



Національний технічний університет України  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»



Кафедра  
високотемпературних  
матеріалів та  
порошкової металургії

# Методи дослідження фізичних властивостей матеріалів

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>132 Матеріалознавство</i>
Освітня програма	<i>Нанотехнології та комп'ютерний дизайн матеріалів</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна) прискорена/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити / 120 год. : лекції - 36 годин, лабораторні роботи - 36 годин, СРС - 48 годин</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік/модульна контрольна робота</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>Лектор: к.т.н., доцент Соловйова Тетяна Олександрівна, e-mail: <a href="mailto:taso-iff@ill.kpi.ua">taso-iff@ill.kpi.ua</a> Лабораторні: к.т.н., доцент Соловйова Тетяна Олександрівна, e-mail: <a href="mailto:taso-iff@ill.kpi.ua">taso-iff@ill.kpi.ua</a> Ph.D. асистент Втерковський Михайло Ярославович, e-mail: <a href="mailto:m.vterkovskiy@gmail.com">m.vterkovskiy@gmail.com</a></i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://classroom.google.com/c/Njk3NjY5OTUyMTQ0">https://classroom.google.com/c/Njk3NjY5OTUyMTQ0</a></i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Дисципліну «Методи дослідження фізичних властивостей матеріалів» розроблено таким чином, щоб надати студентам необхідні знання для набуття компетентності з питань методології наукового дослідження, зокрема методів вимірювання теплових, електрофізичних та магнітних властивостей матеріалів; а також обробки та інтерпретації експериментальних даних. Дисципліна охоплює, як теоретичні основи, так і результати практичних досліджень щодо розуміння взаємозв'язку між хімічним складом, структурою та фізичними властивостями матеріалів.

**Метою навчальної дисципліни є розвиток загальних компетентностей, які полягають у:**

- здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми;

- здатність застосовувати сучасні методи математичного та фізичного моделювання, дослідження структури, фізичних, механічних, функціональних та технологічних властивостей матеріалів для вирішення матеріалознавчих проблем;
- здатність застосовувати навички роботи із випробувальним устаткуванням для вирішення матеріалознавчих завдань.

*Предметом навчальної дисципліни “Методи дослідження фізичних властивостей матеріалів” є методи визначення коефіцієнтів термічного розширення, теплопровідності, електроопору та магнітних властивостей матеріалів.*

**Після засвоєння навчальної дисципліни студент повинен:**

- уміти експериментувати та аналізувати дані;
- використовувати у професійній діяльності експериментальні методидослідження структурних, фізико-механічних, електрофізичних, магнітних, оптичних і технологічних властивостей матеріалів;
- обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні); правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки;
- використовувати базові методи аналізу речовин, матеріалів та відповідних процесів з коректною інтерпретацією результатів;
- знання методів визначення фізичних та технологічних властивостей порошкових матеріалів.
- 

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

Вивчення даної дисципліни базується на знаннях та вміннях, одержаних при засвоєнні таких дисциплін як: “Фізика”, “Фізична хімія”, “Основи електротехніки та електроніки”, “Хімія”, “Вища математика”.

Знання, що студент отримує під час вивчення дисципліни «Методи дослідження фізичних властивостей матеріалів» необхідні для поглибленого вивчення таких дисциплін циклу професійно-орієнтованих: “Матеріалознавство тугоплавких матеріалів”, “Фізико-хімічні основи отримання металів, сплавів та сполук у дисперсному стані”.

**3. Зміст навчальної дисципліни**

**Розділ 1. Основні положення. Методи дослідження структури матеріалів.**

Вступ. Основні поняття. Організація очного/дистанційного навчання

Тема 1.1 Мікроскопічні методи дослідження матеріалів.

Тема 1.2 Методи визначення фізичних властивостей порошоків матеріалів.

**Розділ 2. Методи дослідження теплових властивостей матеріалів.**

Тема 2.1 Методи вимірювання температури.

Тема 2.2 Термічні методи аналізу.

Тема 2.3 Методи вимірювання теплопровідності.

**Розділ 3. Методи дослідження електрофізичних та магнітних властивостей матеріалів**

Тема 3.1. Електрофізичні властивості матеріалів та методи їх вимірювання.

Тема 3.2. Магнітні властивості матеріалів та методи їх вимірювання.

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література:

1. Гоарун Т. П. Фізичні властивості і методи дослідження матеріалів : навч. посіб. / Т. П. Говорун, А. Ф. Будник, В. Б. Юскаєв. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – 255 с.
2. Захарчук Д. А. Фізика. Лабораторний практикум: навчальний посібник для студентів інженерно-технічних спеціальностей денної та заочної форм навчання / Д. А. Захарчук, Л. В. Ящинський – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – 240 с.
3. Методи вимірювання теплопровідності масивних твердих тіл і тонких плівок : огляд / М. О. Галуцук, В.Г. Ральченко, А.І. Ткачук, Д.М. Фреїк // Фізика і хімія твердого тіла. – 2013. – Т. 14, №2. – С. 317-344.
4. Волочанська Б.П. Методи вимірювання теплоємності кристалів : огляд / Б. П. Волочанська // Фізика і хімія твердого тіла. – 2014. – Т. 15, № 3. – С. 596-614.

Додаткова література:

5. Фізичні властивості та методи дослідження матеріалів: методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з курсу для студентів усіх форм навчання матеріалозн. і металург. спец. / Уклад.: А.В. Бєсов, Т.Я. Грідасова. – Київ : ІВЦ “Видавництво “Політехніка”, 2004. – 48 с.
6. Методичні вказівки до спецкурсів «Теплопередача», «Газодинаміка горіння» та спецпрактикуму «Високотемпературні процеси в дисперсних системах». Оптичні методи вимірювання температур / В.В. Калінчак, С.Г. Орловська, Ф.Ф. Карімова – Одеса : Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, 2012. – 27 с.

Примірники основної навчальної літератури доступні студентам з фондів НТБ та у гугл класі.

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

##### 5.1. Лекції

**Заняття 1.** Вступне заняття. Фізичні властивості матеріалів та їх особливості в дисперсному і консолідованому станах. Зв'язок фізичних властивостей матеріалів з особливостями атомно-кристалічної будови. *Література: [1]-[4].*

**Заняття 2.** Сучасні методи дослідження фізичних властивостей матеріалів, переваги і недоліки їх застосування до конкретних об'єктів. Визначення природи фізичних властивостей на основі комплексного аналізу рентгенофазових та мікроскопічних досліджень. Методи визначення хімічного складу матеріалів. Метод мікрорентгеноспектрального аналізу. Фізичні принципи створення зображень в металографічних мікроскопах. Типи об'єктивів та їх недоліки, методи усунення недоліків. Збільшення мікроскопу, роздільна здатність. Методи підвищення роздільної здатності.

*Література: [1]-[4].*

**Заняття 3.** Умови дослідження фізичних властивостей в оточуючому середовищі (активні, нейтральні гази, вакуум, тощо). Теоретичні засади та сучасні методи отримання вакууму (механічні форвакуумні масляні і безмасляні насоси, дифузійна відкачка, високовакуумні титанові магніторозрядні та турбомолекулярні насоси). Методи вимірювання тиску в вакуумі.

*Література: [2].*

**Заняття 4-5.** Температура матеріалів і особливості її вимірювання в різних середовищах та станах. Міжнародна практична шкала температур. Закони випромінювання. Безконтактні методи вимірювання температури. Еквівалентні температури (енергетична, яскравісна та колірна температури). Яскравісний, радіаційний і колірний пірометри. Залежність між

істинною (термодинамічною) та яскравісною температурами. Спектральна випромінювальна здатність матеріалів. *Література: [2], [5]-[6].*

**Заняття 6.** Термоелектричні явища. Термопари, їх головні характеристики. Застосування методу термо-е.р.с. для визначення структурних перетворень в матеріалознавстві.

*Література: [2], [5]-[6].*

**Заняття 7-8.** Теплоємність та її зв'язок з ентальпією й ентропією. Теплоємність металів, сплавів та з'єднань. Граткова і електронна теплоємність. Зміна теплоємності при фазових і структурних перетвореннях. Визначення теплоємності в моделі Дебая та температури Дебая.

*Література: [1], [4].*

**Заняття 9-10.** Методи термічного аналізу. Простий та диференціальний термічний аналізи. Термогравіметрія. Калориметричний аналіз (диференціальна скануюча калориметрія, метод прямої та зворотної калориметрії, метод Сайкса, метод Сміта).

*Література: [1].*

**Заняття 11-12.** Теплове розширення твердих тіл внаслідок ангармонізму коливань кристалічної ґратки. Дилатометричний аналіз матеріалів. Конструкція та принципи роботи дилатометрів. Методика розрахунку коефіцієнту термічного розширення матеріалів. Визначення середнього коефіцієнта термічного розширення в інтервалі температур. Оцінка дилатометричного ефекту фазового перетворення.

*Література: [1].*

**Заняття 13.** Теплопровідність і температуропровідність. Кінетичні коефіцієнти і анізотропія теплопровідності. Вплив гетероструктури на теплопровідність. Вплив типу обробки та хімічного складу на теплопровідність. Методи вимірювання теплопровідності. Вимірювання теплопровідності для дослідження структурно-фазових перетворень. *Література: [1], [3].*

**Заняття 14.** Електропровідність гетерогенних сплавів. Вплив на електропровідність дефектної структури матеріалів. Питомий електричний опір твердих розчинів та сплавів. вимірювання електричного опору литих та спечених порошкових і композиційних матеріалів. Застосування резистометричного аналізу в матеріалознавстві. Методи вимірювання електричного опору: чотирьохзондовий метод, двохзондовий метод, вольтметра-амперметра, моста, трансформатору та компенсаційний. *Література: [1].*

**Заняття 15.** Магнітні властивості матеріалів та типи магнетиків. Надпровідність. Ефекти Мейснера. *Література: [1].*

**Заняття 16.** Методи вимірювання магнітних параметрів: намагніченості, залишкової індукції, коерцитивної сили. Методи балістичного гальванометра, ядерного магнітного резонансу, магнітних ваг та ін. *Література: [1].*

**Заняття 17.** Модульна контрольна робота.

**Заняття 18.** Проведення заліку

## 5.2. Лабораторні заняття

Основні завдання циклу лабораторних занять обсягом 36 годин: *підтвердження теоретичних знань, оволодіння практичними навичками дослідження фізичних властивостей матеріалів.*

**Заняття 1.** Вступ. Правила техніки безпеки. Правила оформлення протоколів та розрахунок похибок експериментів. (2 години).

*Заняття 2-3. Лабораторна робота №1. Вимірювання фізичних властивостей порошків (4 години).*

*Заняття 4-5. Лабораторна робота №2. Механічні насоси для створення низького і середнього вакууму (4 години).*

*Заняття 6-7. Лабораторна робота №3. Високовакуумні парострумні насоси (4 години).*

*Заняття 8. Колоквіум*

*Заняття 9-10. Лабораторна робота №4. Вимірювання температури термодпарами (4 години).*

*Заняття 11-12. Лабораторна робота №5. Вимірювання лінійного коефіцієнта термічного розширення матеріалів (4 години).*

*Заняття 13. Лабораторна робота №6. Встановлення фазових перетворень в матеріалах за допомогою термічного аналізу (2 години) .*

*Заняття 14. Колоквіум*

*Заняття 15. Лабораторна робота №7. Вимірювання електроопору матеріалів (2 години).*

*Заняття 16-17. Лабораторна робота №8. Індукційний метод визначення температури фазового переходу надпровідник-звичайний стан (4 години).*

*Заняття 18. Колоквіум*

## **6. Самостійна робота студента**

Самостійна робота здобувачів (48 годин) з дисципліни полягає в:

- підготовці до виконання лабораторних робіт (1 година на 2 години лабораторних занять, всього 16 годин);
- підготовці до модульної контрольної роботи ( всього 2 години);
- підготовці до семестрового контролю – екзамену (30 годин).

## **Політика та контроль**

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

Система вимог, які ставляться перед студентом

- Відвідування усіх видів занять є бажаним.
- Завдання пропущеного лабораторного заняття здобувач повинен виконати в час, узгоджений з викладачем.
- Під час усіх видів аудиторних занять забороняється використання мобільних телефонів у звуковому режимі, дозволяється обмежене використання для виконання завдань або пошуку додаткової інформації.
- Протоколи лабораторних робіт оформляються у вигляді звітів, написаних від руки. Звіт має наступні структурні елементи: назва, номер, мета, теоретичні відомості, завдання, експериментальна частина (супроводжується формулами, графіками – елементами, які підтверджують виконання завдань), обговорення результатів, висновки. За дистанційної форми навчання звіт може виконуватися як «від руки», так і в будь-якому текстовому редакторі і на перевірку надається в електронному вигляді. Безпосередній захист звіту відбувається у формі співбесіди, запитань-відповідей.
- Заохочувальні бали передбачені за участь у факультетських, інститутських олімпіадах з фізики, участь у конкурсах робіт, підготовка оглядів наукових праць тощо. Сумарна кількість заохочувальних балів за семестр може бути від 1 до 5.
- Політикою дедлайнів передбачається необхідність виконання всіх лабораторних робіт та МКР до закінчення теоретичного навчання в семестрі.

- Усі учасники освітнього процесу: викладачі і здобувачі в процесі вивчення дисципліни мають керуватись принципами академічної доброчесності, передбаченими «Кодексом честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»» <https://kpi.ua/code>.

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

Рейтингова оцінка здобувача складається з балів, отриманих здобувачем за результатами заходів поточного контролю (100 балів) та заохочувальних балів (максимум 5 балів).

Оцінювання навчальної діяльності здобувача проводиться за PCO-1. Рейтингова оцінка здобувача складається з балів, отриманих здобувачем за результатами заходів поточного контролю та заохочувальних балів.

Впродовж семестру здобувач отримує бали за:

- виконання та захист лабораторних робіт (максимум 10 балів за 1 роботу (з них 8 балів за розрахунки, обговорення результатів та оформлення результатів і 2 бали за тест, всього 80 балів);
- написання модульної контрольної роботи (20 балів), додаток А.

Максимальна кількість балів, яку здобувач може отримати за семестр становить 100. Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку (тобто здали всі лабораторні роботи) та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань.

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи або співбесіди.

Після виконання залікової контрольної роботи, якщо оцінка за залікову контрольну роботу більша ніж за рейтингом, здобувач отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи.

Якщо оцінка за залікову контрольну роботу менша ніж за рейтингом, попередній рейтинг здобувача скасовується і він отримує оцінку з урахуванням результатів залікової контрольної роботи.

Залік проводиться у вигляді письмової роботи тривалістю 1 година; завдання включає в себе 2 питання з Додатку Б (відповідь на 1 запитання оцінюється максимум в 50 балів).

#### **Критерії залікового оцінювання для двох питань (де R- максимальна кількість балів за 1 питання)**

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) - (0,95-1)R;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації, або незначні неточності) - (0,75-0,94)R;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації та деякі помилки) - (0,6-0,74)R;
- «незадовільно» – 0.

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

**Календарний контроль:** проводиться двічі на семестр на 8 і 14 тижні, як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу. Для позитивного першого календарного контролю студент повинен отримати  $\geq 15$  балів, що становить 50% і більше від максимальної кількості балів (30 балів) за захисти лабораторних робіт №1-3.

Для позитивного другого календарного контролю студент повинен отримати  $\geq 15$  балів, що становить 50% і більше від максимальної кількості балів (30 балів) за захисти лабораторних робіт №4-6.

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

- У випадку проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою курсу, що підтверджується відповідними сертифікатами, додатково нараховуються 10 балів.
- Лабораторні роботи плануються з максимальним використанням обладнання лабораторій кафедри ВТМ та ПМ, яке застосовується при одержанні та дослідженні широкого спектру матеріалів.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцентом кафедри ВТМ та ПМ, к.т.н. Соловйовою Т.О.

Ухвалено кафедрою ВТМ та ПМ (протокол № 17 від 26 червня 2024 р.)

Погоджено Методичною комісією

Навчально-наукового Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О. Патона  
(протокол № 12/24 від 28.06.2024 р.)

**Приклад завдання модульної контрольної роботи  
з дисципліни “ Методи дослідження фізичних властивостей матеріалів”**

*Мідь широко використовується в промисловості, де потрібні висока тепло- та електропровідність, корозійна стійкість та простота виготовлення за низької вартості. Проте, вона має погані механічні властивості і високий КТР. Введення керамічних порошків у мідну матрицю зміцнює отриманий сплав і підвищує його жароміцність. Наприклад, сплави Си-Мо поєднують у собі високу електро/теплопровідність Си та низький КТР Мо. Актуальним є дослідження впливу масового вмісту Мо на фізичні властивості сплавів Си-Мо.*

*Завданнями МКР є характеристика методів вимірювання та встановлення впливу пористості та вмісту Мо у сплавах Си-Мо на фізичні властивості матеріалів.*

**Порядок роботи.**

1. *Обрати та коротко описати методи вимірювання електроопору та коефіцієнта термічного розширення сплавів Си-Мо.*
2. *Вказати вимоги до зразків для кожного з методів випробування.*
3. *За виміряними значеннями електроопору розрахувати електропровідність та теплопровідність сплавів.*
4. *Розрахувати теоретичні значення КТР сплавів Си-Мо. Порівняти з експериментальними.*
5. *Перевести отримані значення електропровідності у величини IACS, %.*
6. *Знайти в довіднику і вказати значення електропровідності та коефіцієнту термічного розширення для Си і Мо.*
7. *Зробити висновки по впливу масового вмісту Мо на фізичні властивості сплавів Си-Мо. В описі вказати вплив пористості на отримані експериментальні дані.*

**Вихідні дані до роботи.**

**Таблиця 1 – Фізичні властивості сплаву Си-Мо**

Властивості	Вміст Мо, мас.%				
	0	2,5	5	7,5	10
Коефіцієнт термічного розширення при 200°C, 10 <sup>-6</sup> , К	-	16,2	15,8	15,6	15,2
Пористість, %	-	10	7	5	4
Електроопір, мкОм·м	0,017	0,022	0,026	0,029	0,03



**Приклад білету на семестровий контроль****з дисципліни “ Методи дослідження фізичних властивостей матеріалів”**

1. Наведіть схему та розкрийте сутність методу диференціального термічного аналізу ( з використанням рівнянь опису процесу).
2. Фізична сутність теплопереносу з математичним описом процесу. Вкажіть методи визначення теплопровідності та наведіть схеми приладів.