

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

Кафедра Мікро- та наноелектроніки  
(найменування кафедри)

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**МЕХАНІКА МІКРО- ТА НОСИСТЕМ**  
(назва навчальної дисципліни)

Освітня програма: Якість, стандартизація та сертифікація  
(назва освітньої програми)

Спеціальність: 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
(найменування спеціальності)

Галузь знань: 15 Автоматизація та приладобудування  
(найменування галузі знань)

Ступінь вищої освіти: перший (бакалаврський)  
(назва ступеня вищої освіти)

Затверджено на засіданні кафедри  
Мікро-та наноелектроніки  
(найменування кафедри)

Протокол №1 від 28.08.2020 р.

м. Запоріжжя 2020

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	ППН 09 Механіка мікро- та наносистем Навчальна дисципліна нормативного компонента циклу професійної підготовки
<b>Рівень вищої освіти</b>	Перший (бакалаврський) рівень
<b>Викладач</b>	Коротун А. В., к.ф.-м.н., доцент Мікро- і наноелектроніки
<b>Контактна інформація викладача</b>	Робочий телефон: +380617698367, e-mail: <a href="mailto:andko@zp.edu.ua">andko@zp.edu.ua</a>
<b>Час і місце проведення навчальної дисципліни</b>	Згідно до розкладу занять.
<b>Обсяг дисципліни</b>	<b>Кількість годин</b> – загальний обсяг 135 годин <b>кредитів</b> – 4,5 кредити ЄКТС <b>розподіл годин:</b> 42 години лекційних, 14 годин практичних, 64 години самостійна робота, 15 годин індивідуальна робота <b>вид контролю</b> – іспит
<b>Консультації</b>	Згідно з графіком консультацій
<b>2. Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни</b>	
<p><b>Пререквізити</b> <b>Дисципліни:</b> ППН 04– «Твердотіла електроніка», ППВ 02 – «Фізика твердого тіла», ППВ 03 – «Хімія наноструктурованих матеріалів».</p> <p><b>Постреквізити</b> <b>Дисципліни:</b> ППВ 11 – «Проектування вимірювальних систем» ППВ 12 – «Мікропроцесорні пристрої керування та обробки інформації»</p>	
<b>3. Характеристика навчальної дисципліни</b>	
<p>Механіка мікро- та наносистем – це курс теоретично-практичного спрямування, що поєднує в собі вивчення фізичної природи та методів дослідження механічних властивостей матеріалів, композиційних гетероструктур, мікро- і наномеханічних систем. В курсі також розглядаються основи сучасних нанотехнологій та їх застосування для створення наноструктур і наносистем для електроніки, фотоніки, зв'язку.</p> <p>Вивчення навчальної дисципліни «Механіка мікро- та наносистем» ознайомить студента з перспективами та основами сучасних нанотехнологій та їх застосування при створенні наноструктур і наносистем для електроніки, фотоніки, зв'язку, тощо.</p> <p>У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати <b>інтегральну компетентність:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми метрології та інформаційно-вимірювальної техніки, які характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, що передбачає застосування теорій та методів метрології, способів побудови засобів автоматизації та приладобудування;</li> </ul> <p><b>загальні компетентності:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях;</li> <li>• здатність вільно володіти державною мовою та спілкуватися іноземними мовами;</li> <li>• здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел;</li> <li>• здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;</li> </ul> <p><b>фахові компетентності:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• здатність проводити аналіз складових похибки за їх суттєвими ознаками, оперувати складовими похибки/невизначеності у відповідності з моделями вимірювання;</li> <li>• здатність використовувати сучасні інженерні та математичні пакети для створення моделей приладів і систем вимірювань;</li> </ul>	

- здатність проектувати засоби інформаційно-вимірювальної техніки та описувати принцип їх роботи.
- здатність використовувати сучасні інженерні та математичні пакети для створення моделей приладів і систем вимірювань.

#### **Очікувані програмні результати навчання:**

- вміти використовувати принципи і методи відтворення еталонних величин при побудові еталонних засобів вимірювальної техніки (стандартних зразків, еталонних перетворювачів, еталонних засобів вимірювання);
- вміти пояснити та описати принципи побудови обчислювальних підсистем і модулів, що використовуються при вирішенні вимірювальних задач;
- вміти встановлювати раціональну номенклатуру метрологічних характеристик засобів вимірювання для отримання результатів вимірювання з заданою точністю.

#### **4. Мета вивчення навчальної дисципліни**

формування у студента бази знань про існуючі різноманітні підходи, моделі і методи опису механічної поведінки мікро- і наноструктурних об'єктів та систем.

#### **5. Завдання вивчення дисципліни**

є формування у студентів бази знань про механічні властивості наноматеріалів, існуючі теоретичні моделі, що описують властивості мікро- і наноструктурних об'єктів, способи дослідження механічних властивостей мікро- і нанооб'єктів.

#### **6. Зміст навчальної дисципліни**

##### ***Змістовий модуль 1. Теоретичні та експериментальні методи дослідження механічних властивостей наноматеріалів***

##### **Вступ.**

Структура і механічні властивості традиційних матеріалів мікро- та наносистемної техніки.

##### **Тема 1. Механічні властивості структур зниженої розмірності.**

Будова ідеальних кристалів. Дефекти будови кристалів.

Деформації та руйнування монокристалів. Полікристалічні матеріали (метали). Сплави та їх властивості. Вплив різних чинників на механічні властивості матеріалів.

Наноструктурні матеріали.

Елементи фізичної наномеханіки. Динаміка наночастинок і наномеханічних пристроїв. Нанофлюїдика. Суспензії, емульсії та аерозолі в гравітаційному полі. Капілярні явища.

Теоретичні межі механічних властивостей.

##### **Тема 2. Механічна поведінка твердих тіл в нано- і субмікрооб'ємах при силовому впливі.**

Модель пружного контакту. Контактна жорсткість і модуль Юнга.

Несуча здатність наноконтакту і початкова стадія пластичності. In situ дослідження зародження дислокацій.

##### **Тема 3. Експериментальне дослідження механічних властивостей наноматеріалів. Наноіндентування.**

Методи тестування матеріалів локальним навантаженням. Основи техніки наноіндентування. Інформаційні можливості наноіндентування. Аналіз діаграм навантаження при наноіндентуванні. Корекція результатів тестування в наноіндентуванні.

Методи аналізу  $P-h$ -діаграм. Склерометрія.

Використання силового нанотестингу у дослідженнях механічних властивостей поверхні

##### **Тема 4. Розвинута пружно-пластична деформація при мікроіндентуванні.**

Відновлення  $\sigma$ - $\varepsilon$ -діаграм. Визначення внутрішніх напружень. Часо-залежні властивості.

Розмірні ефекти. Латеральні моди силового сканування поверхні.

Механічні властивості та адгезія тонких плівок.

##### **Змістовий модуль 2. Мікроскопічні методи дослідження механічних властивостей матеріалів. Мікро- та наноелектромеханічні системи**

##### **Тема 5. Силова мікроскопія п'єзовідгуку.**

Методика вимірювань. Використання силової мікроскопії п'єзовідгуку для дослідження біомолекулярних процесів.

Спектроскопічні вимірювання за методикою силової мікроскопії п'єзовідгуку.

**Тема 6. Атомно-силова мікроскопія та її використання для трибологічних досліджень.**

Сили, що діють між вістрям атомно-силового мікроскопу та зразком. Основні принципи роботи атомно-силового мікроскопа (АСМ). Властивості поверхні в атомно-силовій мікроскопії. Контактний і напівконтактний методи дослідження поверхні.

Трибологічні дослідження з використанням методів АСМ. Мікротрибологія. Нанотрибологія.

**Тема 7. Мікроелектромеханічні системи: технології виготовлення та базові матеріали.**

Структурні елементи МЕМС. Области застосування МЕМС.

Технологія виготовлення МЕМС. Об'ємна мікрообробка. Поверхнева мікрообробка.

Базові матеріали для МЕМС. Монокристалічний кремній. Двоокис кремнію. Нітрид і карбід кремнію.

**Тема 8. Фізичні основи роботи МЕМС-пристроїв та методи їх аналізу.**

Механічні та електричні параметри чутливих елементів.

Акселометри. Гіроскопи.

Оптичні МЕМС.

Методи аналізу електромеханічних пристроїв. Метод аналогій. Електростатичний датчик на основі конденсатора і пружини.

Датчик з дисипацією енергії через джоулевське нагрівання.

**Тема 9. Наноелектромеханічні системи.**

Технологія виробництва наноелектромеханічних систем (НЕМС). Формування нанониток. Нанорезонатори.

**7. План вивчення навчальної дисципліни**

№ тижня	Назва теми	Форми організації навчання	Кількість годин
1	Вступ.	Лекція	0,5
	Тема 1. Механічні властивості структур зниженої розмірності.	Лекція	1,5
	Механічні властивості структур зниженої розмірності.	Практичне заняття	2
2 – 3	Тема 1. Механічні властивості структур зниженої розмірності.	Лекція	6
3	Механічна поведінка твердих тіл в нано- і субмікрооб'ємах при силовому впливі	Практичне заняття	2
4	Тема 2. Механічна поведінка твердих тіл в нано- і субмікрооб'ємах при силовому впливі	Лекція	4
5	Тема 3. Експериментальне дослідження механічних властивостей наноматеріалів. Наноідентування.	Лекція	2
	Експериментальне дослідження механічних властивостей наноматеріалів. Наноідентування.	Практичне заняття	2
6	Тема 3. Експериментальне дослідження механічних властивостей наноматеріалів. Наноідентування.	Лекція	2
6 – 7	Тема 4. Розвинута пружно-пластична деформація при мікроідентуванні.	Лекція	4
7	Розвинута пружно-пластична деформація при мікроідентуванні.	Практичне заняття	2
8	Тема 5. Силова мікроскопія п'єзовідгуку.	Лекція	4
9 – 10	Тема 6. Атомно-силова мікроскопія та її використання для трибологічних досліджень.	Лекція	6
10	Атомно-силова мікроскопія та її використання для трибологічних досліджень.	Практичне заняття	2
11	Тема 7. Мікроелектромеханічні системи: технології виготовлення та базові матеріали.	Лекція	4
	Тема 8. Фізичні основи роботи МЕМС-пристроїв та методи їх аналізу.	Лекція	2

12	Фізичні основи роботи МЕМС-пристроїв та методи їх аналізу.	Практичне заняття	2
12 – 13	Тема 8. Фізичні основи роботи МЕМС-пристроїв та методи їх аналізу.	Лекція	4
14	Тема 9. Нанoeлектромеханічні системи.	Лекція	4
15	Іспит	тестування	2

### 8. Самостійна робота

№ тижня	Назва теми	Види СР	Кіл-ть годин	Контрольні заходи
1	Вступ	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	2	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
1 – 3	Механічні властивості структур зниженої розмірності.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	10	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
3 – 4	Механічна поведінка твердих тіл в нано- і субмікрооб'ємах при силовому впливі	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	6	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
5 – 6	Експериментальне дослідження механічних властивостей наноматеріалів. Наноідентування	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	8	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
6 – 7	Розвинута пружно-пластична деформація при мікроідентуванні	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	6	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
8	Силова мікроскопія п'єзовідгуку	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	6	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
9 – 10	Атомно-силова мікроскопія та її використання для трибологічних досліджень	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	6	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
11	Мікроелектромеханічні системи: технології виготовлення та базові матеріали	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	6	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
12 – 13	Фізичні основи роботи МЕМС-пристроїв та методи їх аналізу	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	6	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
14	Нанoeлектромеханічні системи	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	6	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.

**Консультативна допомога** студенту надається у таких формах:

- особиста зустріч викладача і студента за графіком консультацій (не менш ніж 2 години на тиждень або за попередньою домовленістю);
- використання системи дистанційного навчання Moodle;
- листування за допомогою електронної пошти [andko@zp.edu.ua](mailto:andko@zp.edu.ua);
- відеозустріч в системі ZoomMeeting, аудіоспілкування або повідомлення у сервісах Viber та Telegram (за графіком консультацій викладача);

- спілкування по телефону (за графіком консультацій викладача).

### 9. Система та критерії оцінювання курсу

Оцінювання навчальних успіхів студентів реалізується шляхом проведення поточного та підсумкового контролю успішності.

1. Курсом передбачені *практичні заняття*. Враховуючи активність студента на практичних заняттях та результати аудиторних контрольних робіт студент може отримати в кожному модулі максимумо 25 балів.

2. За індивідуальне завдання, яке включає в себе *розв'язок та захист набору задач за варіантами*, студент може отримати в кожному модулі максимумо 15 балів, за умови демонстрації високого рівня знань, а також творчої, розумової, нерепродуктивної діяльності під час застосування теоретичних знань на практиці.

3. По закінченню першого і другого напівсеместру проводиться рубіжні контролю у вигляді *аудиторної модульної контрольної роботи*. Максимальна рейтингова оцінка цих видів контролю – 60 балів.

4. За підсумками першого та другого рубіжного модульного контролю студенту формується підсумкова оцінка знань, яка оголошується до початку екзаменаційної сесії. Під час екзаменаційної сесії студенти, які незгодні з оцінкою за підсумками рубіжного контролю або отримали незадовільну оцінку, з'являються на *екзамен*.

Для студентів заочної форми навчання захист контрольної роботи, розв'язування задач, усний або письмовий іспит.

#### Критерії оцінювання

Поточне тестування та самостійна робота									Підсумкова
Модуль №1				Модуль № 2					
ПЗ	ІДЗ	МК	Σ	ПЗ	ІДЗ	РГЗ	МК	Σ	
25	15	60	100	15	10	15	60	100	100

ПЗ – практичні заняття; ІДЗ – індивідуальне домашнє завдання; РГЗ – розрахунково-графічне завдання; МК – модульна контрольна робота.

Отже, сумарна кількість балів, яку отримує студент впродовж семестру, складає 100. В залежності від отриманої суми балів до залікової відомості та в залікову книжку виставляється оцінка згідно національної шкали.

#### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проєкту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
82-89	<b>B</b>	добре	
74-81	<b>C</b>		
64-73	<b>D</b>	задовільно	
60-63	<b>E</b>		
35-59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

## 10. Політика курсу

### **Політика щодо академічної доброчесності:**

Складати всі проміжні та фінальні завдання самостійно без допомоги сторонніх осіб.

Надавати для оцінювання лише результати власної роботи.

Не вдаватися до кроків, що можуть нечесно покращити ваші результати чи погіршити/покращити результати інших студентів.

Не публікувати відповіді на питання, що використовуються в рамках курсу для оцінювання знань студентів

### **Політика щодо відвідування аудиторних занять (особиста присутність студента):**

Студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні сформувати загальні та фахові компетентності. Самостійну роботу студент може виконати у системі дистанційного навчання (<https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=2475>) з подальшим захистом. За об'єктивних причин (наприклад, лікарняні, стажування, мобільність, індивідуальний графік, інше) аудиторні види занять та завдань також можуть бути трансформовані в систему дистанційного навчання (сервіс Moodle).

### **Політика щодо дедлайнів.**

Студент зобов'язаний дотримуватись крайніх термінів (дата для аудиторних видів робіт або час в системі дистанційного навчання), до яких має бути виконано певне завдання. За наявності поважних причин (відповідно до інформації, яку надано деканатом) студент має право на складання індивідуального графіку вивчення окремих тем дисципліни.

### **Політика щодо оскарження результатів контрольних заходів:**

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються.

### **Політика щодо дотримання прав та обов'язків студентів.**

Права і обов'язки студентів відображено у п.7.5 Положення про організацію освітнього процесу в Національному університеті «Запорізька політехніка» ([https://zp.edu.ua/uploads/dept\\_nm/Polozhennia\\_pro\\_organizatsiyu\\_osvitnoho\\_protseesu.pdf](https://zp.edu.ua/uploads/dept_nm/Polozhennia_pro_organizatsiyu_osvitnoho_protseesu.pdf)).

### **Політика щодо конфіденційності та захисту персональних даних.**

Обмін персональними даними між викладачем і студентом в межах вивчення дисципліни, їх використання відбувається на основі закону України «Про захист персональних даних» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17#Text>). Стаття 10, п.3.