

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-професійна програма | <u>Прикладна фізика та наноматеріали</u> |
| Спеціальність | <u>105 Прикладна фізика та наноматеріали</u> |
| Галузь знань | <u>10 Природничі науки</u> |
| Рівень вищої освіти | <u>Третій (освітньо-науковий)</u> |
| Навчально-науковий інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук | |
| Мова навчання | <u>Українська</u> |

Чернівці 2024 рік

Робоча програма навчальної дисципліни «Термоелектричне 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


Козарський І.П.

Пояснювальна записка

Мета навчальної дисципліни:

Ознайомлення студентів з актуальними проблемами комп'ютерного проектування термоелектричних перетворювачів енергії, сучасними тенденціями розвитку апаратних та програмних засобів, методикою їх ефективного використання. Набуття практичного досвіду комп'ютерного проектування термоелектричних перетворювачів енергії.

Пререквізити

Для ефективного засвоєння даної дисципліни будуть корисні знання, отримані студентом з матеріалів курсів, передбачених ОПП другого (магістерського) рівня вищої освіти: «Термоелектричне перетворення», «Комп'ютерне матеріалознавство», «Комплексне комп'ютерне проектування у термоелектриці», «Узагальнена теорія перетворення енергії». У подальшому знання дисципліни будуть корисні для проведення наукових досліджень, написання статей та звітів.

Завдання вивчення навчальної дисципліни:

- розуміти загальний підхід та розуміння логіки розвитку термоелектрики, її перспектив і впливу на науково-технічний прогрес;
- знати термоелектричні ефекти в неоднорідних та ФГМ;
- розуміти особливості термоелектричне перетворення енергії.

Результати навчання

Відповідно до освітньо-наукової програми вивчення дисципліни «Термоелектричне 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

В результаті вивчення навчальної дисципліни студенти повинні:

Знати та розуміти: фізичні моделі перетворювачів енергії та їх математичний опис .

Вміти: розробити математичну модель, вибрати методи і створити алгоритм для комп'ютерного проектуванні перетворювачів енергії .

Оволодіти: методами теорії розрахунку термоелектричних матеріалів та пристрої на їх основі, пакетами прикладних комп'ютерних програм (Mathcad, Maple, Matlab та інші) для проектування термоелектричних перетворювачів .

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

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

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

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

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 нефахівцями 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 напрямків 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 норм академічної етики.

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

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

| Назва навчальної дисципліни <u>Термоелектричне 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 | - | 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. Вступ до термоелектричного перетворення енергії | | | | | | |
| Тема 1. Постановка задач по проектуванню перетворювачів енергії. | 14 | 1 | 3 | | | 10 |
| Тема 2. Розрахунок конструкційних та енергетичних параметрів генераторного термоелемента. | 22 | 1 | 3 | | | 18 |
| Тема 3. Визначення робочих характеристик генераторного термоелемента комп'ютерними методами. | 18 | 2 | 4 | | | 12 |
| Разом за ЗМ1 | 54 | 4 | 10 | | | 40 |
| Змістовий модуль 2. Застосування теорії оптимального керування для розрахунку термоелектричного перетворювача енергії. | | | | | | |
| Тема 4. Основи теорії оптимального керування для термоелектричних перетворювачів енергії. | 14 | 2 | 2 | | | 10 |
| Тема 5. Розрахунок термоелемента методами теорії оптимального керування. | 26 | 2 | 4 | | | 20 |
| Тема 6. Знаходження оптимального розподілу неоднорідностей матеріалу віток в генераторних термоелементах. | 26 | 2 | 4 | | | 20 |
| Разом за ЗМ 2 | 66 | 6 | 10 | | | 50 |
| Усього годин | 120 | 10 | 20 | | | 90 |

Тематика лекційних занять з переліком питань

| № | Назва теми лекції |
|----|--|
| 1. | Тема 1. Постановка задач по проектуванню перетворювачів енергії. Основи теорії оптимального керування. Цільова функція, функціонал. ККД генераторів та холодильний коефіцієнт охолоджувачів. |
| 2. | Тема 2. Розрахунок конструкційних та енергетичних параметрів генераторного термоелемента. Метод рівнянь балансу тепла. Метод теорії оптимального керування. |
| 3. | Тема 3. Визначення робочих характеристик генераторного термоелемента комп'ютерними методами. Використання Comsol Multyphysics для визначення розподілів температур та потенціалів |

| | |
|----|--|
| | в генераторному термоелементі. |
| 4. | Тема 4. Основи теорії оптимального керування для термоелектричних перетворювачів енергії. Отримати співвідношення екстремуму для генераторів в режимі максимального ККД. Співвідношення для знаходження максимуму потужності генераторного термоелемента. |
| 5. | Тема 5. Розрахунок термоелемента методами теорії оптимального керування. Застосування теорії оптимального керування для проектування генераторного термоелемента в режимі максимального ККД. Використання теорії оптимального керування для проектування генераторного термоелемента в режимі максимальної потужності. |
| 6. | Тема 6. Знаходження оптимального розподілу неоднорідностей матеріалу віток в генераторних термоелементах. Оптимальні неоднорідності для генераторного матеріалу на основі Bi-Te. Особливості знаходження оптимальних неоднорідностей для генераторного матеріалу на основі Pb-Te, Si-Ge. |

Тематика практичних занять з переліком питань

| № | Назва теми практичних |
|---|---|
| 1 | Комп'ютерний вибір оптимальних однорідних термоелектричних матеріалів для термоелементів |
| 2 | Моделювання матеріалу n- типу провідності на основі Bi-Sb в оптимальному магнітному полі для низькотемпературного охолодження |
| 3 | Комп'ютерне моделювання дискретно-неоднорідного термоелектричного матеріалу для секційних термоелементів |
| 4 | Проектування функціонально-градієнтних матеріалів (ФГМ) для термопарних генераторних елементів |
| 5 | Моделювання генераторного термоелемента в пакеті прикладних комп'ютерних програм Comsol Multiphysics |

Завдання для самостійної роботи студентів з переліком питань

| № | Завдання для самостійної роботи (види роботи) – <i>реферати</i> |
|---|---|
| 1 | Методи врахування впливу контактних опорів на ефективність перетворення енергії. Рівняння балансу теплоти. |
| 2 | Особливості врахування температурних залежностей властивостей матеріалу віток при проектуванні генераторного термоелемента. Одновимірний випадок. |
| 3 | Методи підвищення ефективності термопарних перетворювачів енергії. Покращання добротності. Сегментні термоелементи. |
| 4 | Неоднорідні генераторні термоелементи. Основні співвідношення термодинаміки необоротних процесів для опису температурних і електричних полів в неоднорідному середовищі. |
| 5 | Застосування математичної теорії оптимального керування для комп'ютерного проектування неоднорідних термоелементів. Режим максимального ККД та електричної потужності. |
| 6 | Проектування генераторного термоелемента з врахуванням системи теплообміну. Комп'ютерні методи визначення оптимальних режимів роботи. |
| 7 | Проникні термоелементи. Методи комп'ютерного пошуку оптимальних властивостей проникних генераторних термоелементів . |
| 8 | Особливості проектування термоелектричних модулів. Проектування модулів системою рівнянь балансу тепла. Проектування термоелектричних модулів в програмі Comsol Multiphysics. |

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

Методи навчання

Методи навчання:

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

практичні заняття: репродуктивний метод, дослідницький метод.

Самостійна робота аспірантів передбачає: конспектування лекційного матеріалу; вивчення теоретичного матеріалу лекційних занять та опрацювання літературних джерел, рекомендованих цією програмою; проведення розрахунків та підготовку звітів з практичних робіт.

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

Форми навчальних занять: лекції, практичні заняття, консультації.

Система контролю та оцінювання

Методи контролю

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

- *засоби усного контролю:* індивідуальне опитування, фронтальне опитування, презентації результатів виконаних завдань;
- *засоби письмового контролю:* контрольні роботи, тестування, самостійні роботи, виконання та захист практичних робіт;
- *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 практичної роботи;
- виконання модульної контрольної роботи (тестування та розв'язання навчально-професійних задач).

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

Форма підсумкового контролю – залік.

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 (залік) | Сумарна к-ть балів |
|--|---------------------|-------------------------|--------------------|
| Змістовий модуль №1 | Змістовий модуль №2 | | |
| T1, T2, T3 | T4, T5, T6 | | |
| 30 | 30 | 40 | 100 |

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

Критерії підсумкового оцінювання результатів навчання студентів з навчальної дисципліни

Критерієм підсумкового оцінювання є досягнення аспірантом 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: два теоретичних питання і одну практичну задачу.

Теоретичні питання 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

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

Критерії підсумкової оцінки як показника результатів вивчення навчальної дисципліни

Згідно шкали ЄКТС загальна кількість балів, яку 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» 90-100 балів 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 виконання практичних завдань; – належним чином виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю або допускав при усних відповідях та тестуванні окремі незначні неточності. |
| <p>«В» 80-89 балів 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 практичні 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» 70-79 балів ставиться у разі, якщо студент:</p> | <ul style="list-style-type: none"> – розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – формулював висновки з окремих питань практичних занять; – брав участь у виконанні практичних завдань; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності при усних відповідях, тестуванні; – не проявляв належної активності на лекційних та практичних заняттях, недостатньо використовував додаткову літературу; неохайно виконував завдання практичних робіт. |
| <p>«D» 60-69 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 практичних заняттях та старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував додаткову літературу, не належним чином виконав практичні завдання; – виконав не всі завдання для самостійної роботи, або не виконав хоча б одну практичну роботу. |
| <p>«Е» 50-59 балів 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 практичних заняттях, старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; |

| | |
|---|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> – недостатньо використовував основну та додаткову літературу; – виконав не всі практичні роботи; – не належним чином виконував індивідуальні завдання. |
| <p>«Fх» 35-49 балів ставиться у разі, якщо студент:</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; – частково виконав завдання для самостійної роботи; – не проявляв активності на практичних заняттях; – допускав принципові помилки під час виконання завдань; – не виконував практичні роботи; – не виконав завдання модульного контролю. |
| <p>«F» 1-34 балів ставиться у разі, якщо студент:</p> | <ul style="list-style-type: none"> – поверхнево розкривав зміст питань, які розглядалися; – допускав суттєві помилки при усних та письмових відповідях, тестуванні; – поверхнево ознайомився з рекомендованою літературою; – не виконав завдання для самостійної роботи; – не виконав практичне завдання; – не виконував практичні роботи; – на підсумковому занятті не вмів 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. Постановка задач по проектуванню перетворювачів енергії. Цільова функція (функціонал).
2. Основні класи екстремальних задач, методи їх розв'язку.
3. Елементарний розрахунок генераторного термоелемента в режимі максимального ККД.
4. Розрахунок генераторного термоелемента в режимі максимальної електричної потужності.
5. Порівняльний аналіз режимів максимального ККД та максимальної потужності.
6. Застосування правила множників Лагранжа для комп'ютерного проектування перетворювачів енергії.

Модуль 2

1. Врахування впливу контактних опорів на ефективність перетворення енергії.
2. Врахування температурних залежностей властивостей матеріалу віток при проектуванні генераторного термоелемента.
3. Методи підвищення ефективності термопарних перетворювачів енергії.
4. Неоднорідні генераторні термоелементи. Основні співвідношення термодинаміки необоротних процесів для опису температурних і електричних полів в неоднорідному середовищі.
5. Застосування математичної теорії оптимального керування для комп'ютерного проектування неоднорідних термоелементів.
6. Проектування генераторного термоелемента з врахуванням системи теплообміну. Комп'ютерні методи визначення оптимальних режимів роботи.
7. Проникні термоелементи. Методи комп'ютерного пошуку оптимальних властивостей проникних термоелементів.
8. Особливості проектування термоелектричних модулів.

Питання для підсумкового контролю

1. Постановка задач по проектуванню перетворювачів енергії. Цільова функція (функціонал).
2. Основні класи екстремальних задач, методи їх розв'язку.
3. Елементарний розрахунок генераторного термоелемента в режимі максимального ККД.
4. Розрахунок генераторного термоелемента в режимі максимальної електричної потужності.
5. Порівняльний аналіз режимів максимального ККД та максимальної потужності.
6. Застосування правила множників Лагранжа для комп'ютерного проектування перетворювачів енергії.
7. Врахування впливу контактних опорів на ефективність перетворення енергії.
8. Врахування температурних залежностей властивостей матеріалу віток при проектуванні генераторного термоелемента.
9. Методи підвищення ефективності термопарних перетворювачів енергії.
10. Неоднорідні (ФГМ) генераторні термоелементи. Основні співвідношення термодинаміки необоротних процесів для опису температурних і електричних полів в неоднорідному середовищі.
11. Застосування математичної теорії оптимального керування для комп'ютерного проектування неоднорідних термоелементів.
12. Проектування генераторного термоелемента з врахуванням системи теплообміну. Комп'ютерні методи визначення оптимальних режимів роботи.
13. Проникні термоелементи. Методи комп'ютерного пошуку оптимальних властивостей проникних термоелементів.
14. Особливості проектування термоелектричних модулів.

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. Thermoelectricity: Functionally Graded Thermoelectric Materials / L. I. Anatyshuk, L. N. Vikhor. – Chernivtsi, 2012. – Vol. IV – 172 p.
2. Комп'ютерне проектування термоелектричних перетворювачів енергії. Методичні рекомендації до лабораторних робіт / Укл.: Черкез Р.Г., Дудаль В.О. – Чернівці : Чернівецький національний університет, 2019. – 56 с.
3. Комп'ютерне проектування термоелектричних перетворювачів енергії. Методичні рекомендації до лабораторних робіт / Укл.: Черкез Р.Г. – Чернівці: Рута, 2006. – 20с.
4. Комп'ютерне матеріалознавство. Методичні рекомендації до лабораторних робіт / Укл.: Черкез Р.Г. – Чернівці : Чернівецький національний університет, 2022. – 120 с.

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. Cherkez R.G. , Porubanyi O.M., Zhukova A.S., Dubinin M.O., Panasiuk N.V. (2023) Computer design of permeable functionally graded materials for thermoelements in electric energy generation mode.// Thermoelectricity, (3), 24-32.
<http://jte.ite.cv.ua/index.php/jt/article/view/140>
4. Cherkez R., Zhukova A., Izvak Y., Cherkez M., Stefuk A. Theoretical investigation of permeable segmented generator thermoelement on the base of Bi-Te, Pb-Te, Si-Ge. (2022) Physics and Chemistry of Solid State 23(4):647-651

Інформаційні ресурси

<https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=8474>
<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>

Політика щодо академічної доброчесності

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

- «Етичний кодекс Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича»

<https://www.chnu.edu.ua/media/jxdfs0zb/etychnyi-kodeks-chernivetsko-ho-natsionalno-ho-universytetu.pdf>

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

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

Дотримання академічної доброчесності передбачає:

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