



# Експериментальні дослідження теплових процесів та моніторинг стану енергетичних систем

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>144 Теплоенергетика</i>
Освітня програма	<i>ОНП Теплоенергетика</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4,0 кредитів ЄКТС / 120 годин: лекції – 18 годин, лабораторні – 8 годин, самостійна робота аспіранта – 94 години.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен</i>
Розклад занять	
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: д.т.н., с.н.с. Воробйов Леонід Йосипович, teplomer@ukr.net Лабораторні: к.т.н. Іванов Сергій Олександрович, teplomer@ukr.net, д.т.н., с.н.с. Декуша Леонід Васильович, teplomer@ukr.net</i>
Розміщення курсу	

### Програма навчальної дисципліни

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

Основною метою навчальної дисципліни «Експериментальні дослідження теплових процесів та моніторинг стану енергетичних систем» є отримання аспірантами знань з методів вимірювання параметрів теплових процесів, теплофізичних характеристик, оцінки похибки та невизначеності вимірювань, планування експерименту, моніторингу стану енергетичних систем..

Прослухавши курс аспіранти повинні вміти самостійно формулювати задачі експериментальних досліджень, аналізувати та вибирати методи досліджень та моніторингу енергетичних систем, проводити оцінювання похибок вимірювання. Також виконувати дослідження і робити обґрунтовані висновки при дослідженнях і моніторингу теплових процесів.

**ЗДАТНІСТЬ:**

- Досліджувати теплофізичні процеси та проводити аналіз експериментальних даних;
- Оцінювати похибки та невизначеність проведених вимірювань та представляти результати досліджень;
- ЗК1 Здатність застосовувати знання у вирішенні практичних питань;
- ЗК2 Знання і розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності;

- ФК1 Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів;
- ФК2 Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень теплофізичних властивостей матеріалів і систем, фізичних явищ і процесів, обробленні та презентації їх результатів;
- ФК5 Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної теплофізики, інженерії та комп'ютерних технологій.

#### **ЗНАННЯ:**

- Методів і засобів вимірювання температури, теплового потоку, тиску, теплофізичних властивостей речовин;
- Методів обчислення похибок вимірювання та статистичного оброблення результатів експерименту та моніторингу.

#### **УМІННЯ:**

- Самостійно формулювати, аналізувати і вирішувати складні задачі експериментальних дослідження теплових процесів та моніторингу стану енергетичних систем;
- ПРН9 Вміння застосовувати теплофізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів, нових матеріалів, речовин і наукоємних технологій;
- ПРН11 Вміння застосовувати науково-технічну інформацію з різних джерел з використанням сучасних інформаційних технологій;
- ПРН12» Вміння класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної теплофізики та експериментальних досліджень;
- ПРН13 Вміння організувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди.

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

Вивчення курсу «Експериментальні дослідження теплових процесів та моніторинг стану енергетичних систем» базується на таких курсах: «Теплофізика», «Термодинаміка та теплообмін», «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», «Енергетичний менеджмент». Отримані практичні навички та засвоєні теоретичні знання під час вивчення навчальної дисципліни «Експериментальні дослідження теплових процесів та моніторинг стану енергетичних систем» можна використовувати в подальшому під час навчання спеціалізованих дисциплін фізико-енергетичного циклу, що забезпечує індивідуальну наукову роботу аспірантів.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **ЛЕКЦІЇ:**

**Тема 1. Загальна характеристика експериментальних досліджень та метрологія вимірювань.**

**Тема 2. Теплотехнічні вимірювання і прилади.**

**Тема 3. Вимірювання температури.**

**Тема 4. Вимірювання теплових потоків.**

**Тема 5. Методи визначення теплотехнічних властивостей речовин. Калориметрія.**

**Тема 6. Методи нагріву, охолодження та термостабілізації в експериментальних установках.**

**Тема 7. Моніторинг стану енергетичних систем.**

**Тема 8. Основи теорії кореляційного та регресійного аналізу.**

**Тема 9. Планування експерименту.**

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

### **БАЗОВА:**

1. *Методи аналізу та обробки експерименту: Навчальний посібник: навч. посіб. для студ. спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / Т. В. Доник – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 162 с.*
2. *Теорія та практика експериментальних досліджень [Електронний ресурс] : навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Є. Т. Володарський, Л. О. Кошева. – Електронні текстові данні. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 299 с.*
3. *Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: у 2 т. / Львів: Вид-во НУ Львівська політехніка. 2005.*
4. *Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: Навч. посібник. –Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2007. –624с.*
5. *Курилов А. Ф., Козін В. М Теплотехнічні вимірювання і прилади : навч. посіб. / Суми : Сумський державний університет, 2015. – 189 с.*
6. *Луцик Я. Т., Гук О. П., Лах О. І., Стадник Б. І. Вимірювання температури. Теорія та практика. Львів: Бескид Біт, 2006. 580 с.*
7. *Теплометрия. Опорний конспект лекцій. Укладач: д.т.н. Огородник С.С. –К.: ДАЖКГ, 2010. – 27 с.*
8. *Sarge S. M., Hohne G. W. H., Hemminger W. Calorimetry. Fundamentals. Instrumentation and Applications. Wiley. VCH. 2014. 290 p.*
9. *Експериментальні дослідницькі установки: Електронний конспект лекцій : конспект лекцій для студ. спеціальності 105 «Прикладна фізика» / Т. В. Доник; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.*
10. *Бабак В.П., Березун В.С., Бурова З.А., Воробйов Л.Й. та ін. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: монографія. К.: ІТТФ НАН України, 2016. 298 с.*
11. *Постанова КМ України від 23 грудня 2021 р. N 1460. Про впровадження систем енергетичного менеджменту.*

#### **ДОДАТКОВА:**

12. *Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Воробьев Л.И. и др. Теплометрия: теория, метрология, практика. Книга 1: Методы и средства измерения теплового потока: монографія. К.: Институт технической теплофизики НАН Украины, 2017. 438 с.*
13. *Волков О.І., Зенкін А.С., Хімичева Г.І., Інформаційні вимірювальні системи - Київ: Наукова думка, 2005, - 327с.*
14. *Бабак В.П. Моніторинг об'єктів теплоенергетики з використанням безпілотних літальних апаратів. Пром. теплотехніка, 2017, т. 39, №2. с.25-30.*
15. *Декуша Л., Воробйов Л., Грищенко Т., Бурова З., Назаренко О., Мазуренко О. Квазідиференційний калориметр теплового потоку для визначення теплоти згорання. Метрологія та прилади. 2011. № 5. С. 27-31.*
16. *Воробйов Л., Грищенко Т., Декуша Л., Ковтун С. Методичні похибки за вимірювання густини теплового потоку. Метрологія та прилади. 2015. №6. С. 8-14.*
17. *Воробйов Л.Й., Декуша Л.В., Ковтун С.І. Нові моделі сенсорів теплового потоку для систем моніторингу та діагностики енергетичного обладнання. Промышленная теплотехника. 2016. Т. 38, №5. С. 86-95. DOI: <https://doi.org/10.31472/ihe.5.2016.10>*
18. *Воробьев Л. И., Декуша О. Л. Калориметрическая система для измерения теплоёмкости конструкционных материалов. Інформаційні системи, механіка та керування. К.: НТУУ «КПІ», 2017. №17. С. 101–106.*
19. *Воробйов Л.Й. Методи та засоби квазідиференціальної калориметрії. Метрологія та прилади. 2018. №1. С.17-25.*
20. *Пономарев С. В., Мищенко С. В., Дивин А. Г. Теоретические и практические аспекты теплофизических измерений: монографія: в 2 кн. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006*
21. *Захаров И. П., Кукуш В. Д. Теория неопределенности в измерениях. Харьков: Консум, 2002. 256 с.*

22. Микитин І.П., Скоропад П.І. Залежність похибки визначення температури пірометрами від коефіцієнта випромінювальної здатності об'єктів / /Вимірювальна техніка та метрологія. 40 Том 80, вип. 1, 2019 р.с.34-40.

## Навчальний контент

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

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань, перелік питань для СРА з посиланням на літературу
1	<p><u>Загальна характеристика експериментальних досліджень та метрологія вимірювань.</u> Місце та роль фізичного експерименту в науковому дослідженні. Засоби вимірювань та їх характеристики. Види похибок. Оцінка точності результату вимірювання.</p> <p>Література:</p> <p>1. Методи аналізу та обробки експерименту: Навчальний посібник: навч. посіб. для студ. спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / Т. В. Доник – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 162 с.</p> <p>2. Дорожовець М., Мотало В., Стадник Б. та ін. Основи метрології та вимірювальної техніки: у 2 т. / Львів: Вид-во НУ Львівська політехніка. 2005.</p> <p>3. Дорожовець М. Опрацювання результатів вимірювань: Навч. посібник. –Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2007. –624с.</p> <p>4. Захаров І. П., Кукуш В. Д. Теория неопределенности в измерениях. Харьков: Консум, 2002. 256 с.</p> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА:</p> <p>Непрямі вимірювання та їх похибки. Основні поняття невизначеності вимірювань.</p>
2	<p><u>Теплотехнічні вимірювання і прилади.</u> Електричні методи вимірювань неелектричних величин. Перетворювачі неелектричних величин в електричні - реостатні, тензо- і терморезисторні, індуктивні, ємнісні, фото-, п'єзоелектричні, термоелектричні. Методи та прилади вимірювання сили, тиску, витрати рідин та газів, перепаду тисків.</p> <p>Література:</p> <p>1. Курилов А. Ф., Козін В. М Теплотехнічні вимірювання і прилади : навч. посіб. / Суми : Сумський державний університет, 2015. – 189 с.</p> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА:</p> <p>Вимірювання вакууму. Методи вимірювання вологості повітря і газу, твердих та сипких речовин.</p>
3	<p><u>Вимірювання температури.</u> Загальні відомості про температурні шкали. Рідині термометри розширення, біметалеві та манометричні термометри, термометри опору, термоелектричні термометри, пірометри, тепловізори. Похибки контактних методів вимірювання температури.</p> <p>Література:</p> <p>1. Луцик Я. Т., Гук О. П., Лах О. І., Стадник Б. І. Вимірювання температури. Теорія та практика. Львів: Бескид Біт, 2006. 580 с.</p> <p>2. Курилов А. Ф., Козін В. М Теплотехнічні вимірювання і прилади : навч. посіб. / Суми : Сумський державний університет, 2015. – 189 с.</p> <p>3. Микитин І.П., Скоропад П.І. Залежність похибки визначення температури пірометрами від коефіцієнта випромінювальної здатності об'єктів / /Вимірювальна техніка та метрологія. 40 Том 80, вип. 1, 2019 р.с.34-40.</p> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА:</p> <p>Похибки безконтактного вимірювання температури.</p>



4	<p><b><u>Вимірювання теплових потоків.</u></b> <i>Методи вимірювання та перетворювачі теплового потоку. Ентальпійні методи вимірювань. Метод допоміжної стінки. Стаціонарні та нестаціонарні вимірювання. Похибки вимірювань теплового потоку.</i></p> <p><i>Література:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Методи аналізу та обробки експерименту: Навчальний посібник: навч. посіб. для студ. спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / Т. В. Доник – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 162 с.</i></li> <li>2. <i>Теплометрия. Опорний конспект лекцій. Укладач: д.т.н. Огородник С.С. –К.: ДАЖКГ, 2010. – 27 с.</i></li> <li>3. <i>Грищенко Т.Г., Декуша Л.В., Воробьев Л.И. и др. Теплометрия: теория, метрология, практика. Книга 1: Методы и средства измерения теплового потока: монография. К.: Институт технической теплофизики НАН Украины, 2017. 438 с.</i></li> <li>4. <i>Воробйов Л.Й., Декуша Л.В., Ковтун С.І. Нові моделі сенсорів теплового потоку для систем моніторингу та діагностики енергетичного обладнання. Промышленная теплотехника. 2016. Т. 38, №5. С. 86-95. DOI: <a href="https://doi.org/10.31472/ihe.5.2016.10">https://doi.org/10.31472/ihe.5.2016.10</a>.</i></li> <li>5. <i>Воробйов Л., Грищенко Т., Декуша Л., Ковтун С. Методичні похибки за вимірювання густини теплового потоку. Метрологія та прилади. 2015. №6. С. 8-14.</i></li> </ol> <p><b>ЗАВДАННЯ НА СРА:</b>  <i>Методичні похибки вимірювання густини теплового потоку перетворювачем, що працює за методом допоміжної стінки.</i></p>
5	<p><b><u>Методи визначення теплотехнічних властивостей речовин. Калориметрія.</u></b> <i>Методи і прилади вимірювання теплопровідності та теплоємності. Основні типи калориметрів. Бомбові калориметри та визначення теплоти згорання. Калориметричний метод визначення теплоти випаровування. Диференціальні калориметри.</i></p> <p><i>Література:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Sarge S. M., Hohne G. W. H., Hemminger W. Calorimetry. Fundamentals. Instrumentation and Applications. Wiley. VCH. 2014. 290 p.</i></li> <li>2. <i>Воробьев Л. И., Декуша О. Л. Калориметрическая система для измерения теплоёмкости конструкционных материалов. Інформаційні системи, механіка та керування. К.: НТУУ «КПІ», 2017. №17. С. 101–106.</i></li> <li>3. <i>Воробйов Л.Й. Методи та засоби квазидиференціальної калориметрії. Метрологія та прилади. 2018. №1. С.17-25.</i></li> </ol> <p><b>ЗАВДАННЯ НА СРА:</b>  <i>Метод сканувальної калориметрії. Термогравіметричний аналіз.</i></p>
6	<p><b><u>Методи нагріву, охолодження та термостабілізації в експериментальних установках.</u></b> <i>Резисторний і індукційний нагрів. Плазмотрони. Теплова ізоляція. Охолодження потоком повітря, водяне проточне охолодження, рефрижератори. Системи терморегулювання.</i></p> <p><i>Література:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Експериментальні дослідницькі установки: Електронний конспект лекцій : конспект лекцій для студ. спеціальності 105 «Прикладна фізика» / Т. В. Доник; КПІ ім. Ігоря Сікорського.– Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.</i></li> </ol> <p><b>ЗАВДАННЯ НА СРА:</b>  <i>Загальні принципи отримання низьких температур.</i></p>
7	<p><b><u>Моніторинг стану енергетичних систем.</u></b> <i>Мета і завдання моніторингу. Електричний, тепловий, оптичний, вібраційний моніторинг. Розподілений моніторинг та системи передачі інформації.</i></p> <p><i>Література:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Бабак В.П., Берегун В.С., Бурова З.А., Воробйов Л.Й. та ін. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: монографія. К.: ІТТФ НАН України, 2016. 298 с.</i></li> </ol>

	<p>2. Постанова КМ України від 23 грудня 2021 р. N 1460. Про впровадження систем енергетичного менеджменту.</p> <p>3. Волков О.І., Зенкін А.С., Хімічева Г.І., Інформаційні вимірjuвальні системи - Київ: Наукова думка, 2005, - 327с.</p> <p>4. Бабак В.П. Моніторинг об'єктів теплоенергетики з використанням безпілотних літальних апаратів. Пром. теплотехника, 2017, т. 39, №2. с.25-30.</p> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА: Моніторинг об'єктів теплоенергетики з використанням БПЛА.</p>
8	<p><b>Основи теорії кореляційного та регресійного аналізу.</b> Умовні закони розподілу. Статистичні оцінки параметрів розподілу. Поняття про кореляційний аналіз. Поняття про регресійний аналіз. Знаходження коефіцієнтів лінійної парної регресії. Нелінійна парна регресія.</p> <p>Література:</p> <p>1. Теорія та практика експериментальних досліджень [Електронний ресурс] : навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Є. Т. Володарський, Л. О. Кошева. – Електронні текстові данні. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 299 с.</p> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА: Множинна лінійна регресія</p>
9	<p><b>Планування експерименту.</b> Основні поняття і види планів. Повий факторний експеримент. Дробовий факторний експеримент. Обробка даних активного експерименту.</p> <p>Література:</p> <p>1. Теорія та практика експериментальних досліджень [Електронний ресурс] : навчальний посібник / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Є. Т. Володарський, Л. О. Кошева. – Електронні текстові данні. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 299 с.</p> <p>2. Методи аналізу та обробки експерименту: Навчальний посібник: навч. посіб. для студ. спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / Т. В. Доник – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 162 с.</p> <p>ЗАВДАННЯ НА СРА: Метод «перевалу».</p>

### **ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ:**

ЛР 1. Вимірювання температури різних об'єктів термопарою, термометром опору, пірометром.

ЛР 2. Калібрування перетворювача теплового потоку, визначення теплового потоку крізь будівельні конструкції, визначення опору теплопередачі.

ЛР 3. Вимірювання теплоємності методом покрокового сканування.

ЛР 4. Вимірювання теплоти згоряння торфу за допомогою бомбового калориметра.

### **6. Самостійна робота аспіранта**

Самостійна робота аспірантів призначена для навчання їх самостійно працювати з літературою, творчо сприймати навчальний матеріал і обмірковувати його.

На самостійну роботу відводяться наступні види завдань:

- оброблення і обмірковування інформації, отриманої безпосередньо на заняттях;
- розрахункове оброблення даних, отриманих під час лабораторних робіт;
- робота з відповідними підручниками, статтями і монографіями та особистим конспектом лекцій для опанування знань, наданих у лекції та заданими для самостійної роботи;
- підготовка до складання екзамену

## 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- відвідування лекцій та лабораторних занять
- активність на лекційних та лабораторних заняттях, регулярна самостійна робота
- дотримання стандартів академічної доброчесності
- відвідування лекцій та лабораторних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, аспірантам рекомендується відвідувати усі види занять ( як лекцій так і лабораторних);
- огляд Інтернет-ресурсів, що надає викладач, тощо.

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

Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття.

Опитування за темою лекції. Максимальна кількість балів - 20.

Лабораторні роботи. Максимальна кількість балів - 40.

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання семестровий рейтинг більше 30 балів.

Семестровий контроль: екзамен (тах 40 балів)

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за індивідуальне завдання семестровий рейтинг більше 30 балів.

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 семестровий контроль надається за тиждень до екзамену на електрону пошту аспірантів.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: зав. лабораторії теплометрії ІТТФ НАН України д.т.н., с.н.с. Ворбйовим Леонідом Йосиповичем.

Ухвалено Вченою радою ІТТФ НАН України (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)