1 і 2 білетів) кожне питання оцінюються максимальною кількістю балів рівною 15 за наступними критеріями:

- ◆ **13-15 балів:** коли аспірантом дані правильні вичерпні відповіді на всі поставлені запитання, уміло застосовані теоретичні знання, висвітлені питання не за завченою схемою, а своїми словами, з глибоким розумінням всіх основних процесів і явищ електромагнетизму у природі і вимірювальних пристроях.
- ◆ **9-12 балів:** коли аспірантом дані правильні відповіді на всі поставлені запитання, але відповіді не зовсім повні, в окремих випадках допущені незначні неточності у формулюванні закономірностей чи у записах аналітичних виразів, окремі моменти не дістали належного з'ясування.
- ◆ **6-8 балів:** коли відповідь аспіранта правильна і становить більше половини матеріалу, що містять питання згідно програми, але присутні істотні помилки у поясненні основних явищ електромагнетизму.
- ◆ **0-5 балів:** коли не дано правильні відповіді на поставлені запитання, або відповіді надто поверхові, непослідовні і неточні, виявляють незнання аспірантом програмного матеріалу, містять грубі помилки, що свідчить про нерозуміння основних понять та явищ електромагнетизму.

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ЄКТС	
	Оцінка (бали)	Пояснення за розширеною шкалою
Відмінно	A (90-100)	відмінно
Добре	B (80-89)	дуже добре
	C (70-79)	добре
Задовільно	D (60-69)	задовільно
	E (50-59)	достатньо
Незадовільно	FX (35-49)	(незадовільно) з можливістю повторного складання
	F (1-34)	(незадовільно) з обов'язковим самостійним опрацюванням освітнього компоненту до перескладання

Критерії підсумкової оцінки як показника результатів вивчення навчальної дисципліни

Згідно шкали ЄКТС загальна кількість балів, яку аспірант може отримати у процесі вивчення дисципліни, становить 100 балів, з яких 60 балів аспірант набирає при поточних видах контролю і 40 балів – у процесі підсумкового контролю (екзамен).

Таким чином знання аспірантів оцінюється як з теоретичної, так і з практичної підготовки за такими критеріями:

«А» 90-100 балів ставиться у разі, якщо	<ul style="list-style-type: none"> – постійно готувався до занять та згідно з програмою дисципліни; – глибоко та всебічно розкривав зміст питань; – показав уміння формулювати висновки, узагальнювати та аналізувати навчальний матеріал; – показав уміння вільно виконувати завдання; – переконливо та логічно викладав матеріал, проявляв творчий підхід до
--	---

аспірант:	<p>виконання практичних завдань;</p> <ul style="list-style-type: none"> – належним чином виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю або допускав при усних відповідях та тестуванні окремі незначні неточності.
«В» 80-89 балів ставиться у разі, якщо аспірант:	<ul style="list-style-type: none"> – розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – робив узагальнення та висновки з окремих питань; – виконав усі практичні завдання; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але недостатньо використовував додаткову літературу; – при усних відповідях не досить повно і аргументовано викладав матеріал, а при тестуванні мали місце окремі неточності; – не проявив творчий підхід до виконання індивідуальних завдань та наукових повідомлень.
«С» 70-79 балів ставиться у разі, якщо аспірант:	<ul style="list-style-type: none"> – розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – формулював висновки з окремих питань практичних занять; – брав участь у виконанні практичних завдань; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності при усних відповідях, тестуванні; – не проявляв належної активності на лекційних та практичних заняттях, недостатньо використовував додаткову літературу; неохайно виконував завдання практичних робіт.
«D» 60-69 ставиться у разі, якщо аспірант:	<ul style="list-style-type: none"> – відповідав на окремі питання, які обговорювалися; – формулював висновки з окремих питань; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності; – не проявляв належної активності на практичних заняттях та старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував додаткову літературу, не належним чином виконав практичні завдання; – виконав не всі завдання для самостійної роботи, або не виконав хоча б одну практичну роботу.
«Е» 50-59 балів ставиться у разі, якщо аспірант:	<ul style="list-style-type: none"> – відповідав на окремі питання, які обговорювалися; – виконував окремі завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав неточності при усних відповідях (будуючи свою відповідь на звичайному повторенні навчального матеріалу без його осмислення), тестуванні; – не проявляв належної активності на практичних заняттях, старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував основну та додаткову літературу; – виконав не всі практичні завдання; – не належним чином виконував індивідуальні завдання.
«Fх» 35-49 балів ставиться у разі, якщо аспірант:	<ul style="list-style-type: none"> – поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися; – допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях; – поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою; – частково виконав завдання для самостійної роботи; – не проявляв активності на практичних заняттях; – допускав принципові помилки під час виконання завдань; – не виконував практичні завдання; – не виконав завдання модульного контролю.
«F» 1-34 балів ставиться у разі, якщо	<ul style="list-style-type: none"> – поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися; – допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях, тестуванні; – поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою; – не виконав завдання для самостійної роботи; – не виконав практичне завдання;

аспірант:	<ul style="list-style-type: none"> – не виконував практичні завдання; – на підсумковому занятті не вміє відтворити зміст окремих питань, передбачених програмою дисципліни; – не виконав завдання модульного контролю.
-----------	---

Перелік питань для самоконтролю та контролю навчальних досягнень аспірантів з навчальної дисципліни

Питання для поточного контролю

1. Охарактеризуйте основні етапи історії розвитку термоелектричного охолодження.
2. Основні вимоги до термоелектричних приладів охолодження медичного призначення. Класифікація термоелектричних приладів для медицини.
3. Охарактеризуйте принцип роботи та конструктивні особливості кондиціонерів за схемами «вода-повітря» і «повітря-повітря».
4. Вкажіть методи зменшення та оптимізації масо-габаритних характеристик термоелектричних холодильників.
5. Охарактеризуйте роботу термоелектричної системи охолодження в режимі максимального холодильного коефіцієнта.
6. Основні режими роботи охолоджуючих термоелементів.
7. Охарактеризуйте сучасний стан та перспективи розвитку термоелектричного охолодження.
8. Навантажувальні характеристики термоелектричного модуля охолодження та методика їх використання при конструюванні систем охолодження.
9. Розкрийте фізичний зміст оптимального струму живлення термоелектричного модуля охолодження.
10. Вкажіть основні показники якості термоелектричних систем охолодження.
11. Охарактеризуйте основні етапи виготовлення термоелектричних модулів для приладів та систем охолодження.
12. Наведіть конкретні приклади використання термоелектричного охолодження у медицині.
13. Вкажіть та охарактеризуйте методи забезпечення теплового контакту між компонентами приладів термоелектричного охолодження.
14. Основні конструктивні вузли термоелектричних холодильників та вимоги при їх конструюванні.
15. Розкрийте фізичну суть основних термоелектричних ефектів: Зеєбека, Пельтьє, Томсона.
16. Охарактеризуйте роботу термоелектричних систем охолодження в режимі максимальної холодопродуктивності.
17. Техніко-економічний аналіз застосування термоелектричних холодильників.
18. Вкажіть способи розсіювання тепла при роботі термоелектричного пристрою охолодження. Охарактеризуйте існуючі методи збільшення тепловіддачі.
19. Основні механізми підвищення ефективності термоелектричних холодильників.
20. Розрахунок радіаторів ТЕБ заданої площі при заданій споживаній потужності.
21. Поясніть доцільність термоелектричного охолодження в електронній апаратурі.
22. Наведіть класифікацію систем термоелектричного охолодження та класифікацію термоелектричних холодильників за призначенням.
23. Охарактеризуйте умови одержання максимальної холодопродуктивності і оптимального значення питомої витрати напівпровідникового матеріалу, необхідного для виготовлення термопарного елемента.
24. Оптимізація термоелектричних приладів та систем охолодження. Термоелектричні інтенсифікатори теплообміну.
25. Вкажіть основні вимоги до джерел електричного живлення термоелектричних приладів та систем охолодження.
26. Характеристики повітряних та рідинних термоелектричних систем охолодження.
27. Дайте характеристику стаціонарних термоелектричних холодильників (СТЕХ). Класифікація СТЕХ за призначенням.

28. Вкажіть переваги термоелектричного кондиціонування перед компресійним.
29. Основні розрахункові співвідношення для термоелемента охолодження.
30. Дайте визначення основних термоелектричних ефектів.
31. Дайте класифікацію та охарактеризуйте транспортні медичні холодильники.
32. Вкажіть та охарактеризуйте способи вимірювання параметрів термоелектричних модулів охолодження.
33. Проаналізуйте важливість теплоізоляційних якостей побутових приладів та систем охолодження.
34. Основні вимоги до повітря виробничих і побутових приміщень. Порівняння параметрів кондиціонерів різних типів.
35. Розкрийте поняття економічної ефективності застосування термоелектричних холодильників.
36. Охарактеризуйте основні етапи технології одержання термоелектричних модулів охолодження.
37. Розкрийте фізичний зміст холодильного коефіцієнта пристроїв та систем термоелектричного охолодження.
38. Енергетична ефективність сучасних СТЕХ.
39. Охарактеризуйте основні етапи технології виготовлення термоелектричних систем охолодження.

Питання для підсумкового контролю

1. Охарактеризуйте основні етапи історії розвитку термоелектричного охолодження
2. Охарактеризуйте роботу термоелектричних систем охолодження в режимі максимальної холодопродуктивності
3. Основні розрахункові співвідношення для термоелемента охолодження
4. Охарактеризуйте сучасний стан та перспективи розвитку термоелектричного охолодження
5. Розкрийте фізичний зміст оптимального струму живлення термоелектричного модуля охолодження
6. Дайте визначення основних термоелектричних ефектів
7. Наведіть класифікацію систем термоелектричного охолодження та класифікацію термоелектричних холодильників за призначенням
8. Вкажіть переваги термоелектричного кондиціонування перед компресійним
9. Охарактеризуйте основні етапи технології одержання термоелектричних модулів охолодження
10. Вкажіть та охарактеризуйте основні параметри термоелектричних модулів охолодження
11. Вкажіть основні механізми підвищення ефективності термоелектричних холодильників
12. Основні вимоги до термоелектричних приладів охолодження медичного призначення. Класифікація термоелектричних приладів для медицини
13. Розкрийте фізичний зміст холодильного коефіцієнта пристроїв та систем термоелектричного охолодження
14. Вкажіть методи зменшення та оптимізації масо-габаритних характеристик термоелектричних холодильників
15. Дайте класифікацію та охарактеризуйте транспортні термоелектричні холодильники
16. Вкажіть та охарактеризуйте основні етапи технології виготовлення термоелектричних систем охолодження
17. Навантажувальні характеристики термоелектричного модуля охолодження та методика їх використання при конструюванні систем охолодження
18. Основні режими роботи охолоджуючих термоелементів
19. Розкрийте основні вимоги при конструюванні термоелектричних холодильників та основні конструктивні вузли систем охолодження
20. Вкажіть способи розсіювання тепла в термоелектричних пристроях та методи збільшення тепловіддачі

21. Охарактеризуйте роботу термоелектричної системи охолодження в режимі максимального холодильного коефіцієнта
22. Вкажіть методи забезпечення теплового контакту між компонентами термоелектричних приладів
23. Термоелектричні системи охолодження у біології та медицині
24. Методи підвищення тепловіддачі радіаторів у термоелектричних системах
25. Особливості конструкції та вимоги виготовлення термоелектричних систем охолодження для медицини
26. Термоелектричні охолоджувачі у приладобудуванні та вимірювальній техніці
27. Основні показники якості термоелектричних систем охолодження
28. Випробувальні камери з термоелектричним охолодженням
29. Історія розвитку термоелектричних кондиціонерів та порівняння їх параметрів
30. Способи вимірювання параметрів термоелектричних модулів охолодження
31. Техніко-економічний аналіз застосування термоелектричних холодильників
32. Принцип роботи та конструктивні особливості кондиціонерів «вода–повітря» і «повітря–повітря»
33. Поняття економічної ефективності термоелектричних холодильників
34. Загальні принципи конструювання термоелектричних холодильників
35. Характеристика стаціонарних термоелектричних холодильників (СТЕХ) та їх класифікація
36. Термоелектричні матеріали для модулів та технології виготовлення
37. Термоелектричні охолоджувачі в лабораторній практиці та хімічній промисловості
38. Твердотільні методи охолодження та їх аналіз
39. Порівняльна характеристика термоелектричних модулів різних виробників
40. Термоелектричні охолоджувачі радіоелектронної апаратури
41. Етапи виготовлення термоелектричних модулів
42. Важливість теплоізоляційних властивостей у системах охолодження
43. Термоелектричні осушувачі повітря
44. Характеристики повітряних та рідинних термоелектричних систем
45. Вимоги до джерел електроживлення термоелектричних систем
46. Термоелектричні способи кондиціонування повітря
47. Специфіка транспортних термоелектричних охолоджувачів
48. Вимоги до повітря житлових і виробничих приміщень, порівняння кондиціонерів
49. Характеристики побутових термоелектричних холодильників
50. Доцільність термоелектричного охолодження в електроніці
51. Розрахунок радіаторів термоелектричних блоків
52. Приклади застосування термоелектричного охолодження у медицині
53. Оптимізація термоелектричних приладів і систем
54. Умови досягнення максимальної холодопродуктивності термоелементів
55. Суть ефектів Зеебека, Пельтьє та Томсона
56. Оптимізація масо-габаритних характеристик термоелектричних систем
57. Енергетична ефективність стаціонарних термоелектричних холодильників

Зарахування результатів неформальної освіти

Відповідно до «Положення про взаємодію формальної та неформальної освіти, визнання результатів навчання (здобутих шляхом неформальної та/або інформальної освіти, в системі формальної освіти) у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича (протокол № 109 від 28 березня 2022 року) (<https://www.chnu.edu.ua/media/3aykf41y/polozhennia-pro-vzaiemodiiu-formalnoi-ta-neformalnoi-osvity.pdf>) у процесі вивчення дисципліни здобувачу освіти може бути зараховано до 25% балів, отриманих за результатами неформальної та/ або інформальної освіти з проблем, що відповідають тематиці курсу.

Рекомендована література **Основна література**

1. L.I. Anatyshuk, "Thermoelectricity Vol. 1 – Physics of Thermoelectricity", Institute of

Thermoelectricity, Kiev, 1998.

2. L.I. Anatyshchuk, "Thermoelectricity Vol. 2-Thermoelectric Power Converters", Institute of Thermoelectricity, Kiev, 2005.

3. L.I. Anatyshchuk, V.A. Semenyk, "Optimal Control over the Properties of Thermoelectric Materials and Devices", Publisher "PRUT" 1992.

4. Anatyshchuk, L.I., Prybyla, A.V. Thermoelectric coolers for x-ray detectors. Science and Innovation, 2020, 16(4), pp. 44-49. DOI: 10.15407/scine16.04.044.

5. Vladimir G. Rifert, Lukyan I. Anatyshchuk, Andrii S. Solomakha, Petr A. Barabash, Vladimir Usenko, A.V. Prybyla, Milena Neymark, Valerii Petrenko. Upgrade the centrifugal multiple-effect distiller for deep space missions / 70-th International Astronautical Congress. – 21-25 October 2019. – Washington D.C., USA.

6. Анатичук Л.І., Прибила А.В., Короп М.М. Порівняльний аналіз термоелектричних та компресійних теплових насосів для індивідуальних кондиціонерів в умовах підвищених температур навколишнього середовища // Термоелектрика. – 2016. №5. – С 95 – 98.

Додаткова література

1. Prybyla A.V., Cherkez R.G. Effect of heat-exchange systems on the efficiency of thermoelectric devices.– AIP Conference Proceedings.–Volume 1449, 2012, Pages 443-446.– 9th European Conference on Thermoelectrics, ECT 2011; Thessaloniki; Greece; 28 September 2011 through 30 September 2011.

2. Анатичук Л.І., Прибила А.В. Оптимізація теплової комутації в термоелектричних теплових насосах рідина-рідина для приладів очищення води космічного призначення // Термоелектрика. – 2015. №4. – С 45 – 51.

3. Анатичук Л.І., Прибила А.В. Оптимізація системи живлення термоелектричного теплового насоса рідина-рідина // Термоелектрика. – 2015. №6. – С 53 – 58.

4. Прибила А.В. Фізичні моделі термоелектричних кондиціонерів для людини (частина перша) // Термоелектрика. – 2016. №1. – С 18 – 44.

5. Анатичук Л.І., Прибила А.В. Порівняльний аналіз термоелектричних та компресійних теплових насосів для індивідуальних кондиціонерів // Термоелектрика. – 2016. №2. – С 33 – 42.

6. Прибила А.В. Термоелектричний кондиціонер для людини з рівномірно розподіленими модулями // Термоелектрика. – 2016. №4. – С 78 – 83.

7. Ріферт В.Г., Анатичук Л.І., Барабаш П.А., Усенко В.І., Стрикун А.П., Прибила А.В. Покращення методів дистиляції при використанні відцентрових сил для регенерації води під час космічних польотів// Термоелектрика. – 2017. №1. – С. 90 – 108.

8. Анатичук Л.І., Розвер Ю.Ю., Прибила А.В. Експериментальне дослідження термоелектричного теплового насоса рідина-рідина // Термоелектрика. – 2017. №3. – С. 47 – 53.

9. Анатичук Л.І., Прибила А.В. Про граничні можливості термоелектричного теплового насоса рідина-рідина // Термоелектрика. – 2017. №4. – С. 49– 54.

10. Анатичук Л.І., Пасечнікова Н.В., Кобилянський Р.Р., Прибила А.В., Науменко В.О., Задорожний О.С., Назаретян Р.Е., Мирненко В.В. Комп'ютерне моделювання теплових процесів ока людини // Термоелектрика. – 2017. №5. – С. 41 – 58.

11. Анатичук Л.І., Прибила А.В. Про холодильний коефіцієнт термоелектричних теплових насосів рідина-рідина з врахуванням енергії на переміщення теплоносія // Термоелектрика. – 2017. №6. – С. 34– 40.

12. Anatyshchuk L.I., Barabash P.A., Prybyla A.V., Rifert V.G., Solomakha A. Improvement the system of distillation cascade for long-term space flights / 68-th International Astronautical Congress. – 25-29 September 2017. – Adelaide, Australia.

13. Анатичук Л.І., Прибила А.В. Оптимізація системи теплообміну термоелектричного теплового насоса рідина-рідина // Термоелектрика №1, С. 35-42. 2018

14. Прибила А.В. Проектування термоелектричного модуля охолодження детектора рентгенівського випромінювання // Термоелектрика №2, С. 87-92. 2019.

15. Прибила А.В. Підвищення ефективності термоелектричного модуля охолодження детектора рентгенівського випромінювання // Термоелектрика № 6. 2019.

Інформаційні ресурси

1. <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=8538> - сайт дистанційної освіти.

2. <https://its.org/> - міжнародне товариство термоелектриків.

Політика щодо академічної доброчесності

Дотримання політики щодо академічної доброчесності учасниками освітнього процесу при вивченні навчальної дисципліни регламентовано такими документами:

- «Етичний кодекс Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича»

<https://www.chnu.edu.ua/media/jxdfs0zb/etychnyi-kodeks-chernivetskoho-natsionalnoho-universytetu.pdf>

- «Положення про виявлення та запобігання академічному плагіату у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича»

https://www.chnu.edu.ua/media/f5eobm/polozhennya-pro-zapobihannia-plahiatu_2024.pdf

Дотримання академічної доброчесності передбачає:

- самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей);

- посилення на джерела інформації у разі використання не авторських ідей, розробок, тверджень, відомостей і т.п.;

- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;

- надання достовірної інформації про результати власної наукової діяльності, використанні методики досліджень і джерела інформації.

Порушенням академічної доброчесності вважається:

- академічний плагіат – оприлюднення (частково або повністю) наукових (творчих) результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження (творчості) та/або відтворення опублікованих текстів (оприлюднених творів мистецтва) інших авторів без зазначення авторства;

- фабрикація – вигадкування даних чи фактів, що використовуються в наукових дослідженнях;

- фальсифікація – свідомо зміна чи модифікація вже наявних даних, що стосуються наукових досліджень.

За порушення академічної доброчесності здобувачі освіти можуть бути притягнені до такої академічної відповідальності:

- повторне проходження оцінювання (модульний контроль, іспит, залік тощо);

- повторне проходження відповідного освітнього компонента освітньої програми.