

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
Термоелектричні генератори
(обов'язкова)

Освітньо-наукова програма Прикладна фізика та наноматеріали

Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь знань 10 Природничі науки

Рівень вищої освіти Другий (магістерський)

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

Мова навчання Українська

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

Розробник:

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

Викладач:

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

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

Протокол № 1 від 09 серпня 2024 року

В.о. завідувача кафедри

 Кобилянський Р.Р.

Схвалено методичною радою ННІФТКН

Протокол № 1 від 09 серпня 2024 року

Голова методичної ради ННІФТКН

 Козярський І.П.

Пояснювальна записка

Мета навчальної дисципліни: є формування у студентів системи знань про термоелектричні перетворювачі теплової енергії в електричну та освоєння основних конструкцій і параметрів термоелектричних генераторів. Навчальна дисципліна «Термоелектричні генератори» спрямована на формування уявлення про основні типи та параметри модулів для термоелектричних генераторів (ТЕГ), подана класифікація ТЕГ за головними ознаками, фізичні моделі ТЕГ, раціональні системи підведення та відведення тепла, основні методи та раціональні схеми рекуперації тепла, основні типи джерел тепла для ТЕГ, в тому числі радіоізотопних і каталітичних. Розглянуто особливості розробок і практичного використання ТЕГ на органічному паливі і шляхи підвищення їх ефективності, а також конструкції та параметри ТЕГ різного призначення, особливості їх експлуатації.

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

Завдання вивчення навчальної дисципліни:

- формування у студентів системи базових знань про фізичні процеси, явища, на основі яких створені термоелектричні генератори та розуміння закономірностей їх протікання;
- отримання навичок виконання інженерних розрахунків параметрів ТЕГ (температурні режими, напруга, потужність), використовуючи типові методики.
- вивчення конструктивних особливостей джерел тепла для ТЕГ на газовому та рідкому паливі, у тому числі з каталітичним нагрівом, для розуміння принципів їх роботи.
- розвиток вмінь використовувати фізичні моделі для аналізу роботи термоелектричних генераторів у різних умовах експлуатації.

Результати навчання

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

Загальні компетентності (ЗК)

ЗК1. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК8. Здатність узгоджувати дії та рішення з нормами законодавства та стандартизації.

ЗК9. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел

Фахові компетентності (ФК)

ФК1. Здатність використовувати закони й принципи прикладної фізики та наноматеріалів у поєднанні із потрібними вищого рівня математичними інструментами для опису природних явищ.

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

ФК13. Здатність використовувати знання з фізико-технологічних основ створення і використання термоелектричних джерел живлення з відновлювальними джерелами енергії.

Програмних результатів навчання (ПР):

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

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

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

ПРН5. Принципи побудови баз знань у комп'ютерному матеріалознавстві, розробки узагальнених комп'ютерних моделей функціональних матеріалів для енергетики, методи знаходження оптимумів фізичних параметрів матеріалів в широких діапазонах узагальнених координат фізичних, технологічних, економічних та надійнісних факторів, що визначають

ефективність застосування матеріалів; комп'ютерні методи розробки термоелектричних матеріалів з екстремальними значеннями узагальнених критеріїв термоелектричної ефективності; новітні методи комп'ютерних нанотехнологій функціональних матеріалів для перетворювачів енергії та вимірювальної техніки.

ПРН8. Застосовувати отримані знання для вирішення конкретних науково-дослідних, інформаційно-пошукових, дослідно-конструкторських, виробничих, методичних та інших завдань.

ПРН10. Брати участь у розробці фізичних моделей та інтерпретації фізичних процесів, створенні методик вимірювань, апаратури та обладнання для вивчення досліджуваних явищ і процесів.

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

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

ПРН16. вдосконаленню технологічних процесів та обладнання з метою підвищення їх ефективності та економічності, введення нових, більш сучасних, пристроїв, систем та технологій.

Опис змісту робочої програми навчальної дисципліни Загальна інформація про розподіл годин

Назва навчальної дисципліни Термоелектричні генератори												
Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість			Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	Змістових модулів	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	індивідуальні завдання	
Денна	1	1	6	180	3	30	–	–	30	120	–	Екзамен

Структура змісту навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем навчальних занять	Кількість годин					
	денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7
Змістовий модуль 1. Класифікація ТЕГ. Модулі для ТЕГ						
Тема 1. Історія розвитку й перспективи застосування термоелектричних генераторів.	10	2				8
Тема 2. Термоелектричні модулі для термоелектричних генераторів. Класифікація і параметри.	16	4				12
Тема 3. Класифікація термоелектричних генераторів.	16	4				12
Тема 4. Розрахунок параметрів термоелектричних генераторів.	16	4				12
Разом за ЗМ1	58	14				44
Змістовий модуль 2. ТЕГ на газовому і рідкому паливі						
Тема 5. Джерела тепла для термогенераторів на газовому паливі.	4	4				10
Тема 6. Термогенератори на газовому паливі.	16	4				12
Тема 7. Термогенератори з каталітичними джерелами тепла на газовому і рідкому паливі.	16	4				12
Тема 8. Фізичні моделі термоелектричних генераторів на газовому і рідкому паливі.	16	4				12
Разом за ЗМ 2	62	16				46

Змістовий модуль 3. Лабораторний практикум						
Лабораторні роботи	60			30		30
Усього годин	180	30		30	–	120

Тематика лекційних занять з переліком питань

№	Назва теми лекції
1.	<i>Тема 1. Історія розвитку й перспективи застосування термоелектричних генераторів.</i> Л1. Зародження термоелектрики. Ранні дослідження та перші приклади використання термоелектричних ефектів. Етапи розвитку термоелектричних генераторів. Сучасний стан технології. Комерційні застосування. Основні виробники та дослідницькі центри. Перспективи та тенденції розвитку.
2.	<i>Тема 2. Термоелектричні модулі для термоелектричних генераторів. Класифікація і параметри.</i> Л2. Будова термоелектричного модуля. Принцип дії. Складові елементи: р- і n-типи напівпровідників, термопари, теплообмінники. Класифікація модулів за типом матеріалу. Металеві, напівпровідникові (на основі Bi_2Te_3 , PbTe , SiGe).
3.	<i>Тема 2. Термоелектричні модулі для термоелектричних генераторів. Класифікація і параметри.</i> Л3. Основні параметри термоелектричних модулів. Коефіцієнт продуктивності (ZT). Температурний діапазон роботи. Потужність та ефективність. Електричний опір і теплопровідність. Фактори, що впливають на вибір модуля. Умови експлуатації. Потужність джерела тепла. Геометричні обмеження
4.	<i>Тема 3. Класифікація термоелектричних генераторів.</i> Л4. За джерелом тепла. Природні джерела (геотермальна енергія, сонячне тепло). Штучні джерела (відпрацьоване тепло, пальне згоряння). За призначенням. Побутові, промислові, військові, медичні, космічні. За конструктивними особливостями. Моноблочні. Модульні. Гібридні системи (у поєднанні з іншими джерелами енергії). За розмірами та потужністю. Мікрогенератори (до 1 Вт). Малі (1–100 Вт). Середні (до кількох кВт). Великі системи (десятки кВт і більше).
5.	<i>Тема 3. Класифікація термоелектричних генераторів.</i> Л5. Поділ за конструктивними схемами термоелектричних генераторів. Класифікація теплових схем термоелектричних генераторів. Недоліки та переваги гізних типів ТЕГ.
6.	<i>Тема 3. Розрахунок параметрів термоелектричних генераторів.</i> Л6. Пряма та обернена задачі термоелектрики, розрахунок параметрів ТЕГ.
7.	<i>Тема 4. Розрахунок параметрів термоелектричних генераторів.</i> Л7. Використання методу теплових балансів для розрахунку параметрів ТЕГ
8.	<i>Тема 5. Джерела тепла для термогенераторів на газовому паливі.</i> Л8. Джерела тепла на органічному паливі. Радіаційні інфрачервоні пальники.
9.	<i>Тема 5. Джерела тепла для термогенераторів на газовому паливі.</i> Л9. Каталітичні джерела тепла для ТЕГ. Основні поняття каталізу.
10.	<i>Тема 6. Термогенератори на газовому паливі.</i> Л10. Моделі термогенераторів на газовому паливі. Розрахунок теплових балансів та ККД Термогенераторів на газовому паливі.
11.	<i>Тема 6. Термогенератори на газовому паливі.</i> Л11. Конструкції термоелектричних генераторів на газовому паливі, перспективи використання.
12.	<i>Тема 7. Термогенератори з каталітичними джерелами тепла на газовому і рідкому паливі.</i> Л12. Порівняння параметрів каталітичних джерел тепла на газовому і рідкому паливі. Розрахунок теплових балансів.
13.	<i>Тема 7. Термогенератори з каталітичними джерелами тепла на газовому і рідкому паливі</i> Л13. Конструкції термоелектричних генераторів з каталітичним джерелом тепла. Розрахунок

	та порівняння характеристик. Застосування каталітичних термогенераторів.
14.	<i>Тема 8. Фізичні моделі термоелектричних генераторів на газовому і рідкому паливі.</i> Л14. Енергетичний баланс та оптимізація конструкції. Моделювання в умовах змінних навантажень і робочого середовища.
15.	<i>Тема 8. Фізичні моделі термоелектричних генераторів на газовому і рідкому паливі.</i> Л15. Конструкції термоелектричних генераторів на газовому і рідкому паливі. Розрахунок та порівняння характеристик.

Тематика лабораторних занять з переліком питань

№	Назва теми (завдання)
1.	«Вступне заняття. Правила техніки безпеки та охорони праці, електробезпека» ЛР1. Виготовлення та градування інтегральної та диференційної термопар.
2.	ЛР2. Дослідження параметрів модулів для термоелектричних генераторів.
3.	ЛР3. Дослідження параметрів термоелектричних генераторів на дровах.
4.	ЛР4. Дослідження параметрів термоелектричних генераторів на газу.
5.	ЛР5. Дослідження параметрів термогенераторів з каталітичними джерелами тепла на газовому паливі.
6.	ЛР6. Дослідження параметрів термогенераторів з каталітичними джерелами тепла на рідкому паливі.
7.	ЛР7. Дослідження параметрів термоелектричних генераторів для дизельних двигунів.
8.	ЛР8. Дослідження параметрів ґрунтових термоелектричних генераторів.
9.	ЛР9. Дослідження параметрів навчального приладу для демонстрації ефекту термоелектричного генерування струму АЛТЕК – 7007.
10.	ЛР10. Дослідження параметрів сонячної батареї та сонячних термоелектричних генераторів.
11.	ЛР11. Дослідження параметрів термоелектричних генераторів медичного призначення.
12.	ЛР12. Дослідження параметрів термоелементів для генераторів космічного призначення.
13.	ЛР13. Визначення теплового опору та ефективного коефіцієнту тепловіддачі радіатора (охолодження – природня конвекція).
14.	ЛР14. Визначення теплового опору та ефективного коефіцієнту тепловіддачі радіатора з примусовим охолодженням.
15.	ЛР15. Дослідження параметрів термоелектричних генераторів джерелом тепла яких є гас.

Контроль виконання завдань, винесених на підготовку та виконання лабораторних занять, виконання необхідних розрахунків проводиться в рамках модульних контролів, переглядом звітів з виконання лабораторних робіт та самим захистом студентами лабораторних робіт. Цикл лабораторних робіт складається з 15 лабораторних занять, кожна лабораторна робота оцінюється в 2 бали: 1 бал за виконання роботи і 1 бал за захист. У сумі 30 балів.

Завдання для самостійної роботи студентів

№	Завдання для самостійної роботи (види роботи)
1.	Концепція децентралізації виробництва електричної та теплової енергії. Переваги, недоліки.
2.	Техніко-економічні аспекти використання термогенераторів
3.	Поняття про монолітні та проникні термоелементи.
4.	Класифікація модулів для ТЕГ за виробниками.
5.	Конструкція та принцип роботи інфрачервоного пальника на газовому паливі.
6.	Класифікація ТЕГ за виробниками.
7.	Теплові схеми ТЕГ з ізотопними та ядерно-реакторними джерелами тепла.

8.	Теплові схеми, які використовуються в ТЕГ космічного призначення.
9.	Концепція децентралізації виробництва електричної та теплової енергії. Переваги, недоліки.
10.	Технологія виготовлення генераторних модулів
11.	Інтеграція в системи "розумного будинку" та енергонезалежні сенсори.
12.	Застосування в портативних та медичних пристроях.
13.	Розробка нових матеріалів з високим коефіцієнтом продуктивності (ZT).
14.	Наноструктуровані та органічні матеріали для ТЕ модулів.
15.	Використання в аерокосмічній промисловості (наприклад, у космічних місіях NASA).

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

Методи навчання

Методи навчання:

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

лабораторні заняття: метод проблемного підходу, дослідницький метод.

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

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

Форми навчальних занять: лекції, лабораторні заняття, консультації.

Система контролю та оцінювання

Методи контролю

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

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

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

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

Форми контролю

Основними формами поточного контролю є:

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

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

Форма підсумкового контролю – екзамен.

Критерії оцінювання поточного та підсумкового контролю навчальних досягнень студентів

Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів за результатами поточного контролю

Критеріями оцінювання навчальних досягнень студентів за результатами поточного контролю є:

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

Розподіл балів, які отримують студенти за модулі

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)		Змістовий модуль № 3	Кількість балів	Сумарна к-ть балів
Змістовий модуль №1	Змістовий модуль №2			
T1, T2, T3, T4	T5, T6, T7, T8	Лабораторні роботи	(екзамен)	
15	15	30	40	100

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

Критерії підсумкового оцінювання результатів навчання студентів з навчальної дисципліни

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

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

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

- ◆ **16-20 балів:** коли студентом дані правильні вичерпні відповіді на всі поставлені запитання, уміло застосовані теоретичні знання, висвітлені питання не за завченою схемою, а своїми словами, з глибоким розумінням всіх основних процесів з термоелектричним перетворенням енергії.
- ◆ **11-15 балів:** коли студентом дані правильні відповіді на всі поставлені запитання, але відповіді не зовсім повні, в окремих випадках допущені незначні неточності у формулюванні закономірностей чи у записах аналітичних виразів пов'язаних з термоелектричним перетворенням енергії, окремі моменти не дістали належного з'ясування.
- ◆ **6-10 балів:** коли відповідь студента правильна і становить більше половини матеріалу, що містять питання згідно програми, але присутні істотні помилки у поясненні основних явищ пов'язаних з термоелектричним перетворенням енергії.
- ◆ **0-5 балів:** коли не дано правильні відповіді на поставлені запитання, або відповіді надто поверхові, непослідовні і неточні, виявляють незнання студентом програмного матеріалу, містять грубі помилки, що свідчить про нерозуміння основних понять та явищ пов'язаних з термоелектричним перетворенням енергії.

(пункт 3 білетів)

- ◆ **8-10 балів:** коли студентом дані правильні вичерпні відповіді на всі поставлені запитання,

уміло застосовані теоретичні знання, висвітлені питання не за завченою схемою, а своїми словами, з глибоким розумінням всіх основних процесів і явищ термоелектрики.

- ◆ **6-7 балів:** коли студентом дані правильні відповіді на всі поставлені запитання, але відповіді не зовсім повні, в окремих випадках допущені незначні неточності у формулюванні закономірностей чи у записах аналітичних виразів, окремі моменти не дістали належного з'ясування.
- ◆ **4-5 балів:** коли відповідь студента правильна і становить більше половини матеріалу, що містять питання згідно програми, але присутні істотні помилки у поясненні основних явищ термоелектрики.
- ◆ **0-3 балів:** коли не дано правильні відповіді на поставлені запитання, або відповіді надто поверхові, непослідовні і неточні, виявляють незнання студентом програмного матеріалу, містять грубі помилки, що свідчить про нерозуміння основних понять та явищ термоелектрики.

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

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

Критерії підсумкової оцінки як показника результатів вивчення навчальної дисципліни

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

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

<p>«А» 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 підготовки до лабораторних робіт; – належним чином виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю або допускав при усних відповідях та тестуванні окремі незначні неточності.
<p>«В» 80-89 балів ставиться у разі,</p>	<ul style="list-style-type: none"> – розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – робив узагальнення та висновки з окремих питань; – виконав усі лабораторні роботи; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але недостатньо використовував додаткову літературу;

якщо студент:	<ul style="list-style-type: none"> – при усних відповідях не досить повно і аргументовано викладав матеріал, а при тестуванні мали місце окремі неточності; – не проявив творчий підхід до виконання індивідуальних завдань та наукових повідомлень.
«С» 70-79 балів ставиться у разі, якщо студент:	<ul style="list-style-type: none"> – розкривав згідно з програмою дисципліни зміст питань; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності при усних відповідях, тестуванні; – не проявляв належної активності на лекційних та лабораторних заняттях, недостатньо використовував додаткову літературу; неохайно виконував завдання лабораторних робіт.
«D» 60-69 ставиться у разі, якщо студент:	<ul style="list-style-type: none"> – відповідав на окремі питання, які обговорювалися; – формулював висновки з окремих питань; – виконував завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав окремі неточності; – не проявляв належної активності на лабораторних заняттях та старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував додаткову літературу; – виконав не всі завдання для самостійної роботи, або не виконав хоча б одну лабораторну роботу.
«E» 50-59 балів ставиться у разі, якщо студент:	<ul style="list-style-type: none"> – відповідав на окремі питання, які обговорювалися; – виконував окремі завдання для самостійної роботи; – виконав завдання модульного контролю, але допускав неточності при усних відповідях (будуючи свою відповідь на звичайному повторенні навчального матеріалу без його осмислення), тестуванні; – не проявляв належної активності на лабораторних заняттях, старанності при виконанні завдань для самостійної роботи; – недостатньо використовував основну та додаткову літературу; – виконав не всі лабораторні роботи; – не належним чином виконував індивідуальні завдання.
«Fx» 35-49 балів ставиться у разі, якщо студент:	<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; – допускав принципові помилки під час виконання завдань; – не виконував лабораторні роботи; – не виконав завдання модульного контролю.
«F» 1-34 балів ставиться у разі, якщо студент:	<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 виконував лабораторні 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. Розкажіть, які конструктивні особливості термоелектричних модулів для ТЕГ.
2. Модулі яких компаній ви знаєте? Наведіть їх технічні характеристики.
3. Які існують методи мінімізації теплових та електричних втрат в модулі?

4. З якою метою герметизують термоелектричні модулі? Методи герметизації.
5. Поясніть концепцію децентралізації виробництва електричної та теплової енергії. Приведіть переваги, недоліки.
6. Вкажіть основні ознаки, за якими проводять класифікацію ТЕГ.
7. Наведіть класифікацію ТЕГ за конструктивними схемами.
8. Наведіть переваги та недоліки панельних та радіальних схем ТЕГ. Опишіть кульову схему ТЕГ.
9. Вкажіть, де використовуються ТЕГ виконані по короткозамкнутій схемі.
10. Перерахуйте основні базові елементи теплових схем ТЕГ.
11. Які системи відведення тепла від ТЕБ генераторів Вам відомі?
12. Приведіть схеми ТЕГ без регенерації тепла.
13. Які Ви знаєте схеми ТЕГ, в яких використана регенерація тепла?
14. Приведіть схеми ТЕГ з частковою та повною регенерацією тепла.
15. Дайте поняття про монолітні та проникні термоелементи.
16. Наведіть приклади ТЕГ з конвективним відведенням тепла від ТЕБ.
17. Наведіть теплові схеми ТЕГ з ізотопними та ядерно-реакторними джерелами тепла.
18. Які схеми відведення тепла використовуються в ТЕГ з ізотопними та ядерно-реакторними джерелами тепла?
19. Опишіть теплові схеми, які використовуються в ТЕГ наземного призначення.
20. Опишіть теплові схеми, які використовуються в ТЕГ космічного призначення.
21. Приведіть раціональні схеми ТЕГ, що використовують при роботі тепло згоряння газового палива.
22. Дайте загальну характеристику джерел тепла на органічному паливі.
23. Охарактеризуйте органічні палива: тверді, рідкі, газові.
24. Наведіть переваги каталітичного методу одержання тепла.
25. Які особливості роздільної та сумісної подачі палива в джерелах тепла для ТЕГ?
26. Приведіть конструкцію та принцип роботи інфрачервоного пальника на газовому паливі.
27. Оцініть загальні властивості радіоізотопних джерел тепла.
28. Які радіоізотопи (речовини) використовуються в джерелах тепла для ТЕГ?
29. Які речовини використовують в якості палива в ядерно-реакторних джерелах тепла?
30. Назвіть основні конструкційні елементи системи підведення і відведення тепла, що використовуються в ТЕГ. Назвіть основні властивості цих елементів, що визначають доцільність їх використання в ТЕГ.

Модуль 2

1. Які особливості роздільної та сумісної подачі палива в джерелах тепла для ТЕГ?
2. Приведіть конструкцію та принцип роботи інфрачервоного пальника на газовому паливі.
3. Оцініть загальні властивості радіоізотопних джерел тепла.
4. Які радіоізотопи (речовини) використовуються в джерелах тепла для ТЕГ?
5. Які речовини використовують в якості палива в ядерно-реакторних джерелах тепла?
6. Назвіть основні конструкційні елементи системи підведення і відведення тепла, що використовуються в ТЕГ. Назвіть основні властивості цих елементів, що визначають доцільність їх використання в ТЕГ.
7. Приведіть методику розрахунку джерела тепла для ТЕГ на рідкому та газовому паливі.
8. Наведіть метод розрахунку енергетичних параметрів ТЕГ в режимі максимального ККД.
9. Наведіть метод розрахунку енергетичних параметрів ТЕГ в режимі максимальної потужності.
10. Які фактори визначають ефективність ТЕГ на органічному паливі. Наведіть вирази для ККД пальника, термоперетворювача та ТЕГ в цілому.
11. Надійність термогенераторів. Дайте визначення, наведіть фактори, які визначають

- надійність ТЕГ в цілому.
12. 36. Опишіть термогенератори раннього періоду розвитку термоелектрики. Наведіть їх фізичні моделі.
 13. Опишіть термогенератори з каталітичними джерелами тепла, їх фізичні моделі.
 14. Дайте загальну характеристику мікрогенераторів на органічному паливі, їх фізичні моделі, області використання.
 15. Приведіть хід розрахунку параметрів ТЕГ на органічному паливі, якщо відомі основні характеристики модуля.
 16. Опишіть техніко-економічні аспекти використання термогенераторів. Перспективи широкого практичного використання ТЕГ.
 17. Наведіть схему теплових витрат в ТЕГ.
 18. Приведіть схему розрахунку ТЕГ на газовому паливі (пропан-бутані).
 19. Які втрати тепла є основними в ТЕГ з джерелами тепла на органічному паливі?
 20. Опишіть ТЕГ компанії "TES" для живлення навігаційних пристроїв та катодного захисту трубопроводів. Наведіть фізичні моделі ТЕГ.
 21. Які ви знаєте ТЕГ виробництва "Global Thermoelectric"?
 22. Які особливості ТЕГ виробництва "Global Thermoelectric"? Наведіть фізичні моделі ТЕГ.
 23. Опишіть ТЕГ виробництва компанії "Hi-Z"? Наведіть фізичні моделі ТЕГ цієї компанії.
 24. Опишіть основні типи конструкцій ТЕГ Інституту термоелектрики, їх фізичні моделі.
 25. Назвіть перспективні області використання ТЕГ на рідкому та газовому паливі.
 26. Приведіть раціональні схеми ТЕГ, що використовують тепло згоряння газового палива.
 27. Опишіть ТЕГ з повною регенерацією тепла, що відводиться від холодних спаїв ТЕБ.
 28. Ефект Пельт'є. Коефіцієнт Пельт'є.
 29. Ефект Зеєбека. ТермоЕРС.
 30. Ефект Томсона. Тепло Джоуля-Ленца

Питання для підсумкового контролю

1. Розкажіть, які конструктивні особливості термоелектричних модулів для ТЕГ.
2. Модулі яких компаній ви знаєте? Наведіть їх технічні характеристики.
3. Які існують методи мінімізації теплових та електричних втрат в модулі?
4. З якою метою герметизують термоелектричні модулі? Методи герметизації.
5. Поясніть концепцію децентралізації виробництва електричної та теплової енергії. Приведіть переваги, недоліки.
6. Вкажіть основні ознаки, за якими проводять класифікацію ТЕГ.
7. Наведіть класифікацію ТЕГ за конструктивними схемами.
8. Наведіть переваги та недоліки панельних та радіальних схем ТЕГ. Опишіть кульову схему ТЕГ.
9. Вкажіть, де використовуються ТЕГ виконані по короткозамкнутій схемі.
10. Перерахуйте основні базові елементи теплових схем ТЕГ.
11. Які системи відведення тепла від ТЕБ генераторів Вам відомі?
12. Приведіть схеми ТЕГ без регенерації тепла.
13. Які Ви знаєте схеми ТЕГ, в яких використана регенерація тепла?
14. Приведіть схеми ТЕГ з частковою та повною регенерацією тепла.
15. Дайте поняття про монолітні та проникні термоелементи.
16. Наведіть приклади ТЕГ з конвективним відведенням тепла від ТЕБ.
17. Наведіть теплові схеми ТЕГ з ізотопними та ядерно-реакторними джерелами тепла.
18. Які схеми відведення тепла використовуються в ТЕГ з ізотопними та ядерно-реакторними джерелами тепла?
19. Опишіть теплові схеми, які використовуються в ТЕГ наземного призначення.
20. Опишіть теплові схеми, які використовуються в ТЕГ космічного призначення.

21. Приведіть раціональні схеми ТЕГ, що використовують при роботі тепло згоряння газового палива.
22. Дайте загальну характеристику джерел тепла на органічному паливі.
23. Охарактеризуйте органічні палива: тверді, рідкі, газові.
24. Наведіть переваги каталітичного методу одержання тепла.
25. Які особливості роздільної та сумісної подачі палива в джерелах тепла для ТЕГ?
26. Приведіть конструкцію та принцип роботи інфрачервоного пальника на газовому паливі.
27. Оцініть загальні властивості радіоізотопних джерел тепла.
28. Які радіоізотопи (речовини) використовуються в джерелах тепла для ТЕГ?
29. Які речовини використовують в якості палива в ядерно-реакторних джерелах тепла?
30. Назвіть основні конструкційні елементи системи підведення і відведення тепла, що використовуються в ТЕГ. Назвіть основні властивості цих елементів, що визначають доцільність їх використання в ТЕГ.
31. Приведіть методику розрахунку джерела тепла для ТЕГ на рідкому та газовому паливі.
32. Наведіть метод розрахунку енергетичних параметрів ТЕГ в режимі максимального ККД.
33. Наведіть метод розрахунку енергетичних параметрів ТЕГ в режимі максимальної потужності.
34. Які фактори визначають ефективність ТЕГ на органічному паливі. Наведіть вирази для ККД пальника, термоперетворювача та ТЕГ в цілому.
35. Надійність термогенераторів. Дайте визначення, наведіть фактори, які визначають надійність ТЕГ в цілому.
36. Опишіть термогенератори раннього періоду розвитку термоелектрики. Наведіть їх фізичні моделі.
37. Опишіть термогенератори з каталітичними джерелами тепла, їх фізичні моделі.
38. Дайте загальну характеристику мікрогенераторів на органічному паливі, їх фізичні моделі, області використання.
39. Приведіть хід розрахунку параметрів ТЕГ на органічному паливі, якщо відомі основні характеристики модуля.
40. Опишіть техніко-економічні аспекти використання термогенераторів. Перспективи широкого практичного використання ТЕГ.
41. Наведіть схему теплових витрат в ТЕГ.
42. Приведіть схему розрахунку ТЕГ на газовому паливі (пропан-бутані).
43. Які втрати тепла є основними в ТЕГ з джерелами тепла на органічному паливі?
44. Опишіть ТЕГ компанії "TES" для живлення навігаційних пристроїв та катодного захисту трубопроводів. Наведіть фізичні моделі ТЕГ.
45. Які ви знаєте ТЕГ виробництва "Global Thermoelectric"?
46. Які особливості ТЕГ виробництва "Global Thermoelectric"? Наведіть фізичні моделі ТЕГ.
47. Опишіть ТЕГ виробництва компанії "Hi-Z"? Наведіть фізичні моделі ТЕГ цієї компанії.
48. Опишіть основні типи конструкцій ТЕГ Інституту термоелектрики, їх фізичні моделі.
49. Назвіть перспективні області використання ТЕГ на рідкому та газовому паливі.
50. Приведіть раціональні схеми ТЕГ, що використовують тепло згоряння газового палива.
51. Опишіть ТЕГ з повною регенерацією тепла, що відводиться від холодних спаїв ТЕБ.
52. Ефект Пельть'є. Коефіцієнт Пельть'є.
53. Ефект Зеєбека. ТермоЕРС.
54. Ефект Томсона. Тепло Джоуля-Ленца

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. Термоелектричні генератори: Конспект лекцій.- Частина I / Укл.: Л.Т.Струтинська, В.Я. Михайловський. – Чернівці: Рута, 2008 – 80 с.
2. Термоелектричні генератори: Конспект лекцій, частина II / Укл.: Л.Т.Струтинська, В.Я. Михайловський. – Чернівці: Рута, 2009 – 88 с.
3. Термоелектричні генератори : методичні рекомендації до лабораторних робіт / укл.: Л. Т. Струтинська, В. Я. Михайловський. – Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2010. – 45 с.

Додаткова література

1. V.V. Lysko, I.A. Konstantynovych, M.V. Havryliuk, O.S. Rusnak. (2024) Experimental studies on the parameters of thermoelectric generator energy converters with different height of legs. Journal of Thermoelectricity, (4), 50-60. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-4-50-60>
2. L.I. Anatyshuk, A.V. Prybyla, M.M. Korop, Yu.I. Kiziuk, Konstantynovych I.A. (2024) Thermoelectric power sources using low-grade heat (Part 3). Journal of Thermoelectricity, (4), 61-68. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-4-61-68>
3. L.I. Anatyshuk, V.V. Lysko, I.A. Konstantynovych, M.V. Havryliuk. (2024) Universal thermoelectric generator with heat removal by water tanks, Journal of Thermoelectricity (3), 74-85. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-3-74-85>
4. V.V. Lysko, I.A. Konstantynovych, R.V. Kuz, T.V. Derevianko. (2024) Possibilities of reducing the specific cost of thermoelectric generator energy converters Journal of Thermoelectricity, (3), 44-52. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-3-44-52>
5. L.I. Anatyshuk, A.V. Prybyla, M.M. Korop, Yu.I. Kiziuk, Konstantynovych I.A. (2024) Thermoelectric power sources using low-grade heat (Part 2). Journal of Thermoelectricity, (3), 36-43. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-3-36-43>
6. L.I. Anatyshuk, A.V. Prybyla, M.M. Korop, Yu.I. Kiziuk, Konstantynovych I.A. (2024) Thermoelectric power sources using low-grade heat (Part 1). Journal of Thermoelectricity, (1-2), 90-96. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-1-2-90-96>
7. I.A. Konstantynovych, M.M. Ivanochko, K.O. Kadelyuk (2024) Design of a portable universal thermoelectric generator. Journal of Thermoelectricity, (1-2), 78-89. DOI: <https://doi.org/10.63527/1607-8829-2024-1-2-78-89>

Інформаційні ресурси

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

1. Політика щодо академічної доброчесності

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

- «Етичний кодекс Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича»

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

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

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, використанні методики досліджень і джерела інформації.

Порушенням академічної доброчесності вважається:

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

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

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

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

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

- повторне проходження відповідного освітнього компонента освітньої програми.