



# Моделювання приладів мікро- і наноелектроніки

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Третій (освітньо-науковий) - доктор філософії</i>
Галузь знань	<i>15 Автоматизація та приладобудування</i>
Спеціальність	<i>153 «Мікро- та наносистемна техніка»</i>
Освітня програма	<i>«Мікро- і наносистемна техніка»</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>3 кредити, лекції 26 год., практичні заняття – 13 год., самостійна робота 51 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>залік</i>
Розклад занять	<a href="http://rozklad.kpi.ua">http://rozklad.kpi.ua</a>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: зав. каф. Електронної інженерії, д.т.н., проф. Тимофеев Володимир Іванович <a href="mailto:v.timofeyev@kpi.ua">v.timofeyev@kpi.ua</a> <a href="mailto:timof-ee@kpi.ua">timof-ee@kpi.ua</a> Практичні заняття: зав. каф. Електронної інженерії, д.т.н., проф. Тимофеев Володимир Іванович <a href="mailto:v.timofeyev@kpi.ua">v.timofeyev@kpi.ua</a> <a href="mailto:timof-ee@kpi.ua">timof-ee@kpi.ua</a>
Розміщення курсу	<i>Google classroom -</i>

### Програма навчальної дисципліни

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

Кредитний модуль «Моделювання приладів мікро- і наноелектроніки» входить до навчальної дисципліни «Моделювання приладів мікро- і наноелектроніки», що належить до циклу нормативних фахових навчальних дисциплін. Викладено методи моделювання мікро- і наноприладів і багаточарових наноструктур. Розроблення і проектування нових мікро- і нанокомпонентів та систем не можливе без застосування математичних моделей і методів моделювання. За своїм змістом дисципліна включає приклади чисельного моделювання низки наноприладів на основі низькорозмірних структур, зокрема, моделювання транзисторних структур з каналом на основі графену, з системами квантових ям і квантових точок. Розглянуто чисельну двовимірну модель гетеротранзистора з квантовими точками і квантовими ямами. Наведено математичну модель одноелектронного транзистора на основі молекули фенілдитіолу. Окремий розділ присвячено пасивним компонентам наноінтегральних схем, дипольним антенам на основі нанотрубок, а також застосуванню нанотрубок і нановолокон як ліній передачі та між'єднань у наносхемах.

**Метою дисципліни** «Моделювання приладів мікро- і наноелектроніки» є отримання студентами спеціальних знань щодо моделювання існуючих і перспективних мікро- і наноприладів, дослідження фізичних процесів у них, квантово-розмірних ефектів у мікро- і наноприладах на основі низькорозмірних структур, включаючи квантові точки, нанотрубки, нанонитки, тривимірні наноприлади), методів їх моделювання, а також формування цілісного уявлення про мікро- і наноприлади, набуття знань, умінь, навичок і досвіду їх використання у практичній діяльності. **Предметом навчальної дисципліни** є математичні моделі і методи моделювання фізичних процесів і властивостей, параметрів і характеристик приладів мікро- і наноелектроніки. Дисципліна формує **загальні компетентності та фахові компетентності**:

- ЗК1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.
- ЗК2 Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- ЗК4 Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології.
- ФК1 Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у мікро- та наносистемній техніці та дотичних міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з електроніки та суміжних галузей.
- ФК4 Здатність використовувати технічне обладнання і устаткування, системи прийняття рішень, програмні засоби та інструменти для проведення наукового експерименту та обробки результатів експериментальних досліджень.
- ФК5 Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні та міждисциплінарні проекти в сфері мікро- та наносистемної техніки, лідерство під час їх реалізації.
- ФК7 Здатність організовувати, забезпечувати і контролювати підтримання наукової та професійної кваліфікації колективу на світовому рівні наукових та інженерних досягнень в сфері розробки та експлуатації приладів і пристроїв мікро- та наносистемної техніки.
- ФК8 Здатність застосовувати методи аналізу, математичне моделювання, виконувати фізичні та математичні експерименти при проведенні наукових досліджень в області мікро- та наносистемної техніки.
- ФК9 Здатність удосконалювати існуючі і розробляти нові методи і технології, програмні і апаратні засоби мікро- і наносистемної техніки біомедичного призначення.

#### **Програмні результати навчання.**

- ПРН1 Мати передові концептуальні та методологічні знання з мікро- та наносистемної техніки і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з відповідного напрямку, отримання нових знань, їх використання у власних дослідженнях та викладацькій практиці.
- ПРН3 Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень, математичного та комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.
- ПРН4 Системно мислити та застосовувати творчі здібності до формування принципово нових ідей, будувати і досліджувати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі об'єктів та процесів мікро- та наноелектроніки, пропонувати способи розв'язання поставлених задач, коли методи їх вирішення не відомі.

- ПРН6 Планувати, організувати та координувати роботу щодо проектування, розроблення, аналізу, розрахунку, моделювання, виробництва та тестування мікро- та наносистемної техніки.
- ПРН8 Використовувати і досліджувати нові методи і технології створення нанокомпонентів і систем, біомедичних електронних систем.

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

Для засвоєння дисципліни щодо математичних моделей і методів моделювання фізичних процесів і властивостей, параметрів і характеристик приладів мікро- і наноелектроніки необхідними є здатності застосування знань і практичних навичок з новітніх наноматеріалів і методів їх дослідження; фізичних процесів, будови і технологій виготовлення мікро- та нанокомпонентів і систем.

Відповідно до структурно-логічної схеми підготовки докторів філософії за спеціальністю «Мікро- та наносистемна техніка» дисципліна «Моделювання приладів мікро- і наноелектроніки» забезпечується і базується на дисциплінах «Наноматеріали та методи їх дослідження», «Мікро- та нанокомпоненти і системи».

**Знання, уміння та навички**, набуті у результаті вивчення даної дисципліни, будуть використані на етапі підготовки дисертації доктора філософії за спеціальністю «Мікро- та наносистемна техніка».

## 3. Зміст навчальної дисципліни

### Лекційні заняття

#### Розділ 1. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ МІКРО- І НАНОЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ

<i>Тема 1.</i> Квантово-розмірні структури. Фізико-хімічні особливості низькорозмірних структур.
--

<i>Тема 2.</i> Методи моделювання мікро- і наноприладів. Моделювання багаточарових наноструктур
---

#### Розділ 2. МОДЕЛЮВАННЯ І ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМ КВАНТОВИХ ТОЧОК

<i>Тема 1.</i> Фізико-топологічна структура транзистора на нанонитках
---

<i>Тема 2.</i> Рівняння аналітичної моделі транзистора на нанонитках
--

#### Розділ 3. ТРАНЗИСТОРИ НА ОСНОВІ ГРАФЕНА

<i>Тема 1.</i> Фізичні властивості графенової стрічки
---

<i>Тема 2.</i> Аналітична модель транзистора з каналом на основі графенової стрічки
---

#### Розділ 4. МОДЕЛЮВАННЯ ГЕТЕРОТРАНЗИСТОРІВ З СИСТЕМАМИ КВАНТОВИХ ЯМ І КВАНТОВИХ ТОЧОК

<i>Тема 1.</i> Параметри квантових ям і квантових структур гетеротранзисторів
---

<i>Тема 2.</i> Гетеротранзистор з квантовими точками
--

<i>Тема 3.</i> Чисельне моделювання гетеротранзисторів з квантовими точками
---

#### Розділ 5. МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОЕЛЕКТРОННОГО ТРАНЗИСТОРА

<i>Тема 1.</i> Топологічна структура одноелектронного транзистора
---

<i>Тема 2.</i> Модель одноелектронного транзистора на основі молекули фенілдитіолу
--

#### Розділ 6. ПАСИВНІ КОМПОНЕНТИ НАНОІНТЕГРАЛЬНИХ СХЕМ

<i>Тема 1.</i> Дипольні антени на основі нанотрубок
---

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Базова література

1. «Моделювання приладів мікро- і наноелектроніки»: [Електронний ресурс]: підручник для аспірантів спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка», та освітньо-наукової програми «Мікро- та наносистемна техніка» / В.О. Москалюк, В.І.Тимофєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 22,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. –164 с.
2. Фізика електронних процесів,: [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» / В. О. Москалюк, В.І.Тимофєєв, Т.А.Саурова; Гриф надано Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 5 від 30.06.2020 р.).– Електронні текстові дані (1 файл: 7,21 Мбайт).–Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.–324 с.
3. Москалюк В.О., Тимофєєв В.І., Федяй А.В. «Надшвидкодіючі прилади електроніки», навчальний посібник з грифом МОН України, вид-во «Політехніка», Київ, 2014, С.528.
4. Заячук Д.М. Основи наноелектроніки: У 2 кн., Кн.1. Квантово-механічні засади, структури, фізичні властивості: Підручник / Заячук Д.М., Якименко Ю.І., Орлова А.Т., Співак В.М., Богдан О.В. – К.: КПІ, 2014. – 470 с.
5. Погосов В.В., Корніч Г.В., Васютін Є.В., Пугіна К.В., Кіпріч В.І Основи нанофізики і нанотехнологій. Електронний посібник. Запоріжжя, 2008. – 630 с.
6. Фізичні основи мікро- та наноелектроніки : підручник для студ. вищих закладів освіти / М. Г. Находкін, Д. І. Шека ; Київський нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. Київ : ВПЦ "Київський університет", 2005. 431 с.
7. Заячук Д. М. Нанотехнології і наноструктури: Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. –580 с.

##### Допоміжна

1. Nano- and micro-electromechanical systems. Fundamentals of nano- and microengineering / Sergey Edward Lyshevski. Boca Raton, Fla. : CRC Press, 2005. 722 p.
2. M.Lundstrom, J.Guo. NANOSCALE TRANSISTORS. Device Physics, Modeling and Simulation / 2006 Springer Science+Business Media, Inc. 222 p.
3. Сайт «Наносистеми, наноматеріали та нанотехнології України» <http://www.imp.kiev.ua/NANO/>
4. J. Enderle, S.M. Blanchard, J. Bronzino. Introduction to Biomedical Engineering, Second Edition. Elsevier Academic Press, 2005.
5. Biomedical Nanotechnology. Edited by N.H. Malsch. CRC Press, 2005.
6. BioMEMS and Biomedical Nanotechnology. Volume 3. Therapeutic Micro/Nanotechnology. Edited by M. Ferrari. Springer, 2006.

#### Навчальний контент

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

##### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
-------	--

1	<p>Тема Квантово-розмірні структури. Фізико-хімічні особливості низькорозмірних структур</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 3-5; допоміжна: 1-6.</p> <p>Завдання на СРС: основні характеристики низькорозмірних структур, аналіз характеристик багат шарових наноструктур.</p>
2	<p>Тема Методи моделювання мікро- і наноприладів. Моделювання багат шарових наноструктур</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 3-5; допоміжна: 5-6.</p> <p>Завдання на СРС: аналіз існуючих методів моделювання мікро- і наноприладів, аналіз характеристик багат шарових наноструктур.</p>
3	<p>Тема Фізичні властивості графенової стрічки</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1-5; допоміжна: 2-5.</p> <p>Завдання на СРС: характеристики графенової стрічки</p>
4	<p>Тема: Аналітична модель транзистора з каналом на основі графенової стрічки</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1-3; допоміжна: 2-5.</p> <p>Завдання на СРС: Особливості характеристик транзистора з каналом на основі графенової стрічки</p>
5	<p>Тема Параметри квантових ям і квантових структур гетеротранзисторів.</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 5; допоміжна: 1,4.</p> <p>Завдання на СРС: Структура гетеро транзисторів.</p>
6	<p>Тема: Чисельне моделювання гетеротранзисторів з системою квантових ям.</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 5; допоміжна: 1,4.</p> <p>Завдання на СРС: Структура енергетичних зон квантових ям і КТ</p>
7	<p>Тема: Чисельне моделювання гетеротранзисторів з квантовими точками</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 5; допоміжна: 1,4.</p> <p>Завдання на СРС: Структура енергетичних зон квантових ям і КТ</p>
8	<p>Тема: Топологічна структура одноелектронного транзистора. Модель одноелектронного транзистора на основі молекули фенілдитіолу</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1, 3; допоміжна: 3.</p> <p>Завдання на СРС: Кулонівська блокада, процеси на границі потенціальних бар'єрів.</p>
9	<p>Тема: Модель одноелектронного транзистора на основі молекули фенілдитіолу</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 1, 3; допоміжна: 3.</p> <p>Завдання на СРС: Вдастивості молекули фенілдитіолу</p>
10	<p>Тема: Рівняння аналітичної моделі транзистора на нанонитках</p> <p>Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран.</p> <p>Література: базова: 3; допоміжна: 5-6.</p> <p>Завдання на СРС: особливості характеристик нанониток</p>

11.	Тема Дипольні антени на основі нанотрубок. Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран. Література: базова: 3; допоміжна: 5-6. Завдання на СРС: рівняння довгих ліній
12	Тема Застосування нанотрубок як ліній передачі Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран. Література: базова: 3; допоміжна: 5-6. Завдання на СРС: особливості дрейфу носіїв заряду у нанотрубках
13	Застосування нанониток і нановолокон у пасивних компонентах наносхем Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран. Література: базова: 3; допоміжна: 5-6. Завдання на СРС: особливості дрейфу носіїв заряду у нанонитках

### Практичні заняття

Основними цілями практичних занять є закріплення знань, отриманих на лекціях та самостійно, детальний розгляд та аналіз моделей і характеристик конкретних нанорозмірних структур та вивчення методів їх комп'ютерного моделювання.

Для ознайомлення з методами та засобами моделювання вибрані характерні низькорозмірні структури з різним рівнем опису щодо математичних моделей і фізичних характеристик з реалізацією із застосуванням чисельних методів у пакетах спеціалізованих програм.

№ з/п	Тематика практичних (семінарських занять)	Кількість ауд. годин
1	Наноструктури і наноматеріали. Види і загальні характеристики нанокластерів Наномолекулярні системи: матеріали і їх фізичні характеристики	2
2	Фізика (характеристики) низькорозмірних систем Фізико-хімія поверхні твердих тіл	2
3	Квантові точки (КТ) – штучні атоми нанорозмірів Ефекти тривимірного просторового обмеження Одночастинкові стани. Форми КТ.	2
4	Види і характеристики нанотрубок. Моделі нанотрубок. Фізико-хімічні особливості наноструктурних матеріалів	2
5	Особливості моделювання низькорозмірних систем. Методи моделювання низькорозмірних систем. Основні рівняння фізико-математичних моделей наносистем	2
6	Наближення часів релаксації енергії і імпульсу при моделюванні наносистем. Моделі квантових ям і гетеропереходів. Фононні процеси у наносистемах.	2
7	Характеристики гетеротранзисторів з квантовими точками Низькорозмірні структури на основі вуглецевих трубок Механізми переносу заряду у нанотрубках.	1

### Методичні рекомендації

Дисципліна вивчається за активним методом, викладач і студенти взаємодіють один з одним в ході аудиторних навчальних занять та консультацій. Можуть застосуватись дистанційні методи навчання, включаючи on-line технології. Для забезпечення наочності навчальних занять рекомендовано використовувати презентаційні матеріали за допомогою комп'ютера, мультимедійного проектору і екрану. Для ілюстрації окремих найбільш вагомих теоретичних і експериментальних нових наукових результатів у відповідних темах використовуються наукові презентації із застосуванням широкого спектру багатомірних графічних і мультимедійних засобів.

При проведенні занять по дисципліні варто зосередитися на необхідності гармонійного поєднання теоретичних аспектів дисципліни і наявних експериментальних даних.

Методика вивчення дисципліни повинна бути спрямована на досягнення формування у аспіранта системних знань про взаємозв'язок фізичних, технологічних і практичних аспектів моделювання і проектування, створення і функціонування мікро- і наноприладів, а саме:

- фізичних властивостей наноматеріалів як об'єктів дослідження, що нерозривно пов'язані з їх застосуванням як електронних мікро- і наноприладів;
- підходів до моделювання нових ефектів у низькорозмірних системах, включаючи квантово-механічні, для аналізу їх властивостей;
- комплексного використання даних діагностики наносистем, експериментальних і модельних результатів досліджень для розроблення нових конструкцій мікро- і нанокомпонентів.

## 6. Самостійна робота аспіранта

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Тема: Квантово-розмірні структури. Фізико-хімічні особливості низькорозмірних структур Література: базова: 1-6, 6; допоміжна: 2-5	5
2	Тема: Фізико-топологічна структура транзистора на нанонитках. Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран. Література: базова: 2,4-10; допоміжна: 4-5.	5
3	Тема: Нанотрубки і нанонитки Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран. Література: базова: 1, 4-8; допоміжна: 3-4.	5
4	Тема: Фізичні властивості графенової стрічки. Література: базова: 1-3; допоміжна: 2-5.	4
5	Тема: Параметри квантових ям і квантових структур. Гетеротранзистор з квантовими точками Література: базова: 4-8; допоміжна: 3-5.	4
6	Тема: Гетеротранзистор з квантовими точками Література: базова: 4-8; допоміжна: 3-5.	4
7	Тема: Топологічна структура одноелектронного транзистора. Дидактичні засоби: проектор, комп'ютер, екран. Література: базова:3, 10; допоміжна: 3.	6
8	Тема: Фізико-топологічна структура транзистора на нанонитках. Література: базова: 1-3; допоміжна: 3-4.	6
9	Тема: Дипольні антени на основі нанотрубок. Література: базова:5; допоміжна: 3.	6

10	Тема: Застосування нанотрубок і нановолокон як ліній передачі та міжз'єднань у наносхемах Література: базова: 5; допоміжна: 3.	6
		51

Самостійна робота також забезпечується дистанційним доступом до платформи CADENCE у лабораторії кафедри електронної інженерії, яка містить потужну бібліотеку моделей мікроелектронних компонентів і сучасні засоби проектування широкого класу мікросхем.

### Тематика індивідуальних завдань (рефератів).

Нанокластерні структури. Наномолекулярні системи. Низькорозмірні системи для наноелектроніки. Структури на основі квантових точок. Наноприлади на основі нанотрубок. Прилади молекулярної електроніки. Наноелектромеханічні системи для перетворення сигналів. Методи моделювання низькорозмірних систем. Моделювання приладів з квантовими ямами. Плазмонні структури. Застосування нанотрубок і нановолокон. Транзистори на основі одновимірних наноструктур. Сенсори на квантових точках. Низькорозмірні системи у наносенсорах. Надгратки.

## Політика та контроль

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

Система вимог, які ставляться перед студентом:

- відвідування лекційних та практичних занять є обов'язковою складовою вивчення матеріалу;
- на лекції викладач користується власним презентаційним матеріалом; використовує гугл-диск для викладання матеріалу поточної лекції, додаткових ресурсів, лабораторних робіт та інше; викладач відкриває доступ до певної директорії гугл-диска.;
- на лекції заборонено відволікати викладача від викладання матеріалу, усі питання, уточнення та ін. студенти задають в кінці лекції у відведений для цього час;
- реферати захищаються на практичних заняттях. Реферат подається в електронному вигляді і може включати презентаційні матеріали.
- заохочувальні бали виставляються за: активну участь на лекціях, практичних заняттях; по результатах презентації реферату, підготовка оглядів наукових праць Кількість заохочуваних балів не більше 10.

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

Рейтингова система оцінювання результатів навчання

з кредитного модуля «Моделювання приладів мікро- і наноелектроніки» спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка».

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи	
	кредити	акад. год.	Лекц.	Практич.	Лаб. роб.	СРС	МКР	Семестрова атестація
3	3	90	26	13		51		залік



Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за активність на аудиторних заняттях і виконання та захист рефератів. Поточний контроль полягає у експрес-опитуваннях, опитуваннях за темою заняття.

### **Система рейтингових балів та критерії оцінювання**

Залік. Умовою допуску до заліку є виконання та захист рефератів.

Переведення рейтингових оцінок у традиційні оцінки

Кількість балів		Оцінка за університетською шкалою
95-100		відмінно
85-94		дуже добре
75-84		добре
65-74		задовільно
60-64		достатньо
Менше 60		незадовільно
Невиконання умов допуску до семестрового контролю		не допущено

При визначенні підсумкового рейтингу поточний рейтинг нормується до шкали 0...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)**

Можливі додаткові бали за наявності сертифікатів щодо платформи CADENCE, про проходження дистанційних чи онлайн курсів, участі у літніх школах за тематикою рефератів.

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

**Складено** зав. кафедрою електронної інженерії, д.т.н., проф. Тимофєєвим Володимиром Івановичем

**Ухвалено** кафедрою електронної інженерії (протокол № 31 від 21 червня 2023р.)

**Погоджено** Вченою методичною комісією факультету електроніки (протокол № 06/23 від 29.06.2023р.)