

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**

(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 «Узагальнена теорія перетворення енергії» 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.

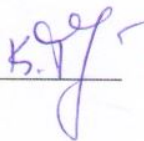
Викладач:

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 вивчення 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

Пререквізитами до курсу є курси «Узагальнена теорія перетворення енергії», «Термоелектричне перетворення енергії», що вивчаються здобувачами на другому (магістерському) рівні вищої освіти.

Курс «Узагальнена теорія перетворення енергії» підвищує рівень підготовки здобувачів освіти до проходження ОК «Асистентська педагогічна практика», що є видом практичної діяльності аспіранта, яка спрямована на набуття здатності здійснювати педагогічну (навчальну та методичну) та наукову діяльність у системі науково-педагогічної діяльності викладача ЗВО.

### 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-наукової програми вивчення дисципліни «Узагальнена теорія перетворення енергії» сприяє формуванню у здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти таких *компетентностей*:

#### Загальні компетентності (ЗК)

- ЗК2. Здатність до пошуку, оброблення та критичного аналізу інформації з різних джерел, критичного ставлення до власних наукових здобутків та досягнень інших дослідників.
- ЗК3. Здатність працювати в міжнародному науковому середовищі.
- ЗК5. Здатність генерувати нові ідеї та застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ЗК7. Навички міжособистісного спілкування, пов'язані з умінням взаємодіяти з іншими людьми та працювати в команді.
- ЗК8. Здатність працювати автономно, ініціювати, організовувати та проводити комплексні теоретичні та експериментальні дослідження.
- ЗК9. Здатність до усної і письмової презентації та обговорення результатів наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та англійською мовами, в тому числі з експертами інших галузей.
- ЗК10. Здатність виявляти, ставити й вирішувати проблеми та проводити дослідження на відповідному рівні, планувати й прогнозувати результати.
- ЗК11. Здатність до формування системного наукового світогляду, професійної етики та загального культурного кругозору.

#### 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.
- ФК5. Компетентність аналізувати методологічні проблеми, що виникають при вирішенні дослідницьких і практичних завдань, в тому числі в міждисциплінарних областях.
- ФК6. Компетентність створення та налаштування комп'ютерних програм за власноруч розробленими алгоритмами.

ФК7. Здатність вирізняти із накопичених спостережень відтворювані експериментальні факти.

ФК8. Здатності аналізу даних. Компетентність аналізувати дані проведених досліджень, які можуть бути значного обсягу та вимагати застосування потужних обчислювальних ресурсів.

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

ФК10. Здатність організувати навчальний процес та проводити заняття з фізико-технічних дисциплін у вищих навчальних закладах.

Вивчення даної навчальної дисципліни забезпечує досягнення здобувачем наступних **програмих 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.

ПРН3. Уміти сприймати і обробляти іншомовні наукові тексти з фізики з наукових джерел, що містять новітню фахову інформацію, здійснювати письмовий та анотаційний переклад текстів з фізики.

ПРН4. Здатність розробляти та аргументовано презентувати результати дослідження в науковому і науково-популярному контекстах, усно та письмово, у формі наукових семінарів, конференцій.

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

ПРН6. Здатність керувати спеціалізованими науковими семінарами та вести наукову дискусію з дотриманням професійної етики з фахівцями і нефхівцями щодо результатів досліджень, фундаментальних та прикладних проблем фізики українською та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.

ПРН7. Здатність обробляти, аналізувати та узагальнювати науково-технічну інформацію, передовий вітчизняний і зарубіжний досвід в професійній діяльності, представляти результати власного дослідження іноземною мовою.

ПРН8. Уміти розробляти та досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у прикладній фізиці та дотичних міждисциплінарних напрямках.

ПРН9. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з прикладної фізики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних наукових методів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

ПРН10. Розробляти та реалізовувати наукові проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання і розв'язувати значущі наукові проблеми фізики з дотриманням академічної доброчесності та основ запобігання корупції на рівні, необхідному для формування нетерпимості до корупції та проявів недоброчесної поведінки серед здобувачів освіти.

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.

# ОПИС ЗМІСТУ РОБОЧОЇ ПРОГРАМИ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

## Загальна інформація з розподілом 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  | 1              | 2       | 4.0       | 120   | 2                  | 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         |
| <b>Змістовий модуль 1. Теорія термоелектричного перетворення енергії.</b>                            |                 |              |           |     |      |           |
| Тема 1. Узагальнені рівняння тепло та електропровідності для термоелектричного перетворення енергії. | 26              | 2            | 4         |     |      | 20        |
| Тема 2. Термоелектричні ефекти при наявності великих градієнтів температур.                          | 16              | 2            | 4         |     |      | 10        |
| Разом за ЗМ1   | 42              | 4            | 8         |     |      | 30        |
| <b>Змістовий модуль 2. Сучасні термоелектричні матеріали та перспективи їх використання</b>          |                 |              |           |     |      |           |
| Тема 3. Сегментні та функціонально-градієнтні матеріали для термоелектричних перетворювачів енергії. | 40              | 2            | 8         |     |      | 30        |
| Тема 4. Наноструктури у термоелектриці   | 19              | 2            | 2         |     |      | 15        |
| Тема 5. Перспективи практичних застосувань термоелектриків.  | 19              | 2            | 2         |     |      | 15        |
| Разом за ЗМ 2  | 78              | 6            | 12        |     |      | 60        |
| <b>Усього годин</b>  | <b>120</b>      | <b>10</b>    | <b>20</b> |     |      | <b>90</b> |

## Тематика лекційних занять з переліком питань

| №  | Назва теми лекції  |
|----|--|
| 1. | Узагальнені підходи у описі термоелектричних явищ. Рівняння Максвела для неізотермічних процесів.  |
| 2. | 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. |
| 3. | Обернені задачі термоелектрики. Методика винайдення нових типів термоелементів. Модель узагальненого термоелектричного перетворювача енергії. Вихрові струми та методи їх керуванням.  |
| 4. | Узагальнені закони Ома та Фур'є для термоелектричного середовища.  |
| 5. | 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.  |
| 6.  | Класифікація та основні типи термоелементів.   |
| 7.  | Термоелементи з великим градієнтом температури.<br>Основні співвідношення. Термоелемент з великим градієнтом температури в прямокутній пластині. Термоелемент з пластини з вістрям. Лінійний термоелемент. Спіральний термоелемент з великим градієнтом температури. |
| 8.  | П'єзотермоелементи.<br>Основні співвідношення. Термопарний п'єзотермоелемент. Анізотропний п'єзотермоелемент. Спіральний анізотропний п'єзотермоелемент.   |
| 9.  | Сегментні генераторні термоелементи.<br>Фізична модель термоелемента. Основні співвідношення для розрахунку температурних полів в одномірному випадку. Метод розрахунку та проектування.   |
| 10. | Сегментні термоелементи в режимі охолодження.<br>Фізична модель термоелемента. Основні співвідношення для розрахунку температурних полів в одномірному випадку. Метод розрахунку та проектування.  |
| 11. | Функціонально-градієнтні матеріали. Генератори та холодильники з функціонально-градієнтних матеріалів. Метод розрахунку та проектування.   |
| 12. | Функціонально-градієнтні матеріали у магнітному полі. Основні закономірності та величини зростання ефективності. Метод розрахунку та проектування.   |
| 13. | Наноструктурні термоелектричні матеріали для генерації електричної енергії.  |
| 14. | Наноструктурні термоелектричні матеріали для термоелектричного охолодження   |
| 15. | Перспективи практичних застосувань термоелектричних генераторів та холодильників.  |
| 16. | Перспективи практичних застосувань термоелектричних вимірювальних систем.  |

#### Тематика практичних занять з переліком питань

| № | Назва теми (завдання)  |
|---|--|
| 1 | Основні положення інформаційно-енергетичної та узагальненої теорії перетворення енергії.<br>Зв'язок рівнянь Максвелла з термоелектричними ефектами.<br>Неізотермічні процеси та роль градієнта температури.<br>Побудова системи рівнянь стану термоелектричного середовища.  |
| 2 | Узагальнення закону Фарадея та введення поняття термоелектричної індукції.<br>Співвідношення між електричними та тепловими параметрами термоелемента.<br>Таблиця термоелектричних перетворень і її фізичний зміст.<br>Порівняння принципів термоелектрики та електротехніки. |
| 3 | Формулювання прямої та оберненої задач термоелектрики.<br>Підходи до проектування нових типів термоелементів.<br>Методи керування вихровими струмами.  |
| 4 | Виведення узагальненого закону Ома для неізотермічних середовищ.<br>Узагальнений закон Фур'є в термоелектриці.<br>Енергетичний баланс у термоелектричному контурі.   |
| 5 | Математичні моделі термоелементів із великим градієнтом температури.<br>Аналітичні вирази для прямокутних, вістряних, лінійних та спіральних геометрій.<br>Особливості розподілу температурних полів.  |
| 6 | Критерії класифікації термоелементів (матеріал, конструкція, режим).<br>Порівняння генераторних і холодильних термоелементів.<br>Аналіз ефективності різних типів термоелементів.  |
| 7 | Фізичні основи поєднання п'єзо- та термоелектричних ефектів.<br>Типи п'єзотермоелементів і їхні моделі.<br>Практичні застосування п'єзотермоелектричних систем.  |
| 8 | Фізична модель сегментного термоелемента.<br>Основні співвідношення для одномірного розрахунку температурних полів.<br>Методи проектування генераторних і холодильних модулів.   |

|    |  |
|----|--|
| 9  | Принципи побудови ФГМ.<br>Енергетичні характеристики генераторів та холодильників із ФГМ.<br>Моделювання ефективності.   |
| 10 | Електро- і магнітотермоелектричні явища.<br>Зростання ефективності при наявності магнітного поля.<br>Методи керування потоками енергії.  |
| 11 | Особливості теплопереносу в наноструктурних матеріалах.<br>Методи підвищення ефективності наноструктурованих термоелементів.<br>Порівняння властивостей наноматеріалів для генерації та охолодження.   |
| 12 | Галузі застосування термоелектричних генераторів, холодильників і сенсорів.<br>Аналіз сучасних тенденцій розвитку термоелектричних систем.<br>Використання у вимірвальній техніці та енергозбереженні. |

### 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  | Термопари з боковим теплообміном. Проникні термопари.  |
| 4  | Анізотропний прямокутний стрижневий термоелемент поздовжнього типу.<br>Анізотропний спіральний термоелемент поздовжнього типу. Неоднорідний прямокутний термоелемент. Неоднорідний прямокутний спіральний термоелемент. Сотовий анізотропний термоелемент.   |
| 5  | Вихрові термоелементи. Основні співвідношення для опису вихрових термоелементів.<br>Кільцевий термоелемент. Спіральний термоелемент. Анізотропний прямокутний термоелемент поздовжнього типу. Подвійний круговий анізотропний термоелемент.  |
| 6  | Термопари. Основні співвідношення. Термопари з активними вітками. Термопари з пасивною віткою. Складова термопари.   |
| 7  | Анізотропні термоелементи. Основні співвідношення. Анізотропний термоелемент продольного типу. Анізотропний термоелемент поперечного типу. Штучно-анізотропні термоелементи. Косослоїстий термоелемент. Евтектичні термоелементи.  |
| 8  | Короткозамкнені термоелементи. Основні співвідношення. Коротко- замкнутий анізотропний термоелемент. Термоелемент з косим замиканням. Подвійний анізотропний коротко- замкнутий термоелемент. Двуслойний анізотропний короткозамкнутий термоелемент.   |
| 9  | Термоелементи в магнітному полі. Основні співвідношення. Прямокутний термоелемент Нернста-Еттінгаузена. Прямокутний термоелемент Еттінгаузена. Спіральний термоелемент Нернста-Еттінгаузена з радіальними тепловим потоком. Термоелемент Еттінгаузена оптимальної форми. Спіральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним тепловим потоком. |
| 10 | Спіральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним магнітним потоком. Рулонний охолоджуючий гальваномагнітний термоелемент з радіальним магнітним потоком.  |
| 11 | Спіральні гальваномагнітні охолоджуючі термоелементи з живленням змінним струмом.<br>Коротко замкнуті термоелементи в магнітному полі. Евтектичні термоелементи в магнітному полі. Магнітотермоелектричні термоелементи. Термопарні термоелементи в магнітному полі.   |
| 12 | Медико-біологічна термоелектрика   |
| 13 | Комбінована термо- та мікроелектроніка.  |

Контроль виконання завдань, винесених на самостійне опрацювання проводиться та зараховується 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:* репродуктивний метод, 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 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;
- *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 та практичних 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 аспіранти за модулі**

| Поточне оцінювання<br>(аудиторна та самостійна робота) |                     | Кількість балів<br>(екзамен) | Сумарна к-ть балів |
|--|---------------------|------------------------------|--------------------|
| Змістовий модуль №1                                    | Змістовий модуль №2 |                              |                    |
| T1,T2  | T3,T4,T5            |                              |                    |
| <b>30</b>  | <b>30</b>           | <b>40</b>                    | <b>100</b>         |

**T1,T2, T3,T4,T5 – теми змістових модулів.**

Максимум балів, які здобувач освіти може отримати за окремий вид роботи, зокрема тієї, що винесена на самостійне опрацювання – 12 балів, сума яких (за коефіцієнтом) переводиться у відповідний бал кожної теми, що в загалом у ході поточного контролю складе 60 балів.

| <b>К-сть балів</b> | <b>Критерії оцінювання навчальних досягнень здобувачів освіти</b>   |
|--------------------|---|
| <b>11-12 балів</b> | Завдання виконано вчасно, його зміст у повному обсязі розкриває тему дослідження, оформлення відповідає всім вимогам до даного виду студентської роботи. Здобувач системно володіє матеріалом і може презентувати його перед аудиторією, у тому числі і за допомогою ІКТ, має власну думку щодо викладеного матеріалу, здатен її аргументувати, робить висновки до виконання завдання підходить творчо. |
| <b>9-10 балів</b>  | Завдання виконано вчасно, його зміст у повному обсязі розкриває тему дослідження, оформлення відповідає всім вимогам до даного виду роботи. Здобувач володіє матеріалом і може презентувати його перед аудиторією.  |
| <b>7-8 балів</b>   | Завдання виконано вчасно, його зміст у повному обсязі розкриває тему дослідження, оформлення відповідає всім вимогам до даного виду студентської роботи. Здобувач може доповісти основні положення проведеної роботи без глибинного аналізу, узагальнення матеріалу та підведення підсумків.  |
| <b>5-6 балів</b>   | Завдання виконано вчасно, його зміст поверхнево або фрагментарно розкриває тему дослідження, оформлення відповідає всім вимогам до даного виду студентської роботи. Здобувач не проводить аналізу джерел, з яких було отримано інформацію, не здатен узагальнити та систематизувати матеріал, зазнає труднощів під час презентації проведеного дослідження перед аудиторією.                            |
| <b>3-4 бали</b>    | Завдання виконано вчасно, його зміст є дублюванням відомих джерел інформації. Відсутня будь-яка аналітична обробка представленої інформації. Здобувач на репродуктивному рівні з помилками відтворює матеріал, не може презентувати його перед аудиторією.  |
| <b>1-2 бали</b>    | Завдання відзначається фрагментарністю виконання під керівництвом викладача. Необхідні практичні уміння роботи майже не сформовані, більшість передбачених навчальною програмою завдань не виконано.  |

## Підсумковий контроль

**Екзамен проводиться у форму тестування**

**Критерії оцінювання тестів:**

- на іспит пропонується 40 тестових завдань.
- кожна правильна відповідь оцінюється в 1 бал.
- загальна максимальна сума балів за іспит - 40 балів

**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:

### **Шкала оцінювання: національна та ЄКТС**

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

Критерієм успішного проходження здобувачем освіти підсумкового оцінювання може бути досягнення ним мінімальних порогових рівнів оцінок за кожним запланованим результатом навчання навчальної дисципліни.

Мінімальний пороговий рівень оцінки варто визначати за допомогою якісних критеріїв і трансформувати його в мінімальну позитивну оцінку використовуваної числової (рейтингової) шкали.

### **ПИТАННЯ ДЛЯ ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ:**

#### **Модуль 1**

1. Узагальнені підходи у описі термоелектричних явищ. Рівняння Максвелла для неізотермічних процесів.
2. 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.
3. Обернені задачі термоелектрики. Методика винайдення нових типів термоелементів. Модель узагальненого термоелектричного перетворювача енергії. Вихрові струми та методи їх керування. Друге винайдення термопари.
4. 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.
5. Термопари. Основні співвідношення. Термопари з активними вітками. Термопари з пасивною віткою. Складова термопари. Функціонально-градієнтні термопари. Термопари з боковим теплообміном. Проникні термопари.

6. Анізотропні термоелементи. Основні співвідношення. Анізотропний термоелемент продольного типу. Анізотропний термоелемент поперечного типу. Штучно-анізотропні термоелементи. Косослоїстий термоелемент. Евтектичні термоелементи.
7. Короткозамкнені термоелементи. Основні співвідношення. Коротко- замкнутий анізотропний термоелемент. Термоелемент з косим замиканням. Подвійний анізотропний коротко- замкнутий термоелемент. Двуслойний анізотропний короткозамкнутий термоелемент.
8. Термоелементи в магнітному полі. Основні співвідношення. Прямокутний термоелемент Нернста-Еттінсгаузена. Прямокутний термоелемент Еттінсгаузена. Спиральний термоелемент Нернста-Еттінсгаузена з радіальними тепловим потоком. Термоелемент Еттінсгаузена оптимальної форми. Спиральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним тепловим потоком.
9. Спиральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним магнітним потоком. Рулонний охолоджуючий гальваномагнітний термоелемент з радіальним магнітним потоком. Спиральні 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.
10. Термоелементи з великим градієнтом температури. Основні співвідношення. Термоелемент з великим градієнтом температури в прямокутній пластині. Термоелемент з пластини з вістрям. Лінійний термоелемент. Спиральний термоелемент з великим градієнтом температури.
11. П'єзотермоелементи. Основні співвідношення. Термопарний п'єзотермоелемент. Анізотропний п'єзотермоелемент. Спиральний 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. Сегментні генераторні термоелементи. Фізична модель термоелемента. Основні співвідношення для розрахунку температурних полів в одновимірному випадку. Метод розрахунку та проектування.
5. Сегментні термоелементи в режимі охолодження. Фізична модель термоелемента. Основні співвідношення для розрахунку температурних полів в одновимірному випадку. Метод розрахунку та проектування.
7. Наноструктурні термоелектричні матеріали для генерації електричної енергії.
8. Наноструктурні термоелектричні матеріали для термоелектричного охолодження
9. Перспективи практичних застосувань термоелектричних генераторів та холодильників.
10. Комбіновані теплові машини з низькотемпературним термоелектричним каскадом. Використання низькопотенційного тепла.
11. Медико-біологічна термоелектрика.
12. Комбінована термо- та оптоелектроніка.
13. Комбінована термо- та мікроелектроніка.
14. 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 керуванням. Друге винайдення термопари.
  6. Класифікація термоелементів. Вихрові термоелементи. Основні співвідношення для опису вихрових термоелементів. Кільцевий термоелемент. Спиральний 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. Косослоїстий 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. Спиральний термоелемент Нернста-Еттінсгаузена з радіальними тепловим потоком. Термоелемент Еттінсгаузена оптимальної форми. Спиральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним тепловим потоком.
  11. Спиральний гальваномагнітний охолоджуючий термоелемент з радіальним магнітним потоком. Рулонний охолоджуючий гальваномагнітний термоелемент з радіальним магнітним потоком. Спиральні 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. Спиральний термоелемент з великим градієнтом температури.
  13. П'єзотермоелементи. Основні співвідношення. Термопарний п'єзотермоелемент. Анізотропний п'єзотермоелемент. Спиральний 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.
5. Snyder G. J., Toberer E. S. Complex Thermoelectric Materials // *Nature Materials*. — 2022. — Т. 21, № 3. — С. 259–270.
6. Bell L. E. Cooling, Heating, Generating Power, and Recovering Waste Heat with Thermoelectric Systems // *Science*. — 2020. — Т. 369, № 6510. — С. 145–153.
7. Mahan G. D., Sofo J. O. The Best Thermoelectric // *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. — 2022. — Т. 119, № 16. — С. e2115386119.
8. Riffat S. B., Ma X. *Thermoelectrics: Design and Materials*. — 2-ге вид. — Hoboken: Wiley, 2023. — 388 с.
9. Shen S., et al. Coupled Thermoelectric and Piezoelectric Effects in Anisotropic Materials // *Nano Energy*. — 2022. — Т. 98. — С. 107338.
10. Zhou Y., et al. Hybrid Thermoelectric–Piezoelectric Nanogenerators // *ACS Nano*. — 2023. — Т. 17, № 4. — С. 3512–3524.
11. Zhou C., et al. Nanostructured Thermoelectric Materials for Energy Conversion // *Nano Energy*. — 2024. — Т. 118. — С. 109056.

#### *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. *Nanoobjects & Nanostructuring. Vol. I–III* / ред. Л. М. Бойчишин, О. В. Решетняк. — Тернопіль: ТНТУ, 2021–2024.
6. *Journal of Thermoelectricity*. — Чернівці: Інститут термоелектрики НАН та МОН України, 2020–2024.

## *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.euoseek.com/> – пошукова система.

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

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

### **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/jxdbs0zb/etychnyi-kodeks-chernivetsko-ho-natsionalnoho-universytetu.pdf>

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

[https://www.chnu.edu.ua/media/f5e1eobm/polozhennya-pro-zapobihannia-plahiatu\\_2024.pdf](https://www.chnu.edu.ua/media/f5e1eobm/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, використані 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.