

**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**

Узагальнена теорія перетворення енергії  
(обов'язкова)

<b>Освітньо-наукова програма</b>	<u>Прикладна фізика та наноматеріали</u>
<b>Спеціальність</b>	<u>105 Прикладна фізика та наноматеріали</u>
<b>Галузь знань</b>	<u>10 Природничі науки</u>
<b>Рівень вищої освіти</b>	<u>Другий (магістерський)</u>
<u>Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук</u>	
<b>Мова навчання</b>	<u>Українська</u>

**Чернівці 2024 рік**

Робоча програма навчальної дисципліни **«Узагальнена теорія перетворення енергії»** 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:

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

 Козарський І.П.

## Пояснювальна записка

### Мета навчальної дисципліни:

формування у студентів знань і умінь, що дозволять опанування студентами підходів щодо, розвитку та перспектив термоелектрики, розумінні студентами єдності електричних, теплових та термоелектричних процесів, освоєнні методик управління термоелектричними струмами та винайденні нових типів термоелементів на основі використання закону термоелектричної індукції, здобутті студентами знань з властивостей термоелементів для їх використання у створенні термоелектричної апаратури.

### Пререквізити.

Для ефективного засвоєння даної дисципліни будуть корисні знання, отримані студентом з матеріалів курсів, передбачених ОПП «Електрика та магнетизм» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, основні векторного і тензорного аналізу, фізичні основи перетворення енергії. У подальшому знання дисципліни будуть корисні для якісного засвоєння матеріалу з курсу «ППО5 Термоелектричне перетворення енергії», «ППВ6 Елементна база термоелектрики».

### Завдання вивчення навчальної дисципліни:

- розуміти загальний підхід та розуміння логіки розвитку термоелектрики, її перспектив і впливу на науково-технічний прогрес;
- знати основні термоелектричні ефекти;
- розуміти основи узагальненої теорії термоелектричного перетворення енергії;

### Результати навчання

Відповідно до освітньо-професійної програми, вивчення дисципліни «Узагальнена теорія 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.
- ЗК4. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- ЗК5. Здатність вести дослідницьку діяльність, включаючи аналіз проблем, постановку цілей і завдань, вибір способу й методів дослідження, а також оцінку їх якості.
- ЗК6. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК9. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел

#### Фахові компетентності (ФК)

- ФК1. Здатність використовувати закони й принципи прикладної фізики та наноматеріалів у поєднанні із потрібними вищого рівня математичними інструментами для опису природних явищ.
- ФК2. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем на абстрактному рівні шляхом декомпозиції їх на складові, які можна дослідити окремо в їх більш та менш важливих аспектах.
- ФК3. Здатність будувати відповідні моделі природних явищ, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи.

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

ФК9. Здатність ефективно використовувати на практиці різні теорії в області навчання.

ФК15. Здатність брати участь у роботах зі складання наукових звітів та у впровадженні результатів проведених досліджень та розробок.

В результаті вивчення навчальної дисципліни студенти повинні:

*Знати та розуміти:* узагальнені рівняння тепло- та електро- провідності для термоелектричного середовища, елементну базу термоелектрики та сучасні тенденції розвитку термоелектрики.

*вміти:* застосовувати закон термоелектричної індукції для опису та винайдення нових типів термоелементів; використовувати елементну базу термоелектрики для розв'язку практичних задач термоелектрики.

*володіти:* методами теорії розрахунку термоелектричних матеріалів та пристроїв на їх основі, елементною базою термоелектрики для розв'язку її практичних задач.

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

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

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;

ПРН14. Використовувати набуті теоретичні знання й практичні навички для вирішення прикладних задач у галузі фізики.

## Опис змісту робочої програми навчальної дисципліни

### Загальна інформація про розподіл годин

Назва навчальної дисципліни <u>Узагальнена теорія перетворення енергії</u>												
Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	змістовних модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
Денна	6	11	4.0	120	2	32	-	-	-	88	-	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
<b>Змістовий модуль 1. Вступ до теорії термоелектричного перетворення енергії</b>						
Тема 1. Вступ. . Проблеми розвитку термоелектрики	14	4				10
Тема 2 . Узагальнена теорія термоелектричного перетворення енергії	24	6				18
Тема 3. Елементна база термоелектрики.	32	10				22
Разом за ЗМ1	70	20				50
<b>Змістовий модуль 2. Сучасні термоелектричні матеріали та перспективи їх використання</b>						
Тема 1. Функціонально-градієнтні матеріали - як етап розвитку термоелектрики.	16	6				10
Тема 2. Наноструктури у термоелектриці	20	2				18
Тема 3. Перспективи практичних застосувань термоелектрики.	14	4				10
Разом за ЗМ 2	50	12				38
<b>Усього годин</b>	120	32				88

### Тематика лекційних занять з переліком питань

№	Назва теми лекції
1.	Перший етап розвитку термоелектрики. Відкриття термоелектрики Зеєбеком. Особливості відкриття. Термомагнетизм. Роль Ерстеда у відкритті термоелектрики. Генератор Ома і відкриття закону Ома. Відкриття ефекту Пельтьє. Теоретичне передбачення ефекта Томсона.
2.	Другий етап розвитку термоелектрики. Досліди Альтенктра. Ефективність термоелектричних матеріалів. Використання у термоелектриці напівпровідників. Роль Іюффе у розвитку термоелектрики. Роль Голдсмита у розвитку термоелектрики. Основні механізми покращення добротності матеріалів та їх реалізація. Термоелектричні матеріали. Практичне застосування термоелектрики. Криза у термоелектриці.
3.	Термопара як випадкова модель термоелектричного перетворювача енергії. Загальний стан фізики у час відкриття термопари. Загальні підходи у теплоенергетиці. Закони термодинаміки. Цикли Карно. Загальні підходи у електриці. Закон Фарадея.
4.	Узагальнені підходи у описі термоелектричних явищ. Рівняння Максвела для неізотермічних процесів.
5.	Узагальнена модель термоелектричного перетворення енергії. Узагальнення закону Фарадея. Закон термоелектричної індукції. Про кореляцію термоелектрики та електротехніки. Таблиця термоелектричних перетворень. Стан та перспективи потенційних можливостей термоелектричного перетворення енергії.

6.	Обернені задачі термоелектрики. Методика винайдення нових типів термоелементів. Модель узагальненого термоелектричного перетворювача енергії. Вихрові струми та методи їх керуванням. Друге винайдення термопари.
7.	Класифікація термоелементів. Вихрові термоелементи. Основні співвідношення для опису вихрових термоелементів. Кільцевий термоелемент. Спіральний термоелемент. Анізотропний прямокутний термоелемент поздовжнього типу. Подвійний круговий анізотропний термоелемент. Анізотропний прямокутний стрижневий термоелемент поздовжнього типу. Анізотропний спіральний термоелемент поздовжнього типу. Неоднорідний прямокутний термоелемент. Неоднорідний прямокутний спіральний термоелемент. Сотовий анізотропний термоелемент.
8.	Термопари. Основні співвідношення. Термопари з активними вітками. Термопари з пасивною віткою. Складова термопари. Функціонально-градієнтні термопари. Термопари з боковим теплообміном. Проникні термопари.
9.	Анізотропні термоелементи. Основні співвідношення. Анізотропний термоелемент продольного типу. Анізотропний термоелемент поперечного типу. Штучно-анізотропні термоелементи. Косослоїстий термоелемент. Евтектичні термоелементи.
10.	Короткозамкнені термоелементи. Основні співвідношення. Коротко- замкнутий анізотропний термоелемент. Термоелемент з косим замиканням. Подвійний анізотропний коротко-замкнутий термоелемент. Двуслойний анізотропний короткозамкнутий термоелемент.
11.	Термоелементи в магнітному полі. Основні співвідношення. Прямокутний термоелемент Нернста-Еттінсгаузена. Прямокутний термоелемент Еттінсгаузена. Спіральний термоелемент Нернста-Еттінсгаузена з радіальними тепловим потоком. Термоелемент Еттінсгаузена оптимальної форми. Спіральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним тепловим потоком.
12.	Спіральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним магнітним потоком. Рулонний охолоджуючий гальваномагнітний термоелемент з радіальним магнітним потоком. Спіральні гальваномагнітні охолоджуючі термоелементи з живленням змінним струмом. Коротко замкнуті термоелементи в магнітному полі. Евтектичні термоелементи в магнітному полі. Магнітотермоелектричні термоелементи. Термопарні термоелементи в магнітному полі.
13.	Термоелементи з великим градієнтом температури. Основні співвідношення. Термоелемент з великим градієнтом температури в прямокутній пластині. Термоелемент з пластини з вістрям. Лінійний термоелемент. Спіральний термоелемент з великим градієнтом температури.
14.	П'єзотермоелементи. Основні співвідношення. Термопарний п'єзотермоелемент. Анізотропний п'єзотермоелемент. Спіральний анізотропний п'єзотермоелемент.
15.	Функціонально-градієнтні матеріали. Генератори та холодильники з функціонально-градієнтних матеріалів.
16.	Функціонально-градієнтні матеріали у магнітному полі. Основні закономірності та величини зростання ефективності. Технологічні проблеми та їх розв'язок.

### Завдання для самостійної роботи студентів

№	Завдання для самостійної роботи (види роботи) – <i>реферати</i>
1	Вивести вирази ЕРС, напруги, ККД для термопар з активними вітками.
2	Вивести вирази ЕРС, напруги, ККД для анізотропного термоелементу.
3	Термоелементи в магнітному полі.
4	Короткозамкнені термоелементи.
5	Функціонально-градієнтні матеріали у магнітному полі.
6	Моделі, фізичні ефекти, методи досягнення екстремальної добротності.
7	Матеріали з квантовими ямами. Ниткові матеріали.
8	Вивести вирази для розрахунку температурного поля проникної термопари.
9	Комбіновані теплові машини з низькотемпературним термоелектричним каскадом.
10	Відновлювальна енергетика майбутнього.
11	Інформаційна термоелектрика.
12	Основні закономірності та величини зростання ефективності. Технологічні проблеми та їх розв'язок.
13	Моделі, фізичні ефекти, методи досягнення екстремальної добротності. Матеріали з квантовими ямами.
14	Ниткові матеріали. Багатошарові плівки.
15	Бар'єрні ефекти. Ефекти вакуумної емісії
16	Комбінована термо- та оптоелектроніка.
17	Медико-біологічна термоелектрика
18	Комбінована термо- та мікроелектроніка.

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;

*Самостійна робота* студентів передбачає: конспектування лекційного матеріалу; вивчення теоретичного матеріалу лекційних занять та опрацювання літературних джерел, рекомендованих цією програмою.

**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, 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;
- *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;
- виконання модульної контрольної роботи .

Зазначені форми контролю на лекційних 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 (екзамен)	Сумарна к-ть балів
Змістовий модуль №1	Змістовий модуль №2		
T1,T2, T3	T1,T2,T3		
<b>30</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

**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 знаннями навчальної дисципліни.

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

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

- ◆ **13-15 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 електромагнетизму у природі і вимірювальних пристроях.
- ◆ **9-12 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.

◆ **6-8 балів:** коли відповідь студента 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 студентом програмного матеріалу, містять грубі помилки, що свідчить про нерозуміння основних понять та явищ електромагнетизму.

### Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Рейтингова оцінка з дисципліни	Оцінка за шкалою ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	Залік за національною шкалою
90-100	A	5 (відмінно)	Зараховано
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	Не зараховано
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 (екзамен).

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

<p>«A»</p> <p><b>90-100 балів</b></p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– постійно готувався до занять та згідно з програмою дисципліни;</li> <li>– глибоко та всебічно розкривав зміст питань;</li> <li>– показав уміння формулювати висновки, узагальнювати та аналізувати навчальний матеріал;</li> <li>– показав уміння вільно виконувати завдання;</li> <li>– переконливо та логічно викладав матеріал;</li> <li>– належним чином виконував завдання для самостійної роботи;</li> <li>– виконав завдання модульного контролю або допускав при усних відповідях та тестуванні окремі незначні неточності.</li> </ul>
<p>«B»</p> <p><b>80-89 балів</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань;</li> <li>– робив узагальнення та висновки з окремих питань;</li> <li>– виконував завдання для самостійної роботи;</li> <li>– виконав завдання модульного контролю, але недостатньо використовував</li> </ul>

<p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<p>додаткову літературу;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– при усних відповідях не досить повно і аргументовано викладав матеріал, а при тестуванні мали місце окремі неточності;</li> <li>– не проявив творчий підхід до виконання індивідуальних завдань та наукових повідомлень.</li> </ul>
<p><b>«C»</b> <b>70-79 балів</b></p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань;</li> <li>– формулював висновки з окремих питань практичних занять;</li> <li>– виконував завдання для самостійної роботи;</li> <li>– виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності при усних відповідях, тестуванні;</li> <li>– не проявляв належної активності на лекційних, недостатньо використовував додаткову літературу.</li> </ul>
<p><b>«D»</b> <b>60-69</b></p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– відповідав на окремі питання, які обговорювалися;</li> <li>– формулював висновки з окремих питань;</li> <li>– виконував завдання для самостійної роботи;</li> <li>– виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності;</li> <li>– не проявляв належної активності та старанності при виконанні завдань для самостійної роботи;</li> <li>– недостатньо використовував додаткову літературу, не належним чином виконав практичні завдання;</li> <li>– виконав не всі завдання для самостійної роботи.</li> </ul>
<p><b>«E»</b> <b>50-59 балів</b></p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– відповідав на окремі питання, які обговорювалися;</li> <li>– виконував окремі завдання для самостійної роботи;</li> <li>– виконав завдання модульного контролю, але допускав неточності при усних відповідях (будуючи свою відповідь на звичайному повторенні навчального матеріалу без його осмислення), тестуванні;</li> <li>– не проявляв належної активності на заняттях, старанності при виконанні завдань для самостійної роботи;</li> <li>– недостатньо використовував основну та додаткову літературу;</li> <li>– не належним чином виконував індивідуальні завдання.</li> </ul>
<p><b>«Fx»</b> <b>35-49 балів</b></p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися;</li> <li>– допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях;</li> <li>– поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою;</li> <li>– частково виконав завдання для самостійної роботи;</li> <li>– допускав принципові помилки під час виконання завдань;</li> <li>– не виконав завдання модульного контролю.</li> </ul>
<p><b>«F»</b> <b>1-34 балів</b></p> <p>ставиться у разі, якщо студент:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися;</li> <li>– допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях, тестуванні;</li> <li>– поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою;</li> <li>– не виконав завдання для самостійної роботи;</li> <li>– на підсумковому занятті не вмів відтворити зміст окремих питань, передбачених програмою дисципліни;</li> <li>– не виконав завдання модульного контролю.</li> </ul>

**Перелік питань для самоконтролю та контролю навчальних досягнень студентів з навчальної дисципліни**

*Питання для поточного контролю*

## Модуль 1

1. Перший етап розвитку термоелектрики. Відкриття термоелектрики Зеєбеком. Особливості відкриття. Термомагнетизм. Роль Ерстеда у відкритті термоелектрики. Генератор Ома і відкриття закону Ома. Відкриття ефекту Пельтьє. Теоретичне передбачення ефекта Томсона.
2. Другий етап розвитку термоелектрики. Досліди Альтенктра. Ефективність термоелектричних матеріалів. Використання у термоелектриці напівпровідників. Роль Іоффе у розвитку термоелектрики. Роль Голдсмита у розвитку термоелектрики. Основні механізми покращення добротності матеріалів та їх реалізація. Термоелектричні матеріали. Практичне застосування термоелектрики. Криза у термоелектриці.
3. Термопара як випадкова модель термоелектричного перетворювача енергії. Загальний стан фізики у час відкриття термопари. Загальні підходи у теплоенергетиці. Закони термодинаміки. Цикли Карно. Загальні підходи у електриці. Закон Фарадея.
4. Узагальнені підходи у описі термоелектричних явищ. Рівняння Максвела для неізотермічних процесів.
5. Узагальнена модель термоелектричного перетворення енергії. Узагальнення закону Фарадея. Закон термоелектричної індукції. Про кореляцію термоелектрики та електротехніки. Таблиця термоелектричних перетворень. Стан та перспективи потенційних можливостей термоелектричного перетворення енергії.
5. Обернені задачі термоелектрики. Методика винайдення нових типів термоелементів. Модель узагальненого термоелектричного перетворювача енергії. Вихрові струми та методи їх керування. Друге винайдення термопари.
6. Класифікація термоелементів. Вихрові термоелементи. Основні співвідношення для опису вихрових термоелементів. Кільцевий термоелемент. Спіральний термоелемент. Анізотропний прямокутний термоелемент поздовжнього типу. Подвійний круговий анізотропний термоелемент. Анізотропний прямокутний стрижневий термоелемент поздовжнього типу. Анізотропний спіральний термоелемент поздовжнього типу. Неоднорідний прямокутний термоелемент. Неоднорідний прямокутний спіральний термоелемент. Сотовий анізотропний термоелемент.
7. Термопари. Основні співвідношення. Термопари з активними вітками. Термопари з пасивною віткою. Складова термопари. Функціонально-градієнтні термопари. Термопари з боковим теплообміном. Проникні термопари.
8. Анізотропні термоелементи. Основні співвідношення. Анізотропний термоелемент продольного типу. Анізотропний термоелемент поперечного типу. Штучно-анізотропні термоелементи. Косолоїстий термоелемент. Евтектичні термоелементи.
9. Короткозамкнені термоелементи. Основні співвідношення. Коротко- замкнутий анізотропний термоелемент. Термоелемент з косим замиканням. Подвійний анізотропний коротко- замкнутий термоелемент. Двуслойний анізотропний короткозамкнутий термоелемент.
10. Термоелементи в магнітному полі. Основні співвідношення. Прямокутний термоелемент Нернста-Еттінсгаузена. Прямокутний термоелемент Еттінсгаузена. Спіральний термоелемент Нернста-Еттінсгаузена з радіальними тепловим потоком. Термоелемент Еттінсгаузена оптимальної форми. Спіральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним тепловим потоком.
11. Спіральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним магнітним потоком. Рулонний охолоджуючий гальваномагнітний термоелемент з радіальним магнітним потоком. Спіральні гальваномагнітні охолоджуючі термоелементи з живленням змінним струмом. Коротко замкнуті термоелементи в магнітному полі. Евтектичні

термоелементи в магнітному полі. Магнітотермоелектричні термоелементи. Термопарні термоелементи в магнітному полі.

12. Термоелементи з великим градієнтом температури. Основні співвідношення. Термоелемент з великим градієнтом температури в прямокутній пластині. Термоелемент з пластини з вістрям. Лінійний термоелемент. Спіральний термоелемент з великим градієнтом температури.
13. П'єзотермоелементи. Основні співвідношення. Термопарний п'єзотермоелемент. Анізотропний п'єзотермоелемент. Спіральний анізотропний п'єзотермоелемент.

## **Модуль 2**

1. Функціонально-градієнтні матеріали. Генератори та холодильники з функціонально-градієнтних матеріалів.
2. Функціонально-градієнтні матеріали у магнітному полі. Основні закономірності та величини зростання ефективності. Технологічні проблеми та їх розв'язок.
3. Моделі, фізичні ефекти, методи досягнення екстремальної добротності. Матеріали з квантовими ямами.
4. Ниткові матеріали. Багатошарові плівки.
5. Бар'єрні ефекти. Ефекти вакуумної емісії.
6. Комбіновані теплові машини з низькотемпературним термоелектричним каскадом. Використання низькопотенційного тепла.
7. Відновлювальна енергетика майбутнього.
8. Медико-біологічна термоелектрика.
9. Комбінована термо- та оптоелектроніка.
10. Комбінована термо- та мікроелектроніка.
11. Інформаційна термоелектрика.

### ***Питання для підсумкового контролю***

1. Перший етап розвитку термоелектрики. Відкриття термоелектрики Зеєбеком. Особливості відкриття. Термомагнетизм. Роль Ерстеда у відкритті термоелектрики. Генератор Ома і відкриття закону Ома. Відкриття ефекту Пельтьє. Теоретичне передбачення ефекта Томсона.
2. Другий етап розвитку термоелектрики. Досліди Альтенктра. Ефективність термоелектричних матеріалів. Використання у термоелектриці напівпровідників. Роль Іоффе у розвитку термоелектрики. Роль Голдсмита у розвитку термоелектрики. Основні механізми покращення добротності матеріалів та їх реалізація. Термоелектричні матеріали. Практичне застосування термоелектрики. Криза у термоелектриці.
3. Термопара як випадкова модель термоелектричного перетворювача енергії. Загальний стан фізики у час відкриття термопари. Загальні підходи у теплоенергетиці. Закони термодинаміки. Цикли Карно. Загальні підходи у електриці. Закон Фарадея.
4. Узагальнені підходи у описі термоелектричних явищ. Рівняння Максвела для неізотермічних процесів.
5. Узагальнена модель термоелектричного перетворення енергії. Узагальнення закону Фарадея. Закон термоелектричної індукції. Про кореляцію термоелектрики та електротехніки. Таблиця термоелектричних перетворень. Стан та перспективи потенційних можливостей термоелектричного перетворення енергії.
5. Обернені задачі термоелектрики. Методика винайдення нових типів термоелементів.

Модель узагальненого термоелектричного перетворювача енергії. Вихрові струми та методи їх керування. Друге винайдення термопари.

6. Класифікація термоелементів. Вихрові термоелементи. Основні співвідношення для опису вихрових термоелементів. Кільцевий термоелемент. Спіральний термоелемент. Анізотропний прямокутний термоелемент поздовжнього типу. Подвійний круговий анізотропний термоелемент. Анізотропний прямокутний стрижневий термоелемент поздовжнього типу. Анізотропний спіральний термоелемент поздовжнього типу. Неоднорідний прямокутний термоелемент. Неоднорідний прямокутний спіральний термоелемент. Сотовий анізотропний термоелемент.
7. Термопари. Основні співвідношення. Термопари з активними вітками. Термопари з пасивною віткою. Складова термопари. Функціонально-градієнтні термопари. Термопари з боковим теплообміном. Проникні термопари.
8. Анізотропні термоелементи. Основні співвідношення. Анізотропний термоелемент продольного типу. Анізотропний термоелемент поперечного типу. Штучно-анізотропні термоелементи. Косолоїстий термоелемент. Евтектичні термоелементи.
9. Короткозамкнені термоелементи. Основні співвідношення. Коротко- замкнутий анізотропний термоелемент. Термоелемент з косим замиканням. Подвійний анізотропний коротко- замкнутий термоелемент. Двуслойний анізотропний короткозамкнутий термоелемент.
10. Термоелементи в магнітному полі. Основні співвідношення. Прямокутний термоелемент Нернста-Еттінсгаузена. Прямокутний термоелемент Еттінсгаузена. Спіральний термоелемент Нернста-Еттінсгаузена з радіальними тепловим потоком. Термоелемент Еттінсгаузена оптимальної форми. Спіральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним тепловим потоком.
11. Спіральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним магнітним потоком. Рулонний охолоджуючий гальваномагнітний термоелемент з радіальним магнітним потоком. Спіральні гальваномагнітні охолоджуючі термоелементи з живленням змінним струмом. Коротко замкнуті термоелементи в магнітному полі. Евтектичні термоелементи в магнітному полі. Магнітотермоелектричні термоелементи. Термопарні термоелементи в магнітному полі.
12. Термоелементи з великим градієнтом температури. Основні співвідношення. Термоелемент з великим градієнтом температури в прямокутній пластині. Термоелемент з пластини з вістрям. Лінійний термоелемент. Спіральний термоелемент з великим градієнтом температури.
13. П'єзотермоелементи. Основні співвідношення. Термопарний п'єзотермоелемент. Анізотропний п'єзотермоелемент. Спіральний анізотропний п'єзотермоелемент.
14. Функціонально-градієнтні матеріали. Генератори та холодильники з функціонально-градієнтних матеріалів.
15. Функціонально-градієнтні матеріали у магнітному полі. Основні закономірності та величини зростання ефективності. Технологічні проблеми та їх розв'язок.
16. Моделі, фізичні ефекти, методи досягнення екстремальної добротності. Матеріали з квантовими ямами.
17. Ниткові матеріали. Багатошарові плівки.
18. Бар'єрні ефекти. Ефекти вакуумної емісії.
19. Комбіновані теплові машини з низькотемпературним термоелектричним каскадом. Використання низько потенційного тепла.
20. Відновлювальна енергетика майбутнього.
21. Медико-біологічна термоелектрика.
22. Комбінована термо- та оптоелектроніка.

23. Комбінована термо- та мікроелектроніка.
24. Інформаційна термоелектрика.

### **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. Anatyshuk L.I. Physics of Thermoelectricity. - Kyiv, Chernivtsi. - 1998. – Vol.1. - 376 p.
2. Anatyshuk L. I. Thermoelectricity / L. I. Anatyshuk – Institute of Thermoelectricity, Kyiv, Chernivtsi, 2005. – Vol. 2: Thermoelectric power converters. – 2005. – 348 p.
3. Vitalii Semeshkin and Radion Cherkez. Relationship of non-equilibrium thermodynamics in the heterogeneous permeable thermoelements. Chapter 1. Physical and mathematical sciences // Science, technology and innovation in the modern world.: Scientific monograph. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2023. 636 p. P.1- 33.
4. Anatyshuk L. I. Thermoelectricity: Functionally Graded Thermoelectric Materials / L. I. Anatyshuk, L. N. Vikhor. – Chernivtsi, 2012. – Vol. IV – 172 p.

#### *Додаткова література*

1. Snyder G. Jeffrey Thermoelectric efficiency and compatibility / G. Jeffrey Snyder, Tristan S. Ursell // Physical Review Letters. – 2003. – V. 91. – P. 148301.
2. Anatyshuk L. I. Computer simulation of functionally graded materials for thermoelectricity / L. I. Anatyshuk, L. N Vikhor, R. G. Cherkez // Journal of Thermoelectricity. – 1997. – № 3. P. 43 – 61.
3. Thermoelectrics Handbook. Macro to Nano / ed. D. M. Rowe. – N. Y.: CRC Press, 2006
4. Callen H. B. Application of Onsager's reciprocal relations to thermoelectric, thermomagnetic and galvanomagnetic effects / H. B. Callen // Phys. Rev. – 1948. – Vol. 78. – P. 1349.
5. Pollock D. D. Thermoelectricity: theory, thermometry, tool / D. D. Pollock // ASTM Special Technical Publication 852. – Philadelphia, PA, 1985.

#### *Інформаційні ресурси*

<https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=1748>

<http://google.com/> – пошукова система.

<http://home.park.ru/> – міжнародні та європейські мережі.

<http://www.dejanews.com/> – архів телеконференцій.

<http://www.euroseek.com/> – пошукова система.

<http://www.fas.sfu.ca/cs/library/> – бібліотека комп'ютерних технологій.

<http://www.its.caltech.edu>