

**Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича**

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

Кафедра електроніки і енергетики

## **СИЛАБУС**

**навчальної дисципліни**

### **“Термоелектричні прилади і пристрої в енергетиці”**

обов'язкова

Освітньо-професійна програма **Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Спеціальність **141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Галузь знань **14 “ Електрична інженерія”**

Рівень вищої освіти **другий магістерський**

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

Мова навчання українська

Розробники: Стребежев Віктор Миколайович, доцент, к.ф.-м.н., доцент

Профайл викладача <https://energy.chnu.edu.ua/pro-kafedru/spivrobotnyky/strebezhev-viktor-mykolaiovych/>

Контактний тел. 0500867562

E-mail: v.strebezhev@chnu.edu.ua

Сторінка курсу в Moodle <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=2037>

**Консультації**

Очні консультації: **вівторок з 16.10 до 17.10**

Онлайн-консультації: **серeda з 17.00 до 18.00**

Очні консультації: за попередньою домовленістю: **четвер з 15.00 до 16.00**

## **1. Анотація дисципліни (призначення навчальної дисципліни)**

Курс “Термоелектричні прилади і пристрої в енергетиці” для студентів закладів вищої освіти є навчальною дисципліною з вивчення наукових, технологічних, матеріалознавчих основ створення термоелектричних перетворювачів теплової енергії в електричну, яка включає в себе розгляд фізичних механізмів та моделей функціонування термоелектричних елементів і генераторів, сучасних конструкцій та технічних умов практичного застосування в енергетиці термоелектричних перетворювачів енергії, з’ясування процесів оптимізації характеристик та параметрів термоелектричних приладів і пристроїв.

Термоелектрика - один з перспективних напрямків розвитку науки і техніки, який формує основні принципи і критерії створення термоелектричних перетворювачів для передових областей промислового та наукового застосування, тому вивчення дисципліни “Термоелектричні прилади і пристрої в енергетиці” є необхідним для формування високого рівня професійної підготовки за спеціальністю “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”.

## **2. Мета навчальної дисципліни:**

Метою викладання курсу “Термоелектричні прилади і пристрої в енергетиці” є формування у студентів системи базових знань з теоретичних основ створення термоелектричних перетворювачів теплової енергії в електричну; вивчення студентами основних конструкцій та технічних особливостей практичного використання термоелектричних перетворювачів теплової і сонячної енергії; характеристик та параметрів термоелектричних елементів і генераторів; ознайомлення студентів з сучасними розробками термогенераторів у світовій промисловості, а також з основними критеріями вибору термоелектричних перетворювачів для конкретних областей промислового та наукового застосування.

**3. Пререквізити.** Засвоєння матеріалу даної дисципліни передбачає вивчення основ дисциплін “Напівпровідникові перетворювачі сонячної енергії”, “Фототермічне перетворення енергії”.

**Постреквізити.** Засвоєння матеріалу даної дисципліни є базою для набуття ФК та ПРН дисципліни “Енергетичні установки на основі альтернативних та відновлюваних джерел енергії”, Переддипломна практика за темою магістерської кваліфікаційної роботи, Магістерська кваліфікаційна робота.

#### 4. Результати навчання:

##### знати:

- фізичні основи функціонування і моделі термогенераторів (ТЕГ);
- типи та параметри термоелектричних модулів для ТЕГ;
- класифікацію термоелектричних генераторів за головними ознаками;
- раціональні системи підведення та відведення тепла;
- основні методи та раціональні схеми рекуперації тепла;
- основні типи джерел тепла для термогенераторів;
- конструкції, характеристики та параметри ТЕГ різного призначення та особливості їх експлуатації

##### уміти:

- обґрунтовувати граничні параметри та характеристики термоелектричних вимірювальних приладів і систем;
- вміти аналізувати особливості теплових процесів у різних термоелектричних пристроях і їх вплив на параметри і характеристики;
- вміти розраховувати та експериментально визначати ефективність термоелектричних перетворювачів енергії;
- використовувати сучасні методи розробки термоелектричних перетворювачів енергії для систем енергозабезпечення, охолодження та опалення, метрологічної та вимірювальної апаратури;
- володіти методами оптимізації систем охолодження, використовуючи специфіку термоелектричних явищ.

**Компетентності**, якими має оволодіти студент у процесі вивчення дисципліни “Термоелектричні прилади і пристрої в енергетиці”:

ЗК01. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК02. Здатність до використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК03. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК04. Здатність використовувати іноземну мову для здійснення науково-технічної діяльності.

ЗК05. Здатність приймати обґрунтовані рішення.

ЗК06. Здатність вчитися та оволодівати сучасними знаннями.

ЗК09. Здатність виявляти зворотні зв'язки та корегувати свої дії з їх врахуванням.

ФК01. Здатність застосовувати існуючі та розробляти нові методи, методики, технології та процедури для вирішення інженерних завдань електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК02. Здатність розробляти та впроваджувати заходи з підвищення надійності, ефективності та безпеки при проектуванні та експлуатації обладнання та об'єктів електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК03. Здатність здійснювати аналіз техніко-економічних показників та експертизу проектно-конструкторських рішень в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

ФК04. Здатність демонструвати знання і розуміння математичних принципів і методів, необхідних для використання в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

ФК07. Здатність розробляти плани і проекти для забезпечення досягнення поставленої певної мети з урахуванням всіх аспектів проблеми, що вирішується, включаючи виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію обладнання електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів.

### **Програмні результати навчання:**

РН01. Аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному, електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах нетрадиційної та відновлювальної енергетики.

РН02. Окреслювати план заходів із підвищення надійності, безпеки експлуатації та продовження ресурсу електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання комплексів і систем нетрадиційної та відновлювальної енергії.

РН03. Оцінювати вплив на довкілля техногенних факторів при виробництві пристроїв нетрадиційної енергетики.

РН05. Володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

РН06. Здійснювати пошук джерел ресурсної підтримки для додаткового навчання, наукової та інноваційної діяльності.

РН10. Обґрунтовувати вибір напряму та методики наукового дослідження з урахуванням сучасних проблем в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

РН14. Опанувати новітні розробки фотоелектричного, фототермічного і термоелектричного методів перетворення енергії для ефективного застосування в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах.

РН15. Враховувати сучасні тенденції розвитку фізики і техніки відновлюваних джерел енергії при виготовленні пристроїв відновлюваної енергетики з використанням енергії Сонця, вітру і води.

РН16. Використовувати сучасні засоби діагностики і контролю якості виробництва електроенергії в області відновлюваної енергетики.

## 5. Опис навчальної дисципліни

### 5.1. Дидактична карта навчальної дисципліни

Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість		Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	самостійна робота	завдання	
Денна	1	1	7,0	210	30	–	–	30	150	–	екзамен

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усьо - го	у тому числі				
		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7
<b>Модуль 1</b>						
<b>Змістовий модуль 1. Термоелектричні явища в твердих тілах</b>						
Тема 1. <u>Термоелектрика, як важлива складова альтернативної енергетики і основні етапи розвитку</u>	17	2	-	-	-	15
Тема 2. <u>Термоелектричні явища. Ефект Зеебека. Виникнення термоЕРС. Ефект Зеебека. Механізми виникнення термоЕРС. Об'ємна та контактна складові термоЕРС. Диференційна термоЕРС в області домішкової провідності в напівпровідниках. ТермоЕРС у випадку власної провідності.</u>	23	4	-	5	-	15
Тема 3. <u>Термоелектричні явища. Ефекти Пельтьє і Томсона. Виникнення ефекту Пельтьє.</u>	23	4	-	5	-	15

Виділення і поглинання тепла на контакті метал – напівпровідник. Зв'язок коефіцієнта Пельтьє і термоЕРС. Ефект Пельтьє на контакті двох різнорідних напівпровідників (n-p перехід). Суть ефекту Томсона. Зв'язок коефіцієнта Томсона і термоЕРС.						
Тема 4. <u>Теплопровідність напівпровідників.</u> Коефіцієнт теплопровідності. Електронна теплопровідність напівпровідників. Фононна (граткова) теплопровідність. Закон Відемана – Франца.	21	2	-	-	-	15
Тема 5. <u>Фізичні основи функціонування термоелементів і основні їх параметри.</u> Класифікація термоелементів. Термопарний елемент. Коефіцієнт корисної дії термоелемента. Потужність, яка виробляється термоелементом. Розподіл потоків тепла по довжині термоелемента. Термоелектрична добротність термоелемента та його гілок.	23	4	-	5	-	15
Разом за змістовим модулем 1	107	16	-	15	-	75
<b>Модуль 2</b>						
<b>Змістовий модуль 2. Фізичні основи термоелектричного перетворення енергії в приладах і пристроях енергетики</b>						
Тема 6. <u>Термоелектричні матеріали для термоелементів на різні температурні діапазони.</u> Основні вимоги до фізичних властивостей матеріалів. Технологічні вимоги до термоелектричних матеріалів. Матеріали низькотемпературного діапазону. Матеріали для середнього температурного діапазону. Матеріали для високотемпературного діапазону	21	2	-	5	-	15
Тема 7. <u>Методи визначення</u>	21	2	-	5	-	15

<u>параметрів термоелектричних матеріалів.</u> Методи вимірювання характеристик матеріалу: двозондові, метод Ван-дер-Пау, чотиризондові методи. Методи вимірювання термоЕРС. Методи вимірювання теплопровідності. Методи визначення термоелектричної добротності матеріалів для термоелементів.						
Тема 8. <u>Сонячні термогенератори та ТЕГ з джерелами тепла на ядерному паливі.</u> Конструкції сонячних термогенераторів. Розподіл сонячної енергії в термогенераторі. Сонячні термогенератори без концентраторів сонячного випромінювання. Сонячні термогенератори з концентраторами сонячного випромінювання. Сонячні термогенератори з акумуляторами тепла. Сонячні термогенератори для космосу.	23	4	-	5	-	15
Тема 9. <u>Термогенератори на газовому паливі, їх класифікація та особливості конструкції.</u>	19	2	-	-	-	15
Тема 10. <u>Фізичні моделі термогенераторів на рідкому паливі та їх конструктивні відмінності</u>	19	4	-	-	-	15
Разом за змістовим модулем 2	103	14	-	15	-	75
<b>Усього годин</b>	210	30	-	30	-	150

### 5.1.1. Теми лабораторних занять

№	Назва теми	Кількість годин
---	------------	-----------------

1	Дослідження температурної залежності питомої електропровідності матеріалу.	5
2	Дослідження температурної залежності термоЕРС напівпровідникового матеріалу.	5
3	Вивчення температурної залежності коефіцієнта термоелектричної добротності матеріалу в заданому температурному інтервалі.	5
4	Вивчення термоелектричних явищ в напівпровідниках – ефект Пельтьє.	5
5	Визначення неоднорідності зливків анізотропних термоелектричних кристалів CdSb та ZnSb чотирьохзондовим методом.	5
6	Дослідження температури термопарами на різні діапазони та визначення товщини дротів термопар методом оптиметра.	5

## 5.2. Зміст завдань для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Етапи розвитку термоелектрики. Термоелектричні явища: ефекти Пельтьє, Томсона, Зеєбека.	15
2	Узагальнена теорія термоелектричного перетворення енергії. Класифікація термоелементів.	15
3	Термопари. Анізотропні термоелементи.	15
4	Термоелементи в магнітному полі. Плівкові термоелементи.	15
5	Термоелектричні системи охолодження у транспорті, електроніці та побуті.	15
6	Використання термоелектричного охолодження у медицині.	15
7	Термоелектричні модулі для термогенераторів та їх конструкції.	15
8	Методи розрахунку та оптимізації термогенераторів ТЕГ з джерелами тепла на ядерному паливі.	15
9	Сонячні терморегулятори.	15
10	Економічна ефективність використання ТЕГ.	15



## **6. Освітні технології, методи навчання і викладання навчальної дисципліни**

При проведенні лекційних та лабораторних занять з предмету “Термоелектричні прилади і пристрої в енергетиці” застосовуються наступні методи:

Частково-пошуковий метод, евристичний метод, дослідницький метод навчання.

## **7. Система контролю та оцінювання**

Види та форми поточного контролю з предмету “Термоелектричні прилади і пристрої в енергетиці”:

- письмові модульні контрольні роботи;
- тестові завдання;
- реферати;
- презентації результатів виконаних завдань та досліджень;
- студентські презентації та виступи на наукових заходах;
- завдання на лабораторному обладнанні, тренажерах, реальних об'єктах;
- захист лабораторних робіт (усна відповідь на контрольні запитання).
- інші види індивідуальних та групових завдань.

Форма підсумкового контролю з предмету “Термоелектричні прилади і пристрої в енергетиці”: **екзамен**

Критерієм успішного проходження здобувачем освіти підсумкового оцінювання може бути досягнення ним мінімальних порогових рівнів оцінок за кожним запланованим результатом навчання навчальної дисципліни. Знання студентів на екзамені оцінюється як з теоретичної, так і з практичної підготовки.

Критерії оцінювання навчальних досягнень студентів за шкалою ECTS та національною шкалою на екзамені з дисципліни “Термоелектричні прилади і пристрої в енергетиці”:

Студент має відповісти на три питання до дисципліни “Термоелектричні прилади і пристрої в енергетиці”, які поставлені у відповідному білеті. За відповідь на перше і друге питання у білеті студент може максимально одержати по 13 балів, на третє питання – 14 балів.

Результати іспиту оцінюються відповідно до прийнятої уніфікованої університетської шкали: 40 балів від загальної 100-бальної, при цьому:

0–2 балів. Студент виявляє слабе уявлення про дисципліну “Термоелектричні прилади і пристрої в енергетиці”.

3-5 балів. Студент має фрагментарні уявлення з предмета вивчення і може відтворити окремі його частини. Знає окремі закономірності та фізичні основи створення термоелектричних приладів і пристроїв в енергетиці, але не розуміє їх призначення.

6-7 балів. Студент невпевнено знає основні розділи, означення, факти, що стосуються термоелектричних приладів і пристроїв та технологічних методів їх формування.

8-9 балів. Студент за допомогою викладача відтворює основні частини навчального теоретичного матеріалу, дає визначення основних понять і формулює окремі закони й закономірності, що розглядалися в курсі.

10-11 балів. Студент самостійно відтворює значну частину навчального матеріалу, формулює закони й закономірності, що розглядалися в курсі, але допускає несуттєві помилки. Може пояснити процеси або явища, які стосуються термоелектричних приладів і пристроїв в енергетиці.

11-12 балів. Студент самостійно відтворює практичний і теоретичний навчальний матеріал, пояснює суть фізичних основ термоелектричних приладів і пристроїв, узагальнює їх, але допускає окремі неточності.

12-14 балів. Студент вільно володіє засвоєними знаннями і використовує їх у нестандартних ситуаціях, самостійно оцінює суть явищ і процесів, що виникають при функціонуванні термоелектричних приладів і пристроїв, встановлює зв'язки між явищами що в них протікають, має системні знання з предмета, аргументовано використовує їх, у тому числі в проблемних ситуаціях; самостійно знаходить і використовує інформацію згідно з поставленим завданням; аналізує додаткову інформацію.

У відомість обліку успішності та залікову книжку (індивідуальний навчальний план) студента заноситься сумарна кількість балів поточного (0-60 балів) та підсумкового контролю (екзамен; 0-40 балів) згідно такої таблиці:

### Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS	
	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)	задовільно - достатньо
Незадовільно	FX (35-49)	(незадовільно) з можливістю повторного складання
	F (1-34)	(незадовільно) з обов'язковим повторним

		курсом
--	--	--------

### Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне оцінювання (аудиторна та самостійна робота)												Екзамен (Кількість балів)	Сума-рна к-ть балів
Змістовий модуль 1						Змістовий модуль 2						40	100
T1	T2	T3	T4	T5	-	T6	T7	T8	T9	T10	-		
5	7	7	7	7	-	4	5	5	6	7	-		

T1, T2 ... T10 – теми змістових модулів.

### 8. Рекомендована література

#### Методичні та наукові роботи автора

1. Основи субмікронної та нанотехнології: навч. посібник. Ч.1 / уклад.: **В.М. Стребежев**, І.М. Юрійчук. Чернівці: Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича. 2021. 120 с.

2. **Стребежев В.М.**, Грицюк Б.М. Методи дослідження поверхні: Методичні рекомендації до лабораторних робіт. Чернівці: Рута.– 2004.– 47 с.

3. I. Savchuk, P.M. Fochuk, V.V. Strebezhev, G.I. Kleto, I.M. Yuriychuk, Y.B. Khalavka, Yu.K. Obedzynski, **V.M. Strebezhev**/ The effect of laser treatment on the morphology and structure of CdSb-Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te and CdSb-In<sub>4</sub>(Se<sub>3</sub>)<sub>1-x</sub>Te<sub>3x</sub> thin film heterojunctions // Applied Surface Science. – 2017. – V.418. – P. 536-541. IF=2,982 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433216325788?>

4. Патент України на корисну модель № 131779. Ростовий контейнер для електрорідинної епітаксії. Ю.Г. Добровольський, **В.М. Стребежев**, В.В. Стребежев. (заявка № u 2018 08981 від 28.08.2018 МПК (2018.01) B65D 81/00, C30B 19/00, H01L 21/20, H01L 21/208. Опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=255170>

#### ОСНОВНА

1. Гуржій А. М. Електротехніка та основи електроніки : підручник / А. М. Гуржій,

С. К. Мещанінов, А. Т. Нельга, В. М. Співак. – Київ : Літера ЛТД, 2020. – 288 с. ISBN 978-966-945-218-4

2. Ащеулов А.А. Термоелектричні модулі Пельтьє на основі кристалів твердих розчинів Bi-Te-Se-Sb / Ащеулов А.А., Горобець М.В., Добровольський Ю.Г., Романюк І.С. –Чернівці: Прут, 2011. -168с.

3. Анатычук Л.И. Термоэлементы. Черновцы: Букрек.–2003.– 376 с.

4. Ranjan Kumar, Ranber Singh / Thermoelectricity and Advanced Thermoelectric Materials.- Woodhead Publishing, 2021, 343 p.

5. Ryoji Funahashi / Thermoelectric Energy Conversion. Theories and Mechanisms, Materials, Devices, and Applications.- Woodhead Publishing, 2021, 699 p.

6. Термоэлементы и термоэлектрические устройства. Справочник / Л.И. Анатычук. – Киев: Наукова думка, 1979. –769 с.

7. Буряк А.А., Карпова Н.Б. Очерки развития термоэлектричества. – Киев: Наукова думка, 1988. –208 с.

8. Расчет и конструирование термоэлектрических генераторов и тепловых насосов. Справочник / Г.К. Котырло, Ю.Н. Лобунец. – Киев: Наукова думка, 1980. –315 с.

9. Журнали “Термоелектрика”. НАН України, Інститут термоелектрики. – Чернівці: Видавництво Інституту термоелектрики , 2013 - 2022 рр.  
[http://jt.inst.cv.ua/?page\\_id=89](http://jt.inst.cv.ua/?page_id=89)

10. Буряк А.А., Карпова Н.Б. Очерки развития термоэлектричества. – Киев: Наукова думка, 1988. –208 с.

#### Допоміжна

11. А.А. Ащеулов, Ю.Г. Добровольський, А.Г. Шайко-Шайковський, В.Д. Фотій, А.В. Клепиковський, І.С. Романюк/ Термоелектричні модулі Пельтьє підвищеної надійності. PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLID STATE T. 3, No 3 (2002) С. 508-514.

12. A. A. Ashcheulov. Vortex Express Method for Parameter Determination Thermoelectric Materials. March 2020/ DOI:[10.33955/2307-2180\(1\)2020.15-20](https://doi.org/10.33955/2307-2180(1)2020.15-20)

13. М.М. Прищепа, В.П. Погребняк. Мікроелектроніка. В 3ч. Ч.1. Елементи мікроелектроніки. Навч. посіб. Київ, Вища школа, 2004, 431с

14. Д.М. Фреїк. Технологія термоелектричних напівпровідникових матеріалів для

середньотемпературного діапазону (150-500°C). Квантово – розмірна та плівкова термоелектрика. Івано-Франківськ, 2014, <https://sps-nato.pu.if.ua/docs/Thermoelectricity%20in%20general%20and%20IF.pdf>

15. Анатичук, Л. І. Дослідження впливу термоелектричного тепломіра на визначення тепловиділення людини [Текст] / Л. І. Анатичук, Р. Р. Кобилянський // Термоелектрика. – 2012. – № 4. – С. 60-66.

16. Анатичук, Л. І. Про вплив системи теплообміну на ефективність термоелектричного кондиціонера [Текст] / Л. І. Анатичук, Р. В. Кузь, А. В. Прибила // Термоелектрика. – 2013. – № 1. – С. 75-81.

17. Анатичук, Л. І. Про вплив теплообмінних систем на ефективність термоелектричних приладів [Текст] / Л. І. Анатичук, А. В. Прибила // Термоелектрика. – 2012. – № 3. – С. 39-44.

### **Інформаційні ресурси**

<http://e-learning.chnu.edu.ua> - Сайт дистанційної освіти ЧНУ

[http://jt.inst.cv.ua/jt/jt\\_2017\\_03\\_uk.pdf](http://jt.inst.cv.ua/jt/jt_2017_03_uk.pdf)

<http://page.if.ua/uploads/pcss/vol3/0303-21.pdf>

<http://page.if.ua/uploads/pcss/vol9/0904-40.pdf>

<http://www.solidstatephys.chnu.edu.ua/res//solidstatephys/visnyk/t79/t9-25.pdf>

<https://www.sworld.com.ua/nvzb/5-1.pdf>

<http://um.co.ua/5/5-1/5-17760.html>

<https://subject-book.com/medicina/termoelektrichni-priladi-dlya-vikoristannya-v-kosmetologi%D1%97-termoelektrichni-priladi-dlya-vikoristannya-v-medicini.html>

<https://sps-nato.pu.if.ua/docs/Thermoelectricity%20in%20general%20and%20IF.pdf>

<https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/16654/1/%D0%92%D0%A5-2011-1-26.pdf> ДО 190-РІЧЧЯ ВІДКРИТТЯ ЕФЕКТУ ЗЕСБЕКА