



# ІНФРАЧЕРВОНА ТЕРМОГРАФІЯ

## ЯК ІНСТРУМЕНТ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>104 Фізика та астрономія</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютерне моделювання фізичних процесів</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>4 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити ЄКТС (120 годин), 26 лекцій, 26 лабораторних, 68 СРС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік / МКР, ДКР</i>
Розклад занять	<i><a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лекції: д.т.н., проф. Котовський Віталій Йосипович, <a href="mailto:kotovsk@kpi.ua">kotovsk@kpi.ua</a> Практичні: к.ф.-м.н., доц. Дунаєвський Вадим Іванович, <a href="mailto:dunayevskani@ukr.net">dunayevskani@ukr.net</a> Лабораторні: асистент, Коваленко В`ячеслав Олександрович, <a href="mailto:samkov@ied.org.ua">samkov@ied.org.ua</a></i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на методичне забезпечення: <a href="https://zfft.kpi.ua">https://zfft.kpi.ua</a></i>

#### Програма навчальної дисципліни

##### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліна «ІНФРАЧЕРВОНА ТЕРМОГРАФІЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ» належить до циклу професійної підготовки фахівців фізичних спеціальностей. **Метою** навчальної дисципліни є формування у студентів здатностей проводити візуалізацію, обробку та інтерпретацію розподілу теплових полів об'єкту досліджень методом інфрачервоної термографії. **Предметом** дисципліни є навчання і підготовка фахівця з наряду підготовки 104 «Фізика та астрономія», який зможе користуватись сучасними засобами інфрачервоної термографії, програмним середовищем ThermoCAM<sup>TM</sup> Reporter в процесі обробки та візуалізації отриманих даних. **Завданнями** даної дисципліни є ознайомлення студентів з приладами, принцип роботи яких базується на використанні інфрачервоного випромінювання та його реєстрації, отримання зображень в невидимій інфрачервоній області спектру, що значно розширює уявлення про властивості матеріалів, формування у студентів знань стосовно основних функцій програми ThermoCAM<sup>TM</sup> Reporter, а також мати уявлення про методи та обробку результатів досліджень методом інфрачервоної термографії з метою отримання нових результатів.

Навчальна дисципліна формує у студентів наступні *загальні та фахові компетентності*:

##### **Загальні компетентності:**

- ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК3. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК8. Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

**Фахові компетентності:**

ФК1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

ФК2. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

ФК3. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

ФК4. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень.

ФК6. Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси.

ФК9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації.

ФК10. Здатність самостійно навчатися і опанувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

ФК14. Здатність здобувати додаткові компетентності через вибіркові складові освітньої програми, самоосвіту, неформальну та інформальну освіту.

ФК17. Здатність використовувати спеціалізоване програмне забезпечення для аналізу будь-яких фізичних процесів

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі **програмні результати навчання:**

ПРН5. Знати, аналізувати і пояснювати нові наукові результати, одержані у ході проведення фізичних та астрономічних досліджень відповідно до спеціалізації.

ПРН7. Знати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.

ПРН9. Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці та астрономії: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.

ПРН11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

ПРН12. Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження.

ПРН13. Розуміти зв'язок фізики та/або астрономії з іншими природничими та інженерними науками, бути обізнаним з окремими (відповідно до спеціалізації) основними поняттями прикладної фізики, матеріалознавства, інженерії, хімії, біології тощо, а також з окремими об'єктами (технологічними процесами) та природними явищами, що є предметом дослідження інших наук і, водночас, можуть бути предметами фізичних або астрономічних досліджень.

ПРН15. Вміти працювати із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних та астрономічних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів.

ПРН16. Вміти самостійно навчатися та підвищувати рівень своєї кваліфікації.

ПРН21. Вміти самостійно приймати рішення стосовно своєї освітньої траєкторії та професійного розвитку

Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «ІНФРАЧЕРВОНА ТЕРМОГРАФІЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ» можна використовувати

в подальшому для виконання прикладних та фундаментальних наукових досліджень, що формують нові природничо-наукові знання.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Засвоєні теоретичні знання та отримані практичні навички під час вивчення навчальної дисципліни можна використовувати в подальшому для виконання прикладних та фундаментальних наукових досліджень, що формують нові природничо-наукові знання. При аналізі результатів, отриманих під час проходження практики та написанні магістерської дисертації.

В структурно-логічній схемі програми підготовки фахівця дисципліну забезпечують наступні дисципліни та кредитні модулі: "Інформатика та програмування", "Математичний аналіз", "Загальна фізика". Дисципліна забезпечує наступні навчальні дисципліни та кредитні модулі: "Основи наукових досліджень", "Методи експериментальних досліджень", "Науково-дослідна робота за темою магістерської дисертації".

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

Основи інфрачервоної термографії, принцип побудови та роботи сучасних термографів, Інфрачервона термографія як засіб неруйнівного контролю, основні функції програми ThermaCAM™, обробка та аналіз термографічних даних

**Тема 1.** Вступ до термографії.

**Тема 2.** Електромагнітний спектр випромінювання.

**Тема 3.** Фізичні основи термографії.

**Тема 4.** Технічні основи термографії.

**Тема 5.** Класифікація тепловізійних систем.

**Тема 6.** Галузі використання інфрачервоної термографії.

**Тема 7.** Сучасний стан в галузі інфрачервоної термографії.

**Тема 8.** Принципи проведення досліджень методом інфрачервоної термографії.

**Тема 9.** Застосування інфрачервоних термографів у наукових дослідженнях.

**Тема 10.** Аналіз та інтерпретація термограм.

**Тема 11.** Основи візуалізації та обробки термографічних зображень.

**Тема 12.** Побудова термопрофілів, експорт та збереження даних у ThermaCAM™.

**Тема 13.** Оформлення звітів.

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

### *Базова література:*

1. Котовський В.Й. Основи візуалізації та обробки термограм в програмному середовищі ThermaCAM™ Reporter: Комп'ютерний практикум / Котовський В.Й., Дунаєвський В.І. // Навчальний посібник. – Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 65 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49986>

2. Ашанін В.С., Пасько В.В. Обробка та візуалізація даних наукових досліджень. Навчальний посібник. Частина 1. Харків : ХДАФК, 2020, 132 с

3. Дунаєвський В.І. Інфрачервона термографія як інструмент наукових досліджень / В.І. Дунаєвський, А.І. Ліптуга, В.І. Тимофєєв, В.Е. Орел, С.С. Назарчук, В.Й. Котовський // "ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи": XIX Міжнародна науково-технічна конференція, 2020: Збірник матеріалів конференції. – Київ, 2020. – С. 96–98.

4. Venger, Y. F. Infrared Thermography as an Effective Tool for Research and Industrial

Application / Venger Y. F., Dunaievsky V. I., Kotovskiy V. Y. , Bolgarska S. V., Kyslyi V. P., Tymofeyev V. I., Orel V. E., Nazarchuk S. S. // Sci. innov. – 2021. – №17 (5). ISSN 2409-9066.

5. Dunaievsky Vadym Expanding the modern approaches of diagnostics of the state of a biological object by introducing infrared thermography / Vadym Dunaievsky, Vitalii Kotovskiy, Svitlana Nazarchuk, Volodymyr Kyslyi // Monograph «National health as determinant of sustainable development of society». – SEMPA. – Bratislava. – 2021. – pp. 35–55 ISBN 978 – 80 – 89654 – 73 – 4, EAN 9788089654734

6. Tyagur V. M. Passive optical athermalization of an IR three-lens achromat / V. M. Tyagur, O. K. Kucherenko and A. V. Murav'ev // Journal of Optical Technology. — vol. 81 (4). — 2014. — pp. 199–203.

#### *Додаткова література:*

1. Програмне забезпечення в обчислювальній математиці та моделюванні [навчальний посібник] / І.І. Яковець, Т.Ю. Осипова, Д.Ю. Касаткін, Я.А. Савицька, В.В. Смолій, Б.С.Гусев, А.І. Блозва, Ю.В. Матус // - К.: НУБіП України, 2017.- 296 с.

2. Якимчук, А. Ю. Сучасна термографія та перспективи її застосування в області медицини / А. Ю. Якимчук // XII Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2019 р., м. Київ, Україна : збірник праць. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – С. 421–423. – Бібліогр.: 5 назв.

3. Venger, Y. F. Infrared Thermography as an Effective Tool for Research and Industrial Application / Venger Y. F., Dunaievsky V. I., Kotovskiy V. Y. , Bolgarska S. V., Kyslyi V. P., Tymofeyev V. I., Orel V. E., Nazarchuk S. S. // Sci. innov. – 2021. – №17 (5). ISSN 2409-9066.

4. Dunaievsky Vadym Expanding the modern approaches of diagnostics of the state of a biological object by introducing infrared thermography / Vadym Dunaievsky, Vitalii Kotovskiy, Svitlana Nazarchuk, Volodymyr Kyslyi // Monograph «National health as determinant of sustainable development of society». – SEMPA. – Bratislava. – 2021. – pp. 35–55 ISBN 978 – 80 – 89654 – 73 – 4, EAN 9788089654734

5. Назарчук С.С. Информационная термография: перспективный метод лучевой диагностики раннего выявления патологических изменений в живом организме / С.С. Назарчук, А.П. Кузь, В.И. Дунаевский, А.И. Липтуга, В.И. Котовский // «Наука та освіта»: збірник праць XIV Міжнародної наукової конференції, 4-13 січня 2020 р., Хайдусобосло (Угорщина). – С. 59–63.

6. Електронний ресурс: <https://worldvision.com.ua/articles/teplovidenie-sovremenniy-instrument-obespecheniya-bezopasnosti>

7. Електронний ресурс: <https://gtest.com.ua/uk/statti/vyyavlenie-problem-v-zdaniyah-s-pomocshu-teplovideniya.html>

8. Електронний ресурс: <https://trimen.com.ua/ua/blog/analiz-rozvytku-ta-zastosuvannia-teplovizoriv.html>

9. Електронний ресурс: <https://www.0312.ua/news/3501789/harakteristiki-teplovizora-hikmicro-lh19>

### Навчальний контент

#### **5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

В рамках дисципліни заплановано проведення лекційних, лабораторних занять, написання реферату та самостійної роботи студентів. Теми дисципліни взаємозв'язані, матеріал вивчається в логічній послідовності. На лекційних заняттях розкриваються найбільш суттєві теоретичні питання, які дозволяють забезпечити студентам можливість глибокого самостійного вивчення всього програмного матеріалу. Теми та порядок виконання лабораторних занять сформовано в логічній послідовності і повністю узгоджуються з метою дисципліни. Лекційні та лабораторні знання поглиблюються шляхом самостійної роботи з використанням рекомендованої літератури та глобальної мережі Internet. Заняття проводяться у комп'ютерній лабораторії. Лекції проводяться у вигляді презентації теоретичного матеріалу з використанням інтерактивної мультимедійної дошки. Лабораторні заняття з відповідної теми проводяться з використанням термографів різного спектрального діапазону. Завдання до домашньої контрольної та теми рефератів є

індивідуальними для кожного студента. Залік проводиться у комп'ютерній лабораторії, який супроводжується презентацією що відповідає темі реферату. Велика частина методичних матеріалів міститься у вищевказаній методичній літературі.

### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів з посиланням на літературу)
1	<p><b>Вступ до термографії</b>  <i>Історія розвитку інфрачервоних технологій. Темі рефератів, правила їх написання та оформлення.</i>  Література: [1-4, 6-9]</p>
2	<p><b>Електромагнітний спектр випромінювання</b>  <i>Теплове випромінювання. Властивості атмосфери щодо пропускання інфрачервоного випромінювання.</i>  Література: [6,16,12].</p>
3	<p><b>Фізичні основи термографії</b>  <i>Закони теплового випромінювання. Способи передачі тепла.</i>  Література: [3-6].</p>
4	<p><b>Технічні основи термографії</b>  <i>Приймачі випромінювання та їх класифікація. Принципи побудови приймачів теплового випромінювання.</i>  Література: [2, 4, 6].</p>
5	<p><b>Класифікація тепловізійних систем</b>  <i>Основи побудови тепловізійних систем. Принцип роботи сучасних термографів.</i>  Література: [3, 4 6].</p>
6	<p><b>Галузі використання інфрачервоної термографії</b>  <i>Використання методу інфрачервоної термографії в медицині, енергетиці, машинобудуванні, геології, промисловості тощо.</i>  Література: [2-5].</p>
7	<p><b>Сучасний стан в галузі інфрачервоної термографії</b>  <i>Види та класифікація засобів інфрачервоної термографії. Світові лідери з виробництва тепловізійних засобів.</i>  Література: [2,3,8,9].</p>
8	<p><b>Принципи проведення досліджень методом інфрачервоної термографії</b>  <i>Принципи отримання теплових зображень. Умови проведення тепловізійних зйомок.</i>  Література: [2,4, 5].</p>
9	<p><b>Застосування інфрачервоних термографів у наукових дослідженнях</b>  <i>Інфрачервона термографія як додатковий інструмент у проведенні наукових досліджень. Приклади проведення досліджень.</i>  Література: [1-3,5].</p>
10	<p><b>Аналіз та інтерпретація термограм</b>  <i>Види термограм. Розподіл температурних полів на поверхні об'єкту досліджень.</i>  Література: [1-5].</p>

11	<b>Основи візуалізації та обробки термографічних зображень</b> <i>Візуалізація та графічне відображення термографічних даних.</i> Література: [1,2,5].
12	<b>Побудова термопрофілів, експорт та збереження даних у ThermaCAM™</b> Принцип отримання термопрофілів з різних ділянок термограми та їх значення при проведенні аналізу результатів. Література: [1,2].
13	<b>Оформлення звітів</b> Основні поняття про звіт. Збереження даних звітів термографічних досліджень. Література: [1-3].

## 6. Самостійна робота студента

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання (завдання на СРС)
1	Промислове використання термографії (енергетика, контроль роботи промислового обладнання, тощо).
2	Місце та роль медичної термографічної діагностики серед інших діагностичних методів.
3	Використання тепловачення у військовій справі.
4	Основні технологічні засади виготовлення напівпровідникових приладів для систем інфрачервоного призначення.
5	Фізика фотоопорів, їх основні параметри, матеріали для виготовлення.
6	Термоелектричні та піроелектричні приймачі випромінювання.
7	Аналіз сучасних засобів тепловізійних досліджень.
8	Огляд сучасного стану розробки та промислових видів тепловізорів.
9	Матричні фотоприймальні пристрої.
10	Основні принципи проведення термографічних досліджень.
11	Методичні аспекти проведення термографічних досліджень.
	<b>Реферат</b>

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Правила відвідування занять

Студентам рекомендується відвідувати заняття.

#### Правила поведінки на заняттях

Під час занять студенти можуть використовувати засоби зв'язку для пошуку інформації по темі заняття в мережі Інтернет.

#### Правила захисту самостійних та домашніх контрольних робіт студентів

Виконані самостійні та домашні контрольні роботи студентів надсилаються на електронну пошту викладача.

#### Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Активність на заняттях +3 бали

Несвоєчасна (пізніше на 1 тиждень) здача реферату без поважної причини -5 балів



Виконання завдання підвищеної складності +10 балів

### Політика щодо академічної доброчесності

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

### Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

### Процедура оскарження результатів контрольних заходів

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед визначеними процедурами. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

**Поточний контроль:** самостійна робота студента, модульна контрольна робота

**Календарний контроль:** проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силябусу.

Критерій		Перша атестація	Друга атестація	
Термін атестації		8-ий тиждень	14-ий тиждень	
Умови отримання атестації	Поточний рейтинг		$\geq 12$ балів	$\geq 24$ балів
	Поточний контрольний захід	Самостійна робота студента 1-3	+	+
	Поточний контрольний захід	Самостійна робота студента 4-6	-	+
	Поточний контрольний захід	Модульна контрольна робота	+	+

**Семестровий контроль:** залік

**Умови допуску до семестрового контролю.**

**Обов'язкові:**

Виконані самостійні роботи

Виконана домашня контрольна робота (реферат)

Поточний рейтинг RD  $\geq 39$  балів

**Необов'язкові:**

Активність на заняттях

### Система рейтингових балів

Самостійні роботи студента сформовано так, що їх завдання сприяють навичкам правильної графічної презентації експериментальних даних, що є важливим для їх подальшого представлення у курсових та магістерських дисертаціях.

Модульна контрольна робота проводиться у формі двох контрольних робіт на ПК у комп'ютерній аудиторії під час атестаційних тижнів.

Умовою допуску до семестрового контролю є виконання усіх поточних контрольних заходів та рейтинг більший за 39 балів. На останньому за розкладом занятті проводиться семестрова атестація у вигляді захисту домашньої контрольної роботи та усного заліку.

**Розрахунок шкали рейтингу:**

№ з/п	Контрольний захід семестр	%	Ваговий бал	Кіль-ть	Всього
1	Виконання та захист самостійних робіт студента	35	5	7	35
2	Активність на заняттях	10	1	10	10
3	Модульна контрольна робота	10	5	2	10
4	Виконання домашньої контрольної роботи	20	20	1	20
5	Залік	25	25	1	25
	Всього				100

**Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:**

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

**9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

**Перелік питань, які виносяться на залік (теми рефератів).**

1. Фізичні основи термографії.
2. Основні фізико-технічні характеристики сучасних тепловізорів.
3. Фотоелектричні явища в твердих тілах, фотопровідність.
4. Приймачі оптичного випромінювання; фотоприймачі, параметри й характеристики.
5. Класифікація фотоприймачів та їх основні характеристики.
6. Фотоопіри, структура, основні принципи роботи, параметри, характеристики.
7. Фотодіоди, фототранзистори. Основні параметри та їх характеристики.
8. Одноелементні, багатоелементні приймачі інфрачервоного випромінювання.
9. Основні відомості про конструкцію виробів мікрофотоелектроніки.
10. Фотоприймачі на основі германію.
11. Фотоприймачі на основі кремнію.
12. Фотоприймачі на основі широкозонних напівпровідників (галій-миш`як, галій-миш`як-фосфор, галій-індій-арсенід).
13. Фотоприймачі на основі арсеніду галію.
14. Багатоелементні лінійчаті та матричні фотоприймачі.
15. Фотоприймачі на основі термісторних болометрів.
16. Сучасний стан розробок та промислового випуску приймачів інфрачервоного випромінювання.
17. Тепловізійні методи діагностики промислового обладнання.
18. Тепловізійні методи медичної діагностики.
19. Застосування тепловізійних систем для наукових досліджень.



20. Застосування тепловізійних систем для розвідки корисних копалин.
21. Застосування тепловізійних систем у військовій справі.
22. застосування тепловізійних систем у сільському господарстві
23. Методи обробки термографічних зображень.
24. Структура продукції основних країн-виробників мікрофотоелектроніки.

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** проф., д.т.н. Котовським Віталієм Йосиповичем

**Ухвалено** кафедрою загальної фізики та моделювання фізичних процесів (протокол № 06-24 від 11.06.2024р.)

**Погоджено** Методичною комісією Фізико-математичного факультету (протокол № 10 від 25.06.2024 р.)