

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
“ 09 ” серпня 2024 року

РОБОЧА ПРОГРАМА
навчальної дисципліни

Термоелектричне перетворення енергії
(обов'язкова)

Освітньо-наукова програма Прикладна фізика та наноматеріали

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Рівень вищої освіти Другий (магістерський)

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

Мова навчання Українська

Робоча програма навчальної дисципліни «Термоелектричні генератори» складена відповідно до освітньо-наукової програми «Прикладна фізика та наноматеріали» підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали галузі знань 10 Природничі науки, затвердженої Вченою радою Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича (Протокол № 5 від «29» травня 2023 року).

Розробник:

Константинович Іван Аурелович, доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент.

Викладач:

Константинович Іван Аурелович, доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент.

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: є формування у здобувачів вищої освіти цілісної системи фундаментальних знань з термоелектричного перетворення енергії, а також розвиток умінь розв'язувати комплексні інженерно-фізичні задачі, пов'язані з процесами теплообміну, електропровідності та взаємного перетворення теплової й електричної енергії. Навчальна дисципліна «Термоелектричне перетворення енергії» спрямована на формування у здобувачів вищої освіти системного уявлення про основні закони та явища, що лежать в основі термоелектрики. Особлива увага приділяється використанню термоелектричних і термомагнітних ефектів для аналізу, вдосконалення існуючих та створення нових термоелементів. У рамках курсу розглядаються методи термоелектричного перетворення енергії, зокрема охолодження, генерація електроенергії, термометрія (теплометрія). Також передбачено оцінку перспектив розвитку та практичного застосування термоелектричних явищ на практиці.

Пререквізити. Для ефективного засвоєння даної дисципліни будуть корисні знання, отримані студентом з матеріалів курсу «Термоелектричні генератори». У подальшому знання дисципліни будуть корисні для якісного засвоєння матеріалу з курсу, «Інформаційно-енергетична теорія вимірювань» та написання магістерської роботи.

Завдання вивчення навчальної дисципліни:

- формування у студентів системи базових знань про фізичні процеси, явища, на основі яких створені термоелектричні пристрої та розуміння закономірностей їх протікання;
- вивчення студентами конструкцій та особливостей практичного використання термоелектричних перетворювачів енергії;
- ознайомлення студентів з фізикою термоелектричного перетворення енергії та основними розробками термоперетворювачів відомих компаній світу, основними критеріями вибору перетворювачів для конкретних областей застосування;
- вміння застосувати отримані знання у створенні термоелектричних пристроїв різного призначення;
- вироблення умінь проводити науково-методичний аналіз інформації, планувати науково-навчальну роботу з предмету.

Результати навчання

Відповідно до освітньо-професійної програми «Прикладна фізика та наноматеріали», вивчення дисципліни «Термоелектричне перетворення енергії» сприяє формуванню у здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти таких *компетентностей*:

Загальні компетентності (ЗК)

- ЗК1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК8. Здатність узгоджувати дії та рішення з нормами законодавства та стандартизації.
- ЗК9. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел

Фахові компетентності (ФК)

ФК7. Здатність сприймати новоздобуті знання в області прикладної фізики та наноматеріалів та інтегрувати їх із уже наявними.

Програмних результатів навчання (ПРН):

ПРН1. Фізичних принципів роботи, конструкцій та параметрів нетрадиційних і альтернативних джерел енергії; механічні, гідравлічні і гідродинамічні, хімічні, електрохімічні, електричні і теплові акумулятори енергії; фізичні методи енергозбереження при передачі електричної, теплової, механічної енергії.

ПРН2. Загальну теорію термоелектричних перетворювачів енергії та фізичні основи їх роботи; визначення термодинамічної ефективності перетворення енергії; перехідні процеси в термоелектричних приладах.

ПРН3. Фізичні принципи забезпечення надійності розгалужених, каскадних та складних термоелектричних приладів та прикладні методи прискорених випробувань надійності, прогнозу надійності в стаціонарних і циклічних режимах.

ПРН4. Основні положення інформаційно-енергетичної теорії в застосуванні до термоелектричних вимірювальних елементів; класичні термодинамічні і новітні вихрові

термоелементи; будову, принцип роботи, основні параметри і характеристики термоелектричних вимірювальних елементів як сенсорів приймачів інфрачервоного і лазерного випромінювання, тепломірів, мікрокалориметрів і інших приладів. Особливості застосування термоелектричних вимірювальних елементів, специфіку виконання вимірювань.

ПРН11. Здатність використовувати набуті теоретичні знання і практичні навички у галузі фізики, природничих і технологічних наук.

ПРН12. використовувати електронно-обчислювальну техніку з відповідним програмним забезпеченням, проводити метрологічні вимірювання, здійснювати обробку результатів досліджень.

Опис змісту робочої програми навчальної дисципліни Загальна інформація про розподіл годин

Назва навчальної дисципліни «Термоелектричне перетворення енергії»												
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	5	150	2	15	30	–	–	105	–	залік

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. Узагальнені закони та основні явища термоелектрики, застосування.						
Тема 1. Узагальнені закони електро- та теплопровідності. Кінетичні коефіцієнти.	20	2	4			14
Тема 2. Основні термоелектричні явища. Термоелементи на їх основі.	20	2	4			14
Тема 3. Гальванотермомагнітні явища. Термоелементи в магнітному полі.	20	2	4			14
Тема 4. Термодинаміка незворотних процесів. Динамічні режими.	20	2	4			14
Разом за ЗМ1	80	8	16			56
Змістовий модуль 2. Основні термоелектричні методи перетворення енергії, застосування.						
Тема 5. Термоелектричні методи перетворення енергії (охолодження).	19	2	4			13
Тема 6. Термоелектричні методи перетворення енергії (генерування електрики).	19	2	4			13
Тема 7. Термоелектричні методи перетворення енергії (термометрія та теплометрія).	19	2	4			13
Тема 8. Перспективи розвитку та застосування термоелектричного перетворення енергії.	13	1	2			10
Разом за ЗМ 2	70	7	14			49

Усього годин	150	15	30			105
--------------	-----	----	----	--	--	-----

Тематика лекційних занять з переліком питань

№	Назва теми лекції
1.	<i>Тема 1. Узагальнені закони електро- та теплопровідності. Кінетичні коефіцієнти.</i> Лекція 1. Співвідношення для електропровідності та теплопровідності. Тензор ТермоЕРС.
2.	<i>Тема 2. Основні термоелектричні явища. Термоелементи на їх основі.</i> Лекція 2. Ефект Томсона, Пельтьє, Зеебека. Класифікація термоелементів.
3.	<i>Тема 3. Гальванотермомагнітні явища. Термоелементи в магнітному полі.</i> Лекція 3. Ефект Етінгсгаузена та Нернста-Етінгсгаузенаю. Гіротропні термоелементи.
4.	<i>Тема 4. Термодинаміка незворотних процесів. Динамічні режими.</i> Лекція 4. Генератори та холодильники в динамічних режимах роботи.
5.	<i>Тема 5. Термоелектричні методи перетворення енергії (охолодження).</i> Лекція 5. Термоелектричні охолоджувачі, холодопродуктивність.
6.	<i>Тема 6. Термоелектричні методи перетворення енергії (генерування електрики).</i> Лекція 6. Термоелектричні генератори, розрахунок ККД.
7.	<i>Тема 7. Термоелектричні методи перетворення енергії (термометрія та теплометрія).</i> Лекція 7. Сенсори та тепломіри, використання термоелектрики в метрології.
8.	<i>Тема 8. Перспективи розвитку та застосування термоелектричного перетворення енергії.</i> Лекція 8. Актуальний стан та ринок альтернативних джерел енергії.

Тематика практичних занять з переліком питань

№	Назва теми (завдання)
1.	<i>Тема 1. Узагальнені закони електро- та теплопровідності. Кінетичні коефіцієнти.</i> ПЗ 1. Рішення задач на знаходження кінетичних коефіцієнтів.
2.	<i>Тема 1. Узагальнені закони електро- та теплопровідності. Кінетичні коефіцієнти.</i> ПЗ 2. Рішення задач на співвідношення Томсона. Тепло Томсона.
3.	<i>Тема 2. Основні термоелектричні явища. Термоелементи на їх основі.</i> ПЗ 3. Рішення задач на тему – ефект Пельтьє, коефіцієнт Пельтьє.
4.	<i>Тема 2. Основні термоелектричні явища. Термоелементи на їх основі.</i> ПЗ 4. Рішення задач на тему – ефект Зеебека, коефіцієнт Зеебека.
5.	<i>Тема 3. Гальванотермомагнітні явища. Термоелементи в магнітному полі.</i> ПЗ 5. Розрахунок параметрів гіротропних приладів і систем в генераторному режимі.
6.	<i>Тема 3. Гальванотермомагнітні явища. Термоелементи в магнітному полі.</i> ПЗ 6. Розрахунок параметрів гіротропних приладів і систем в режимі охолодження.
7.	<i>Тема 4. Термодинаміка незворотних процесів. Динамічні режими.</i> ПЗ 7. Розрахунок параметрів термоелектричних генераторів в динамічних режимах.
8.	<i>Тема 4. Термодинаміка незворотних процесів. Динамічні режими.</i> ПЗ 8. Розрахунок параметрів термоелектричних холодильників в динамічних режимах.
9.	<i>Тема 5. Термоелектричні методи перетворення енергії (охолодження).</i> ПЗ 9. Розрахунок параметрів термоелектричних модулів охолодження.
10.	<i>Тема 5. Термоелектричні методи перетворення енергії (охолодження).</i> ПЗ 10. Розрахунок параметрів термоелектричних холодильників.
11.	<i>Тема 6. Термоелектричні методи перетворення енергії (генерування електрики).</i> ПЗ 11. Розрахунок параметрів термоелектричних генераторних модулів.
12.	<i>Тема 6. Термоелектричні методи перетворення енергії (генерування електрики).</i> ПЗ 12. Розрахунок параметрів термоелектричних генераторів.
13.	<i>Тема 7. Термоелектричні методи перетворення енергії (термометрія та теплометрія).</i> ПЗ 13. Розрахунок параметрів термоелектричних модулів для сенсорів тепла.
14.	<i>Тема 7. Термоелектричні методи перетворення енергії (термометрія та теплометрія).</i> ПЗ 14. Розрахунок параметрів термоелектричних тепломірів.

15.	Тема 8. Перспективи розвитку та застосування термоелектричного перетворення енергії. ПЗ 15. Розрахунок питомої вартості термоелектричних приладів та систем.
-----	---

Завдання для самостійної роботи студентів

№	Завдання для самостійної роботи (види роботи)
1.	Аналіз ефективності термоелектричних матеріалів у мікро- та нанорозмірному масштабі.
2.	Вивчення впливу шарової структури на коефіцієнт корисної дії термоелектричних модулів
3.	Перспективи застосування органічних напівпровідників у термоелектричних пристроях.
4.	Проектування автономної системи живлення на основі термоелектричного генератора для віддалених об'єктів
5.	Термоелектричні сенсори в біомедичній діагностиці: особливості дизайну та вимог до матеріалів.
6.	Гібридні енергетичні системи: синергія термоелектрики та фотоелектрики
7.	Дослідження деградації властивостей термоелектричних матеріалів при циклічному тепловому навантаженні.
8.	Застосування термоелектричних генераторів у вихлопних системах транспортних засобів
9.	Моделювання динамічної поведінки термоелектричних холодильників при змінному навантаженні
10.	Вплив наноструктуризації на теплопровідність термоелектричних матеріалів: теоретичний і практичний підхід
11.	Вивчення впливу магнітного поля на роботу термоелементів у гальванотермомагнітних системах
12.	Технології 3D-друку у виробництві термоелектричних пристроїв: можливості та обмеження
13.	Енергонезалежні сенсори на базі термоелектричних ефектів для «розумного дому»
14.	Радіоізотопні термоелектричні генератори: принцип дії та роль у космічних місіях
15.	Вибір матеріалів для термоелектричних пристроїв: компроміс між ефективністю, вартістю та екологічністю

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;

лабораторні заняття: метод проблемного підходу, дослідницький метод.

Самостійна робота студентів передбачає: конспектування лекційного матеріалу; вивчення теоретичного матеріалу лекційних занять та опрацювання літературних джерел, рекомендованих цією програмою; проведення розрахунків та підготовку звітів з лабораторних 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, лабораторні 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 студентів;
- виконання тестових завдань з метою перевірки рівня засвоєння теоретичного матеріалу за навчальними темами;
- усна відповідь студента при здачі лабораторної роботи;
- виконання модульної контрольної роботи (тестування та розв'язання навчально-професійних задач).

Зазначені форми контролю на лекційних та лабораторних заняттях є обов'язковими для всіх студентів.

Форма підсумкового контролю – екзамен.

Критерії оцінювання поточного та підсумкового контролю навчальних досягнень студентів

Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів за результатами поточного контролю

Критеріями оцінювання навчальних досягнень студентів 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 студенти за модулі

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)		Кількість балів	Сумарна к-ть балів
Змістовий модуль №1	Змістовий модуль №2		
T1, T2, T3, T4	T5, T6, T7, T8	(залік)	
32	28	40	100

T1,T2, T3,T4,T5,T6,T7,T8 – теми змістових модулів.

Критерії підсумкового оцінювання результатів навчання студентів з навчальної дисципліни

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

На залік виносяться питання теоретичних знань і практичних навиків студентів з

навчальної дисципліни. Залікові білети містять три теоретичних питання.

Теоретичні питання (пункт 1 і 2 білетів) оцінюються максимальною кількістю балів рівною 20 за наступними критеріями:

- ◆ **16-20 балів:** коли студентом 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 з термоелектричним перетворенням енергії.
- ◆ **11-15 балів:** коли студентом 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 пов'язаних з з термоелектричним перетворенням енергії, окремі моменти не дістали належного з'ясування.
- ◆ **6-10 балів:** коли відповідь студента правильна і становить більше половини матеріалу, що містять питання згідно програми, але присутні істотні помилки у поясненні основних явищ пов'язаних з термоелектричним перетворенням енергії.
- ◆ **0-5 балів:** коли не дано правильні відповіді на поставлені запитання, або відповіді надто поверхові, непослідовні і неточні, виявляють незнання студентом програмного матеріалу, містять грубі помилки, що свідчить про нерозуміння основних понять та явищ пов'язаних з термоелектричним перетворенням енергії.

(пункт 3 білетів)

- ◆ **8-10 балів:** коли студентом 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 термоелектрики.
- ◆ **6-7 балів:** коли студентом 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.
- ◆ **4-5 балів:** коли відповідь студента правильна і становить більше половини матеріалу, що містять питання згідно програми, але присутні істотні помилки у поясненні основних явищ термоелектрики.
- ◆ **0-3 балів:** коли не дано правильні відповіді на поставлені запитання, або відповіді надто поверхові, непослідовні і неточні, виявляють незнання студентом програмного матеріалу, містять грубі помилки, що свідчить про нерозуміння основних понять та явищ термоелектрики.

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Рейтингова оцінка з дисципліни	Оцінка за шкалою ЄКТС	Оцінка за національною шкалою
90-100	A	5 (відмінно)
80-89	B	4 (добре)
70-79	C	4 (добре)
60-69	D	3 (задовільно)
50-59	E	3 (задовільно)
35-49	Fx	2 (незадовільно) з можливістю повторного складання
1-34	F	2 (незадовільно) з обов'язковим самостійним повторним опрацюванням освітнього компонента до перескладання

Критерії підсумкової оцінки як показника результатів вивчення навчальної дисципліни

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

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

<p>«А»</p> <p>90-100 балів</p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<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 підготовки до лабораторних робіт; – належним чином виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю або допускав при усних відповідях та тестуванні окремі незначні неточності.
<p>«В»</p> <p>80-89 балів</p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – робив узагальнення та висновки з окремих питань; – виконав усі лабораторні роботи; – 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.
<p>«С»</p> <p>70-79 балів</p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності при усних відповідях, тестуванні; – не проявляв належної активності на лекційних та лабораторних заняттях, недостатньо використовував додаткову літературу; неохайно виконував завдання лабораторних робіт.
<p>«D»</p> <p>60-69</p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<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 лабораторних заняттях та старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував додаткову літературу; – виконав не всі завдання для самостійної роботи, або не виконав хоча б одну лабораторну роботу.
<p>«E»</p> <p>50-59 балів</p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<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 лабораторних заняттях, старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував основну та додаткову літературу; – виконав не всі лабораторні роботи; – не належним чином виконував індивідуальні завдання.
<p>«Fx»</p>	<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;

35-49 балів ставиться у разі, якщо студент:	– частково виконав завдання для самостійної роботи; – допускав принципові помилки під час виконання завдань; – не виконував лабораторні роботи; – не виконав завдання модульного контролю.
«F» 1-34 балів ставиться у разі, якщо студент:	– 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 виконував лабораторні роботи; – 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 студентів з навчальної дисципліни**
Питання для поточного контролю

Модуль 1

1. Поясніть фізичну суть зв'язку між електропровідністю та теплопровідністю згідно з законом Відемана-Франца. Як цей зв'язок змінюється для напівпровідників у порівнянні з металами?
2. Як впливають домішки та дефекти кристалічної решітки на кінетичні коефіцієнти термоелектричних матеріалів? Наведіть приклади.
3. Порівняйте ефекти Зеєбека, Пельтьє та Томсона з точки зору принципу збереження енергії. У яких випадках вони можуть бути взаємно компенсовані?
4. Як впливає температура на коефіцієнт Зеєбека в напівпровідникових термоелементах? Побудуйте якісну залежність.
5. Опишіть будову та принцип роботи термобатарей з послідовним з'єднанням термопар. Які її переваги перед однією термопарою?
6. Поясніть принцип виникнення гальваноманітних ефектів у термоелектричних системах. Як вони впливають на ККД термогенератора в магнітному полі?
7. Як можна оптимізувати конструкцію термоелектричного генератора для максимальної ефективності при змінному тепловому навантаженні?
8. Обґрунтуйте вибір матеріалів для охолоджувальних термоелектричних модулів в умовах високої температури навколишнього середовища.
9. Наведіть приклади використання термоелектричних модулів у медичних приладах. Які вимоги висуваються до чутливості й стабільності таких модулів?
10. Які перспективні напрямки досліджень у галузі наноструктурованих матеріалів для підвищення ефективності термоелектричних перетворювачів?
11. Як можна оцінити ефективність термоелектричного модуля в умовах змінного теплового потоку? Які параметри при цьому вимірюються?
12. Як впливає охолодження термоелемента на зменшення шуму в електронних пристроях? Які існують межі такого підходу?
13. Які методи термомодельовання використовуються для проєктування складних термоелектричних систем (наприклад, у космічній техніці)?
14. Чому в термоелектричних генераторах важливо забезпечити теплову ізоляцію холодного боку? Які матеріали для цього використовують?
15. Які критерії враховуються при виборі термоелектричних матеріалів для роботи в екстремальних умовах (високий тиск, температура, радіація)?
16. Як використовується термоелектричне перетворення для рекуперації тепла у вихлопних

системах автомобілів?

17. У чому полягає особливість двоетапного (каскадного) охолодження з використанням ефекту Пельтьє? Які проблеми при цьому виникають?
18. Які сучасні комп'ютерні засоби використовуються для розрахунку та оптимізації термоелектричних пристроїв? Наведіть приклади ПЗ.
19. Як впливають фононні та електронні процеси на теплопровідність у наноструктурованих термоелектричних матеріалах?
20. Які існують методики експериментального вимірювання коефіцієнта Зеєбека та як забезпечити їх точність у лабораторних умовах?
21. Які методи охолодження, альтернативні ефекту Пельтьє, можуть поєднуватися з термоелектричними системами?
22. Як впливають цикли теплового навантаження (нагрівання/охолодження) на довговічність термоелектричних матеріалів?
23. Які експериментальні методи використовуються для виявлення деградації або старіння термоелементів у польових умовах?
24. Як термоелектричні технології інтегруються в сучасні концепції «розумного будинку» та енергонезалежних пристроїв?
25. У чому полягають переваги та виклики використання 3D-друку для створення прототипів термоелектричних пристроїв?

Модуль 2

1. Як зміниться напрям термоелектричного струму, якщо змінити полярність термоелемента або напрям градієнта температури?
2. У чому полягає відмінність між роботою термоелектричного генератора та холодильника з точки зору термодинаміки незворотних процесів?
3. Поясніть, як впливає контактний опір між матеріалами на загальну ефективність термоелектричного модуля. Як його зменшити?
4. Яке фізичне значення має величина ZT (термоелектрична добротність)? Як вона впливає на вибір матеріалів для термоелементів?
5. Які особливості враховуються при моделюванні динамічного режиму роботи термоелектричних пристроїв у мобільних або змінних умовах?
6. Як впливають розміри термоелемента на ефективність теплопереносу та електропровідність? Чи є оптимальні геометричні параметри?
7. Наведіть приклади побутових або промислових пристроїв, у яких реалізовано ефект Пельтьє. У чому переваги та недоліки таких рішень?
8. Як термоелектричні сенсори реагують на неоднорідне теплове поле? Які похибки можуть виникнути при цьому?
9. Визначте основні переваги використання наноструктурованих матеріалів у порівнянні з традиційними термоелектриками.
10. Розгляньте можливість інтеграції термоелектричних генераторів у системи відновлюваної енергетики. Які технічні виклики при цьому виникають?
11. Яким чином можна підвищити ефективність термоелектричного перетворення за рахунок градієнтної або шарової структури матеріалу?
12. Як змінюється робота термоелектричного пристрою при його мініатюризації до мікро- або нанорозмірів? Які ефекти стають домінуючими?
13. Поясніть, як використання органічних напівпровідників може вплинути на вартість і екологічність термоелектричних пристроїв.
14. Які особливості проектування термоелектричних сенсорів для біомедичних застосувань (наприклад, для вимірювання температури тіла)?
15. Чому в космічній техніці часто використовують радіоізотопні термоелектричні

- генератори (PITEG)? У чому їхні переваги?
16. Які методи охолодження, альтернативні ефекту Пельтьє, можуть поєднуватися з термоелектричними системами?
 17. Як впливають цикли теплового навантаження (нагрівання/охолодження) на довговічність термоелектричних матеріалів?
 18. Які експериментальні методи використовуються для виявлення деградації або старіння термоелементів у польових умовах?
 19. Як термоелектричні технології інтегруються в сучасні концепції «розумного будинку» та енергонезалежних пристроїв?
 20. У чому полягають переваги та виклики використання 3D-друку для створення прототипів термоелектричних пристроїв?
 21. Як можна зменшити теплові втрати в термоелектричних модулях без зменшення теплового градієнта?
 22. Які є приклади гібридних систем, що поєднують термоелектричні та фотогальванічні ефекти? У чому перевага таких систем?
 23. У чому полягає принципова різниця між вимірюванням температури за допомогою термопар і цифрового термодатчика?
 24. Розгляньте сценарій аварійного охолодження електроніки з використанням ефекту Пельтьє. Які обмеження має такий підхід?
 25. Як глобальні тенденції у сфері енергоефективності впливають на розвиток та фінансування термоелектричних технологій?

Питання для підсумкового контролю

1. Поясніть фізичну суть зв'язку між електропровідністю та теплопровідністю згідно з законом Відемана-Франца. Як цей зв'язок змінюється для напівпровідників у порівнянні з металами?
2. Як впливають домішки та дефекти кристалічної решітки на кінетичні коефіцієнти термоелектричних матеріалів? Наведіть приклади.
3. Порівняйте ефекти Зеєбека, Пельтьє та Томсона з точки зору принципу збереження енергії. У яких випадках вони можуть бути взаємно компенсовані?
4. Як впливає температура на коефіцієнт Зеєбека в напівпровідникових термоелементах? Побудуйте якісну залежність.
5. Опишіть будову та принцип роботи термобатареї з послідовним з'єднанням термопар. Які її переваги перед однією термопарою?
6. Поясніть принцип виникнення гальваномагнітних ефектів у термоелектричних системах. Як вони впливають на ККД термогенератора в магнітному полі?
7. Як можна оптимізувати конструкцію термоелектричного генератора для максимальної ефективності при змінному тепловому навантаженні?
8. Обґрунтуйте вибір матеріалів для охолоджувальних термоелектричних модулів в умовах високої температури навколишнього середовища.
9. Наведіть приклади використання термоелектричних модулів у медичних приладах. Які вимоги висувуються до чутливості й стабільності таких модулів?
10. Які перспективні напрямки досліджень у галузі наноструктурованих матеріалів для підвищення ефективності термоелектричних перетворювачів?
11. Як зміниться напрям термоелектричного струму, якщо змінити полярність термоелемента або напрям градієнта температури?
12. У чому полягає відмінність між роботою термоелектричного генератора та холодильника з точки зору термодинаміки незворотних процесів?
13. Поясніть, як впливає контактний опір між матеріалами на загальну ефективність

- термоелектричного модуля. Як його зменшити?
14. Яке фізичне значення має величина ZT (термоелектрична добротність)? Як вона впливає на вибір матеріалів для термоелементів?
 15. Які особливості враховуються при моделюванні динамічного режиму роботи термоелектричних пристроїв у мобільних або змінних умовах?
 16. Як впливають розміри термоелемента на ефективність теплопереносу та електропровідність? Чи є оптимальні геометричні параметри?
 17. Наведіть приклади побутових або промислових пристроїв, у яких реалізовано ефект Пельтьє. У чому переваги та недоліки таких рішень?
 18. Як термоелектричні сенсори реагують на неоднорідне теплове поле? Які похибки можуть виникнути при цьому?
 19. Визначте основні переваги використання наноструктурованих матеріалів у порівнянні з традиційними термоелектриками.
 20. Розгляньте можливість інтеграції термоелектричних генераторів у системи відновлюваної енергетики. Які технічні виклики при цьому виникають?
 26. Як можна оцінити ефективність термоелектричного модуля в умовах змінного теплового потоку? Які параметри при цьому вимірюються?
 27. Як впливає охолодження термоелемента на зменшення шуму в електронних пристроях? Які існують межі такого підходу?
 28. Які методи термомоделювання використовуються для проектування складних термоелектричних систем (наприклад, у космічній техніці)?
 29. Чому в термоелектричних генераторах важливо забезпечити теплову ізоляцію холодного боку? Які матеріали для цього використовують?
 30. Які критерії враховуються при виборі термоелектричних матеріалів для роботи в екстремальних умовах (високий тиск, температура, радіація)?
 31. Як використовується термоелектричне перетворення для рекуперації тепла у вихлопних системах автомобілів?
 32. У чому полягає особливість двоетапного (каскадного) охолодження з використанням ефекту Пельтьє? Які проблеми при цьому виникають?
 33. Які сучасні комп'ютерні засоби використовуються для розрахунку та оптимізації термоелектричних пристроїв? Наведіть приклади ПЗ.
 34. Як впливають фононні та електронні процеси на теплопровідність у наноструктурованих термоелектричних матеріалах?
 35. Які існують методики експериментального вимірювання коефіцієнта Зеєбека та як забезпечити їх точність у лабораторних умовах?
 36. Яким чином можна підвищити ефективність термоелектричного перетворення за рахунок градієнтної або шарової структури матеріалу?
 37. Як змінюється робота термоелектричного пристрою при його мініатюризації до мікро- або нанорозмірів? Які ефекти стають домінуючими?
 38. Поясніть, як використання органічних напівпровідників може вплинути на вартість і екологічність термоелектричних пристроїв.
 39. Які особливості проектування термоелектричних сенсорів для біомедичних застосувань (наприклад, для вимірювання температури тіла)?
 40. Чому в космічній техніці часто використовують радіоізотопні термоелектричні генератори (РІТЕГ)? У чому їхні переваги?
 41. Поясніть, чому зменшення теплопровідності без зниження електропровідності є ключовим викликом у розробці термоелектричних матеріалів.
 42. Яким чином градієнт температури в багатошарових структурах може викликати паразитні термоелектричні ефекти?

43. Як співвідношення між внутрішнім опором термоелектричного модуля та навантаженням впливає на його ефективність?
44. Обґрунтуйте доцільність використання термоелектричних генераторів у віддалених районах або аварійних системах живлення.
45. Які труднощі виникають при сертифікації нових термоелектричних матеріалів для медичних застосувань?
46. Як можна зменшити теплові втрати в термоелектричних модулях без зменшення теплового градієнта?
47. Які є приклади гібридних систем, що поєднують термоелектричні та фотогальванічні ефекти? У чому перевага таких систем?
48. У чому полягає принципова різниця між вимірюванням температури за допомогою терморезистора і цифрового термодатчика?
49. Розгляньте сценарій аварійного охолодження електроніки з використанням ефекту Пельтьє. Які обмеження має такий підхід?
50. Як глобальні тенденції у сфері енергоефективності впливають на розвиток та фінансування термоелектричних технологій?
51. В чому полягає ефект Пельтьє? Запишіть формулу для тепла Пельтьє.

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/Zaykf41y/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. Вихор Л. Моделювання характеристик термоелектричного перетворювача: Лекція на Літній Термоелектричній школі, 30 червня, 2024, Краків, Польща // Термоелектрика. – 2024. – № 3. – С. 5–22. – DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-3-5-22>.
2. Термоелектричні генератори: Конспект лекцій.- Частина I / Укл.: Л.Т.Струтинська, В.Я. Михайловський. – Чернівці: Рута, 2008 – 80 с.
3. Термоелектричні генератори: Конспект лекцій, частина II / Укл.: Л.Т.Струтинська, В.Я. Михайловський. – Чернівці: Рута, 2009 – 88 с.
4. Термоелектричні генератори : методичні рекомендації до лабораторних робіт / укл.: Л. Т. Струтинська, В. Я. Михайловський. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2010. – 45 с.

Додаткова література

1. I.A. Konstantynovych, R.V. Kuz, O.M. Makhanets, R.G. Cherkez (2023) Sectional generator thermoelements in a magnetic field. Journal of Thermoelectricity, (1), 75–81. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2023-1-75-81>
2. V.V. Lysko, I.A. Konstantynovych, M.V. Havryliuk, O.S. Rusnak. (2024) Experimental studies on the parameters of thermoelectric generator energy converters with different height of legs. Journal of Thermoelectricity, (4), 50-60. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-4-50-60>
3. L.I. Anatyshchuk, A.V. Prybyla, M.M. Korop, Yu.I. Kiziuk, Konstantynovych I.A. (2024) Thermoelectric power sources using low-grade heat (Part 3). Journal of Thermoelectricity, (4), 61-68. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-4-61-68>
4. L.I. Anatyshchuk, V.V. Lysko, I.A. Konstantynovych, M.V. Havryliuk. (2024) Universal thermoelectric generator with heat removal by water tanks, Journal of Thermoelectricity (3), 74-85. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-3-74-85>

5. V.V. Lysko, I.A. Konstantynovych, R.V. Kuz, T.V. Derevianko. (2024) Possibilities of reducing the specific cost of thermoelectric generator energy converters Journal of Thermoelectricity, (3), 44-52. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-3-44-52>
6. L.I. Anatyshuk, A.V. Prybyla, M.M. Korop, Yu.I. Kiziuk, Konstantynovych I.A. (2024) Thermoelectric power sources using low-grade heat (Part 2). Journal of Thermoelectricity, (3), 36-43. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-3-36-43>
7. L.I. Anatyshuk, A.V. Prybyla, M.M. Korop, Yu.I. Kiziuk, Konstantynovych I.A. (2024) Thermoelectric power sources using low-grade heat (Part 1). Journal of Thermoelectricity, (1-2), 90-96. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-1-2-90-96>
8. I.A. Konstantynovych, M.M. Ivanochko, K.O. Kadelnyk (2024) Design of a portable universal thermoelectric generator. Journal of Thermoelectricity, (1-2), 78-89. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-1-2-78-89>

Інформаційні ресурси

1. Енергоефективність [Електронний ресурс] // Вікіпедія. – 2024. – Режим доступу: ермоелектричний генератор [Електронний ресурс] // **Вікіпедія – вільна енциклопедія.** – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Термоелектричний_генератор – Назва з екрану. – Дата звернення: 23.04.2025.
2. Thermoelectric Generator [Електронний ресурс] // **Wikipedia – The Free Encyclopedia.** – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_generator – Назва з екрану. – Дата звернення: 23.04.2025.
3. Інститут термоелектрики НАН та МОН України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ite.ite.cv.ua> – Назва з екрану. – Дата звернення: 23.04.2025.
4. Термоелектричні генератори для автономного живлення [Електронний ресурс] // **Електронна бібліотека ІФНТУНГ.** – Режим доступу: <https://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/7339> – Назва з екрану. – Дата звернення: 23.04.2025.

1. 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/jxpbs0zb/etychnyi-kodeks-chernivetsko-ho-natsionalno-ho-universytetu.pdf>

- «Положення про виявлення та запобігання академічного плагіату у Чернівецькому національному університету імені Юрія Федьковича»

https://www.chnu.edu.ua/media/f5eleobm/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);
- посилання 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.