



## Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни



# Термографічне обстеження фотоелектричних систем

### Шифр та назва спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка,  
176 – Мікро- та наносистемна техніка

### Інститут

ННІ Енергетики, електроніки та електромеханіки

### Освітня програма

Стала та відновлювана енергетика: електрична та мікроелектронна інженерія

### Кафедра

Електричних станцій (130)

### Рівень освіти

Магістр

### Тип дисципліни

Вибіркова, фокусна підготовка

### Семестр

2

### Мова викладання

Українська, англійська

## Викладачі, розробники



### Булгаков Олексій Віталійович

[Olexii.Bulhakov@khp.edu.ua](mailto:Olexii.Bulhakov@khp.edu.ua)

Асистент кафедри

Автор понад 20 наукових публікацій та навчально-методичних праць. Провідний лектор з дисциплін: «Основи термографії», «Енергетичний менеджмент та аудит», «Відновлювальні джерела енергії та вторинні енергоресурси».

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)



### Махотіло Костянтин Володимирович

[Kostiantyn.Makhotilo@khp.edu.ua](mailto:Kostiantyn.Makhotilo@khp.edu.ua)

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор

Автор понад 90 наукових публікацій та навчально-методичних праць. Провідний лектор з дисциплін: «Основи інформаційних технологій в електроенергетиці», «Облік та керування електроспоживанням», «Енергетична політика України та маркетинг енергії», «Моделювання та прогнозування електроспоживання», «Проблеми та перспективи розвитку електроенергетики та електромеханіки».

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

## Загальна інформація

### Анотація

Дисципліна зосереджується на вивченні принципів та методів термографічного аналізу фотоелектричних систем, для формування знань про техніку вимірювань та аналізу теплових характеристик фотоелектричних панелей, що дозволяє виявляти аномалії та недоліки в їх роботі; та отримання практичних навичок у використанні термографічного обладнання та програмного забезпечення для вирішення завдань щодо підвищення ефективності у галузі фотоелектрики.

Курс лекцій включає в себе вивчення основ термографії, принципів роботи фотоелектричних систем, теплового випромінювання та її взаємодії з фоточутливими матеріалами, знайомить з методами обстеження, обробки та аналізу отриманих термографічних зображень для виявлення дефектів, перевірки ефективності фотоелектричних систем та покращення їх функціональності. Дисципліна спрямована на підготовку фахівців, які здатні ефективно використовувати термографічні методи для дослідження та покращення роботи фотоелектричних систем.

### **Мета та цілі дисципліни**

Вивчення фізичних основ принципу роботи електронно-оптичних пристроїв для вимірювання теплового випромінювання та його співставлення з температурою поверхонь; вивчення методик використання тепловізорів у сфері термографічного аналізу фотоелектричних пристроїв; набуття навичок правильної інтерпретації і аналізу теплових зображень (термограм).

Цілі.

Знати:

- Фізичні основи термографії, включаючи властивості теплового випромінювання та основні принципи роботи інфрачервоних пристроїв
- Принципи взаємодії теплового випромінювання з фотоелектричними матеріалами
- Принципи роботи фотоелектричних системи
- Методи теоретичного моделювання теплових процесів в фотоелектричних системах

Вміти:

- Проводити термографічні вимірювання на фотоелектричних системах з використанням сучасного обладнання
- Оброблювати та аналізувати термографічні зображення для виявлення аномалій та оцінки теплових параметрів фотоелектричних систем
- Оцінювати термографічні результати з метою визначення стану та продуктивності фотоелектричних систем

### **Формат занять**

Лекції, практичні заняття, лабораторні заняття, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – екзамен.

### **Компетентності**

СК2. Здатність здійснювати тестування та діагностику приладів та обладнання, а також оброблення й аналіз отриманих результатів.

СК5. Здатність планувати, виконувати й керувати теоретичними та експериментальними науковими дослідженнями у сфері електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, а також мікро- та наносистемної техніки.

СК7. Здатність проектувати та впроваджувати ефективні, надійні й безпечні, зв'язані з мережею та автономні електрогенеруючі установки й станції, що використовують відновлювані джерела енергії, зокрема фотоелектричні.

СК8. Здатність планувати впровадження і керувати роботою відновлюваних джерел енергії для забезпечення сталого розвитку енергетики на основі технологій розумних мереж, розподіленої генерації та акумуляування енергії.

### **Результати навчання**

РН1. Формулювати й розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або наукові задачі під час проектування, виготовлення і дослідження електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів і систем, а також мікро- та наносистемної техніки різноманітного призначення та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у бізнес-проектах.

РН2. Визначати напрями, розробляти й реалізовувати проекти створення та модернізації електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів і систем, а також виробництва мікро- та наносистемної техніки з урахуванням технічних, економічних, правових, соціальних та екологічних аспектів.

PH8. Координувати роботу колективів виконавців для проведення наукових досліджень, проектування, розроблення, аналізу, розрахунку, моделювання, виробництва та тестування електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних комплексів і систем, а також мікро- та наносистемної техніки

PH7. Будувати й досліджувати фізичні, математичні й комп'ютерні моделі об'єктів та процесів електроенергетики, електротехніки, електромеханіки, а також мікро- та наноелектроніки.

PH9. Дотримуватися принципів академічної доброчесності.

PH10. Дотримуватися принципів та напрямів стратегії сталого розвитку енергетики, забезпечення енергетичної безпеки та переходу до відновлюваної енергетики в Україні, ЄС та світі.

PH11. Розуміти та використовувати правові акти, норми, правила та стандарти в галузі електроенергетики, зокрема відновлюваних джерел енергії.

PH12. Застосовувати наявне та опанувати нове програмне забезпечення, призначене для комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах, а також мікро- та наноелектронних системах.

PHc1.1. Визначати оптимальні технології, схеми організації й параметри обладнання установок та станцій з виробництва електроенергії на основі відновлюваних джерел енергії, зокрема фотоелектричних.

## Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 120 год. (4 кредитів ECTS): лекції – 32 год., практичні заняття – 16 год., лабораторні заняття – 16 год., самостійна робота – 56 год.

## Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Попередні дисципліни:

Фізичне матеріалознавство напівпровідникових приладів

Властивості та сучасні методи дослідження напівпровідникових приладів

## Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Лекції проводяться в інтерактивному режимі з використанням мультимедійних технологій.

Практичні завдання виконуються з використанням відкритого програмного забезпечення PCIRmeter та платформи Microsoft 365. Навчальні матеріали доступні для студентів на сайті дисципліни [thermography.online](http://thermography.online).

## Програма навчальної дисципліни

### Теми лекційних занять

#### Цілі навчальної дисципліни

Обсяг навчального матеріалу, види занять та організація роботи для його засвоєння, ознайомлення з критеріями оцінювання

#### Змістовий модуль 1. Основи термографії

##### Тема 1. Введення в термографію

##### Тема 2. Принципи інфрачервоної термографії

Тепло і теплопередача, основи теплопровідності, Закон теплопровідності Фур'є, Теплова провідність / опір, основи конвекції, Закон Ньютона-Ріхмана (основний закон тепловіддачі), основи випромінювання, електромагнітний спектр, пропускання атмосфери, Діапазони інфрачервоних хвиль і оптичні матеріали для термографії, Зразкові джерела інфрачервоного випромінювання, закон Планка, Закон зміщення Віна, Закон Стефана-Больцмана, Коефіцієнти випромінювання, відображення і пропускання, випромінювальна здатність, Фактори, що впливають на радіаційну здатність

##### Тема 3. Обладнання для термографії і збір даних

Обладнання для термографії і збір даних. Принципи роботи тепловізора, Критерії вибору тепловізора, спектральний діапазон, Діапазон вимірювань температури, Теплова чутливість (NETD), вибір об'єктива, оптичний дозвіл, Робота обладнання, Пристосування і допоміжні

пристрої, Функції управління тепловізором, Налаштування температурних параметрів (діапазон, рівень, дозвіл), вибір палітри, Визначення випромінювальної здатності, Виявлення, усунення та запобігання появи помилок зображення, Критерії вибору діапазону хвиль, Виявлення та компенсація відбитого випромінювання, Виявлення та компенсація конвекційних ефектів

#### **Тема 4. Обробка зображень**

Вимірювання температури, Безконтактна термометрія, Порівняльна кількісна термографія, Порівняльна якісна термографія, Вплив умов навколишнього середовища, Вимірювальні пристрої тепловізора, Вимірювальний інструмент, вибір палітри, Регулювання рівня і дозволу, Поправка на відстань (атмосферні умови), Поправка на радіаційну здатність, Статистичний аналіз, віднімання зображень, монтаж зображень, Побудова температурного тренду, Загальне керівництво по інтерпретації зображень, Загальне керівництво по встановленню критеріїв температурного стану (ISO 18434-1, стандарти, правила технічної експлуатації)

#### **Тема 5. Загальні застосування**

Типові застосування термографії в промисловості, Активна і пасивна термографія

#### **Тема 6. Діагностування і прогнозування**

Основні принципи діагностування (ISO 13379), Основні принципи прогнозування (ISO 13381-1)

#### **Змістовий модуль 2. Діагностика фотоелектричних систем**

#### **Тема 7. Виявлення дефектів і аномалій**

Застосування термографічних методів для виявлення потенційних дефектів, перегрівів чи несправностей в структурах фотоелектричних систем

#### **Тема 8. Оцінка ефективності систем**

Використання термографії для оцінки ефективності фотоелектричних систем шляхом вимірювання та аналізу їх теплових втрат

#### **Тема 9. Моніторинг теплових змін**

Використання термографії для постійного моніторингу теплових змін у фотоелектричних системах в режимі реального часу. Використання термографії для визначення оптимального режиму роботи фотоелектричних систем з урахуванням теплових параметрів

#### **Тема 10. Перевірка конструкційної цілісності**

Використання термографії для оцінки конструкційної цілісності фотоелектричних систем, виявлення можливих деформацій, тріщин чи інших вад, які можуть впливати на їх надійність та тривалість служби.

#### **Тема 11. Коригувальні дії**

Методи та засоби для внесення коригувань в процесі отримання та обробки термографічних зображень

#### **Тема 12. Звітність та нормативні документи**

Звітність та нормативні документи (національні, регіональні та міжнародні стандарти) Складання звітів, Відповідальність фахівців-термографів і кінцевих користувачів

### **Теми практичних занять**

#### **Змістовий модуль 1. Основи термографії**

Тема 1. Введення в термографію

Тема 2. Принципи інфрачервоної термографії

Тема 3. Обладнання для термографії і збір даних

Тема 4. Обробка зображень

Тема 5. Загальні застосування

Тема 6. Діагностування і прогнозування

#### **Змістовий модуль 2. Діагностика фотоелектричних систем**

Тема 7. Виявлення дефектів і аномалій

Тема 8. Оцінка ефективності систем

Тема 9. Моніторинг теплових змін

Тема 10. Перевірка конструкційної цілісності

Тема 11. Коригувальні дії

Тема 12. Звітність та нормативні документи

### **Теми лабораторних робіт**

Тема 1. Отримання термограм навчального корпусу при задовільних погодних умовах

Тема 2. Отримання термограм фотоелектричної панелі при задовільних погодних умовах  
Тема 3. Лабораторне визначення коефіцієнту відображення різних матеріалів  
Тема 4. Внесення коригувань в налаштування тепловізора для достовірного визначення температури поверхні фотоелектричної панелі  
Тема 5. Ознайомлення із програмним забезпеченням для обробки теплових зображень  
Тема 6. Ознайомлення із відкритою базою термографічних зображень  
Тема 7. Аналіз прикладів звітів про термографічне обстеження та ознайомлення із програмним забезпеченням для складання звіту  
Тема 8. Складання звіту про термографічне обстеження за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення

### **Самостійна робота**

Розрахункове завдання "Складання звіту з термографічного обстеження сонячної електростанції".

Обсяг: 15-20 с.

Термін подачі: 16-й тиждень.

Проходження онлайн-курсів на освітніх платформах за тематикою дисципліни (за бажанням):

- Онлайн-курс [Infrared Thermography - Essentials Guide](#) на платформі Udemu, безкоштовний доступ до матеріалів платформи надається шляхом подання викладачем реєстраційних списків до директора науково-технічної бібліотеки НТУ "ХПІ"
- Онлайн-курс [Thermography basics](#) на платформі SKF e-learning, доступний без реєстрації

## **Література та навчальні матеріали**

Основна література

1. Махотіло К. В., Лисенко Л. І., Булгаков О. В. Основи термографії : навчальний посіб. / К.В. Махотіло, Л. І. Лисенко, О. В. Булгаков. Харків : ФЛП Панов А.М., 2021. 106 с.
2. Introduction to Thermography basics 2014 Infrared Training Center [режим доступу] <https://cdn.sparkfun.com/assets/f/d/6/2/2/Introduction-to-Infrared-Thermography-Basics.pdf>
3. Beard J. Introduction to Infrared Thermography. 2007 [режим доступу] <https://rtclimburg.be/wp-content/uploads/2018/03/Introduction-to-Infrared-Thermography.pdf>

Інформаційні ресурси:

1. Булгаков. О. Навчальний ресурс [thermography.online](https://thermography.online) [режим доступу] <https://thermography.online/>

## Система оцінювання

### Критерії оцінювання успішності студента та розподіл балів

Остаточна оцінка складається з:  
30 балів за дві модульні контрольні роботи,  
20 балів за лабораторні роботи,  
30 балів за практичні роботи: виконання практичних завдань, розрахункове завдання, неформальна освіта (додаткові бали за наявність сертифікату про проходження онлайн-курсу при тематичній відповідності),  
20 балів за екзамен.

### Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

## Норми академічної етики і політика курсу

Студент повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

## Погодження

Силабус погоджено

28.08.23

Завідувач кафедри  
Олександр ЛАЗУРЕНКО

28.08.23

Гарант ОП  
Костянтин МАХОТІЛО