

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

**Кафедра**

мікро- та наноелектроніки  
(найменування кафедри)

**СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**ОСНОВИ МАГНІТОМЕТРІЇ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**  
(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:

бакалавр  
(назва ступеня вищої освіти)

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

Протокол №1 від 17.08.2021 р.

<b>1. Загальна інформація</b>	
<b>Назва дисципліни</b>	<b>Основи магнітометрії конструкційних матеріалів</b> Навчальна дисципліна вибіркової компоненти
<b>Рівень вищої освіти</b>	Перший (бакалаврський) рівень
<b>Викладач</b>	Сніжної Г.В., доцент, к. фіз.-мат. н., д. техн. н., завідувач кафедри мікро- і наноелектроніки
<b>Контактна інформація викладача</b>	Робочий телефон: +380617698367, телефон викладача 0504860966, e-mail: snow@zp.edu.ua
<b>Час і місце проведення навчальної дисципліни</b>	Згідно до розкладу занять.
<b>Обсяг дисципліни</b>	<b>Кількість годин</b> – загальний обсяг 90 годин <b>кредитів</b> – 3 кредити ЄКТС <b>розподіл годин:</b> 14 годин лекційних, 14 годин лабораторних, 2 години - індивідуальне науково-дослідне завдання (ІДЗ), 60 годин самостійна робота, <b>вид контролю</b> – залік
<b>Консультації</b>	Згідно з графіком консультацій
<b>2. Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни</b>	
<p><b>Пререквізити</b> <b>Дисципліни:</b> ОК03 – «Фізика», ОК05 – «Українська мова за професійним спрямуванням», ОК09 – «Фізична хімія», ОК18 – «Методи та засоби вимірювань, випробувань та контролю».</p> <p><b>Постреквізити</b> <b>Дисципліни:</b> ОК 24 – «Інтелектуальні сенсорні системи».</p>	
<b>3. Характеристика навчальної дисципліни</b>	
<p>Основи магнітометрії конструкційних матеріалів (ОМКМ) – це курс теоретично-практичного спрямування, що поєднує в собі фізику процесів, що відбувається при вимірюванні параметрів металів із практичним застосуванням у вигляді магнітометрії конструкційних матеріалів.</p> <p>Вивчення навчальної дисциплін «Основи магнітометрії конструкційних матеріалів» дозволить студентові приймати обґрунтовані рішення при випробовування властивостей сталей різних марок в постійних та змінних магнітних полях.</p> <p><b>Загальні компетентності:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- К01. Здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях;</li> <li>- К02. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово;</li> <li>- К08. Здатність вчитися, здобувати нові знання, уміння, у тому числі в галузі, відмінній від професійної.</li> </ul> <p><b>Фахові компетентності:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- К13. Здатність проводити аналіз складових похибки за їх суттєвими ознаками, оперувати складовими похибки / невизначеності у відповідності з моделями вимірювання;</li> <li>- К16. Здатність використовувати сучасні інженерні та математичні пакети для створення моделей приладів і систем вимірювань;</li> <li>- К21. Здатність до здійснення налагодження і дослідної перевірки окремих видів приладів в лабораторних умовах і на об'єктах.</li> </ul> <p><b>Очікувані програмні результати навчання:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ПР02. Знати і розуміти основні поняття метрології, теорії вимірювань, математичного та комп'ютерного моделювання, сучасні методи обробки та оцінювання точності вимірювального експерименту.;</li> </ul>	

- ПР06. Вміти використовувати інформаційні технології при розробці програмного забезпечення для опрацювання виміральної інформації;
- ПР08. Вміти організовувати та проводити вимірювання, технічний контроль і випробування;
- ПР12. Знати та розуміти сучасні теоретичні та експериментальні методи досліджень з оцінюванням точності отриманих результатів, в тому числі шляхом математичного моделювання;
- ПР14. Вміти організувати процедуру вимірювання, калібрування, випробувань при роботі в групі або окремо.

#### 4. Мета вивчення навчальної дисципліни

формування у студентів системних знань з теорії та практики магнітометрії конструкційних матеріалів, що дозволить працювати по напрямку випробування властивостей сталей різних марок в постійних та змінних магнітних полях та виконувати магнітометричний контроль та прогнозування фізичних, механічних та корозійних властивостей аустенітних сталей.

#### 5. Завдання вивчення дисципліни

**Пізнавальні** – є освоєння фізики явищ, що відбуваються при вимірюванні магнітних параметрів, у процесі виготовлення конструкцій і подальшої експлуатації виробів з цих матеріалів.

**Практичні** – сформувати практичні навички дослідження шляхом опанування сучасних магнітометричних методів з метою контролю та прогнозування механічних і службових властивостей конструкційних аустенітних сталей і сплавів.

#### 6. Зміст навчальної дисципліни

##### Модуль 1.

**Змістовий модуль 1. *Магнітні методи контролю фізико-механічних характеристик металів.***

Вступ. Мета і задачі вивчення дисципліни, її взаємозв'язок з іншими дисциплінами. Короткі історичні відомості про магнітометрію матеріалів.

##### **Тема 1. *Магнітні стани металів і сплавів.***

Класифікація конструкційних матеріалів. Оцінка властивостей конструкційних матеріалів. Діамагнітний ефект. Парамагнетизм металів і сплавів. Феромагнітні сплави. Основні властивості феромагнетиків: залежність магнітної проникливості від магнітного поля, залишковий магнетизм, магнітний гістерезис, коерцитивна сила, точка Кюрі.

Можливість прогнозування механічних і корозійних властивостей аустенітних конструкційних сталей за структурно-магнітним станом (параметр  $\chi_0$ ) аустеніту, який не містить або містить наднизьку кількість  $\alpha$ -фази ( $\delta$ -ферит,  $\alpha'$ -мартенсит). Параметр  $\chi_0$  як інтегральна характеристика сформованого аустеніту внаслідок різноманітних факторів (хімічний склад, умови виплавлення, деформація, термообробка та ін.).

##### **Тема 2. *Аналіз методів контролю фізико-механічних характеристик металоконструкцій. Методи магнітометрії.***

Основні причини аварій та відмов стали: корозійні пошкодження металу конструкції, брак будівельно-монтажних робіт, заводський брак будівельних матеріалів і обладнання, механічні пошкодження, порушення правил технології експлуатації та стихійні лиха. Методи магнітометрії. Порівняльний аналіз областей застосування.

Методи магнітного контролю: за значенням коерцитивної сили, за залишковою намагніченістю, метод магнітних шумів, магнітометричний (метод магнітної пам'яті), феритометрія. Застосування магнітометричного методу для визначення напружень в металі.

Методика визначення питомої парамагнітної сприйнятливості  $\chi_0$  аустеніту та низького вмісту  $P_\alpha$  феромагнітної  $\alpha$ -фази.

##### **Тема 3. *Апаратура для магнітних вимірювань.***

Принцип роботи та основні вузли вібраційного магнетометра. Фізичні основи квантової магнітометри. Квантування магнітного потоку. ПС СКВІД-магнітометр (ПС – постійного струму, SQUID - superconducting quantum interference device): конструкція і принцип дії. Загальна експериментальна схема ПС СКВІД-магнітометра. Кріостат. Кріогенна вставка. Методи вимірювання маг-

нітного моменту. ВЧ СКВІД-магнітометр.

Магнітометрична установка типу терезів Фарадея для визначення парамагнітної питомої магнітної сприйнятливості і низького вмісту  $\alpha$ -фази аустенітних конструкційних сталей.

**Тема 4. Вимірювання питомих електромагнітних втрат. Вимірювання динамічної кривої намагнічування.**

Особливості поведінки феромагнітних матеріалів в змінних магнітних полях. Основні магнітні характеристики феромагнітних матеріалів, в змінних магнітних полях: динамічна крива індукції; динамічна петля гістерезису; амплітудна (повна) пружна і в'язка магнітна проникність; реальна динамічна петля гістерезису і еквівалентна їй за площею еліптична петля. Причини і механізми магнітного гістерезису. Зв'язок електромагнітних втрат енергії із статичною і динамічною петлями магнітного гістерезису.

Доменна структура і процеси динамічного перемагнічування у анізотропних електротехнічних сталях. Загальні уявлення про структуру електромагнітних втрат енергії у матеріалах, які підвергаються дії змінних магнітних полів. Залежність питомих втрат енергії у анізотропних електротехнічних сталях від амплітуди магнітної індукції і частоти перемагнічування.

**Модуль 2.**

**Змістовий модуль 2. Залежність механічних, корозійних властивостей від магнітного стану матеріалу.**

**Тема 5. Магнітний стан аустенітної матриці і механічні властивості конструкційних сталей.**

Вплив магнітного стану аустенітної матриці на механічні властивості аустенітних хромонікелевих сталей (АіSi321). Зв'язок умовної границі текучості  $\sigma_{02}$ , тимчасового опору розриву  $\sigma_b$  відносно подовження  $\sigma$ , показника пластичності  $\Pi$ , показника опору деформації Мартенса – Вомса ( $\Pi_1$ ) і питомої магнітної сприйнятливості  $\chi_0$  аустеніту і вмісту  $P_\alpha$   $\delta$ -фериту сталі АіSi321. Залежність ударної в'язкості КСУ, ударно-абразивної зносостійкості  $K$ , відносного видовження  $\sigma_b$  від парамагнітної питомої магнітної сприйнятливості  $\chi_0$  аустеніту високомарганцевих сталей 110Г8Л, 110Г10Л, 110Г13Л.

**Тема 6. Вимірювання статичних петель магнітного гістерезису.**

Спонтанна намагніченість і температура Кюрі. Області мимовільної намагніченості (магнітні домени) і методи їхнього спостереження. Механізм виникнення магнітострикції. Види магнітострикції (спонтанні магнітострикційні деформації в доменах; магнітострикція в області технічного намагнічування; об'ємна магнітострикція в області парапроцесу; магнітострикція форми). Магнітострикція насичення; константи магнітострикції, поздовжня й поперечна магнітострикція. Енергія магнітної взаємодії.

Практичне застосування явища магнітострикції. Методи виміру магнітострикції.

**Тема 7. Залежність корозійної стійкості аустенітних сталей і сплавів від парамагнітного стану аустеніту.**

Залежність швидкості корозії та кількості  $\delta$ -фериту від питомої магнітної сприйнятливості аустеніту сталей АіSi304, АіSi321, 08Х18Н10Т. Побічний вплив вмісту  $\delta$ -фериту на корозію. Ідентифікація корозійної стійкості різних плавів, але однієї марки аустенітних хромонікелевих сплавів (06ХН28МДТ). Магнітометрична оцінка корозійної стійкості аустенітних хромонікелевих сталей в залежності від фазового складу. Вплив окремих фаз фериту (аустеніт,  $\delta$ -ферит,  $\alpha'$ -мартенцит деформації) на швидкість корозії. Сумарний вплив цих фаз на швидкість корозії.

Заключна. *Перспективи розвитку магнітометрії для контролю і прогнозуванню механічних та службових властивостей конструкційних сталей*

**7. План вивчення навчальної дисципліни**

№ тижня	Назва теми	Форми організації навчання	Кількість годин
1	Магнітні стани металів і сплавів.	лекція	2

1	Визначення питомої парамагнітної сприйнятливості $\chi_0$ аустеніту та низького вмісту $P_\alpha$ феромагнітної альфа-фази	лабораторна робота	2
2	Аналіз методів контролю фізико-механічних характеристик металоконструкцій. Методи магнітометрії.	лекція	2
2	Визначення питомої парамагнітної сприйнятливості $\chi_0$ аустеніту та низького вмісту $P_\alpha$ феромагнітної альфа-фази	лабораторна робота	2
3	Апаратура для магнітних вимірювань.	лекція	2
3	Визначення числа магнетонів Бора на атом в аустенітних конструкційних сталях.	лабораторна робота	2
4	Вимірювання питомих електромагнітних втрат. Вимірювання динамічної кривої намагнічування.	лекція	2
4	Визначення числа магнетонів Бора на атом в аустенітних конструкційних сталях.	лабораторна робота	2
5	Магнітний стан аустенітної матриці і механічні властивості аустенітних сталей.	лекція	2
5	Визначення намагніченості насичення і кількості залишкового аустеніту балістичним методом.	лабораторна робота	2
6	Вимірювання статичних петель магнітного гістерезису.	лекція	2
6	Вимірювання опору термооброблених сталей на подвійному мості Томсона.	лабораторна робота	2
7	Залежність корозійної стійкості аустенітних сталей і сплавів від парамагнітного стану аустеніту.	лекція	2
7	Визначення модуля нормальної пружності на резонансній електромагнітній установці.	лабораторна робота	2

### 8. Самостійна робота

№ тижня	Назва теми	Види СР	Кіл-ть годин	Контрольні заходи
1	Магнітні стани металів і сплавів.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт.	8	Усне опитування на лекціях.
2	Аналіз методів контролю фізико-механічних характеристик металоконструкцій. Методи магнітометрії.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт.	8	Усне опитування на лекціях, лабораторних заняттях.
3	Апаратура для магнітних вимірювань.	Опрацювання літератури, індивідуальна робота.	8	Усне опитування на лекціях, лабораторних заняттях.
4	Вимірювання питомих електромагнітних втрат. Вимірювання динамічної кривої намагнічування.	Опрацювання конспекту лекцій, підготовка до лабораторних робіт.	6	Усне опитування на лекціях, лабораторних заняттях.
5	Магнітний стан аустенітної матриці і механічні властивості аустенітних сталей.	Опрацювання літератури, підготовка до практичних занять, індивідуальна робота.	10	Усне опитування на лекціях, реферат.
6	Вимірювання статичних петель магнітного гістерезису.	Опрацювання літератури, індивідуальна робота.	10	Усне опитування на лекціях.
7	Залежність корозійної стійкості аустенітних сталей і сплавів від парамагнітного стану аустеніту.	Опрацювання літератури, конспекту лекцій, підготовка	10	Усне опитування на лекціях, лабораторних заняттях.

до лабораторних робіт.

**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 [snow@zp.edu.ua](mailto:snow@zp.edu.ua) (у форматі 24/7);
- відеозустріч в системі Zoom Meeting, аудіо спілкування або смс у сервісах Viber та Telegram (за графіком консультацій викладача або за домовленістю);
- спілкування по телефону (за графіком консультацій викладача або за домовленістю у Viber та Telegram).

### 9. Система та критерії оцінювання курсу

Оцінка знань студентів здійснюється за кредитно-модульною системою. Навчальний семестр складається з двох змістових модулів.

Для студентів денної форми навчання кожен змістовий модуль оцінюється за 100-бальною шкалою. Підсумкова оцінка визначається як середня двох контролів за перший та другий змістові модулі. Студент має право додатково скласти залік за 100-бальною шкалою. В цьому випадку підсумкова оцінка визначається як середня в цілому двох змістових модулів та заліку.

Для студентів заочної форми навчання навчальна дисципліна в цілому оцінюється за 100-бальною шкалою. Оцінка за 100-бальною шкалою переводиться відповідно у національну шкалу («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно») та шкалу європейської кредитно-трансфертної системи (ECTS –A, B, C, D, E, FX, F).

#### Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	<b>A</b>	відмінно	зараховано
85 – 89	<b>B</b>	добре	
75 – 84	<b>C</b>		
70 – 74	<b>D</b>	задовільно	
60 – 69	<b>E</b>		
35 – 59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1 – 34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Оцінка «відмінно» виставляється студентові за повне та відмінне виконання завдання без або з незначною помилкою. Оцінка «добре» - за правильне виконання завдання але з деякими помилками. Оцінка «задовільно» – за виконання завдання в достатньому обсязі зі значною кількістю недоліків або в мінімальному обсязі. Оцінка «незадовільно» виставляється студентові, який не виконав завдання або його обсяг недостатній та містить грубі помилки.

Оцінки «зараховано» заслуговує студент, який виявив повне (певне) знання навчального матеріалу, успішно (частково) виконав передбачені програмою завдання, засвоїв рекомендовану основну літературу. Оцінка «зараховано» виставляється студентам, які засвідчили системні (не системні) знання понять та принципів навчальної дисципліни і здатні до їх самостійного поповнення та оновлення (використання) під час подальшої навчальної роботи і професійної діяльності. Одночасно вони допустили певні неточності, пропуски, помилки, які зумовили некоректність окремих результатів та висновків.

Оцінка «незараховано» виставляється студентові, який виявив значні прогалини в знаннях основного навчального матеріалу, допустив грубі помилки у виконанні передбачених програмою завдань, незнайомий з основною літературою, а також студентам, у яких відсутні знання базових положень навчальної дисципліни або їх недостатньо для продовження навчання чи початку професійної діяльності.

### Критерії оцінювання курсу.

Для студентів денної форми навчання кожен змістовий модуль оцінюється за 100-бальною шкалою.

Під час контролю по першому змістовому модулю враховуються наступні види робіт та відповідні критерії:

- повнота відповіді та активність роботи студента при захисті лабораторних робіт оцінюється до 60 балів;
- індивідуальна робота (ІДЗ) – до 20 балів;
- рубіжний контроль (МК) – до 20 балів;

Під час контролю по другому змістовому модулю враховуються наступні види робіт та відповідні критерії:

- повнота відповіді та активність роботи студента на лабораторній роботі оцінюється до 60 балів;
- індивідуальна робота (ІДЗ) – до 20 балів;
- рубіжний контроль (МК) – до 20 балів;

Підсумковий контроль визначається як середня двох контролів за змістові модулі.

Поточне тестування та самостійна робота										Підсумкова
Змістовий модуль №1					Змістовий модуль №2					
ПЗ	ЛР	ІДЗ	МК	Σ	ПЗ	ЛР	ІДЗ	МК	Σ	100
-	60	20	20	100	-	60	20	20	100	

ПЗ – практичні заняття; ЛР – лабораторні роботи; ІДЗ – індивідуальне науково-дослідне завдання; МК – модульна контрольна робота.

## 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 (сервіс Moodle) 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.

### 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 контроль-

них 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 в Положенні про організацію освітнього процесу в Національному університеті «Запорізька політехніка»

<https://zp.edu.ua/normativna-baza-navchalnogo-procesu>

**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.