МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ РОБОТОТЕХНІКИ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Декан факультету
_____ Анатолій ТКАЧУК
«28» серпня 2026 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Перший проректор
_____ Надія КОВАЛЬЧУК
«29» серпня 2026 р.

СИЛАБУС

з освітнього компонента «Елементи та проектування мікроелектромеханічних систем»
ступінь вищої освіти – бакалавр
галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
спеціальність – 176 Мікро- та наносистемна техніка
освітня програма – Мікро- та наносистемна техніка

Кафедра автоматизації та безпілотних систем

Силабус склав(ла) доцент кафедри автоматизації та безпілотних систем, к.т.н, доцент Юрій ЛАПЧЕНКО

Силабус затверджений на засіданні кафедри автоматизації та безпілотних систем, протокол № 1а від «28» серпня 2026 р.

Завідувач кафедри к.т.н., доцент Лариса ГУМЕНЮК

Розглянуто та схвалено групою забезпечення освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка», протокол № 1а від «28» серпня 2026 р.

Гарант ОП «Мікро- та наносистемна техніка» к.т.н. Віталій ПТАШЕНЧУК

Схвалено науково-методичною радою університету, протокол № 1/а від «29» серпня 2026 р.

Затверджений силабус онлайн:
https://e.lntu.edu.ua/syllabus/4064

Луцьк – 2026

СИЛАБУС ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТА «Елементи та проектування мікроелектромеханічних систем»

Освітня програма	Мікро- та наносистемна техніка
Галузь знань / Спеціальність	17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації / 176 Мікро- та наносистемна техніка
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Статус дисципліни	нормативна
Мова викладання	українська
Обсяг	8 кредитів ECTS / 240 годин, семестр 6
Форма контролю	екзамен, курсова робота
Викладач(і)	к.т.н, доцент Юрій ЛАПЧЕНКО електронна пошта: y.lapchenko@lntu.edu.ua

1. Мета і завдання дисципліни

Мета: Головна мета проектування МЕМС — створення мініатюрних, високоточних, енергоефективних та дешевих у масовому виробництві пристроїв, які здатні сприймати зміни у фізичному середовищі та реагувати на них.

Завдання: Розглянути основні типи мікросистемних пристроїв, їх характеристики, принципи роботи та базові технології мікроелектроніки і виготовлення об'ємних структур мікросистем; наведе-но класифікації мікросистемної техніки.

Пререквізити: Фізика, Електротехніка те електроніка, Конструювання та технологія приладобудування

2. Компетентності

ІК — інтегральна компетентність: ІК1. Здатність розв’язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми, що характеризуються комплексністю та невизначеністю умов, під час професійної діяльності у галузі мікро- та наносистемної техніки, або у процесі навчання, що передбачає застосування теорій та методів автоматизації та електроніки.

ЗК01 — Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК02 — Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

ЗК15 — Здатність ухвалювати рішення та діяти, дотримуючись принципу неприпустимості корупції та будь-яких інших проявів недоброчесності.

СК01 — Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки.

СК06 — Здатність застосовувати творчий та інноваційний потенціал в синтезі інженерних рішень і в розробці конструктивних елементів геліоенергетики, приладів фізичного та біомедичного призначення.

СК07 — Здатність розв’язувати інженерні задачі в галузі мікро- та наносистемної техніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації.

3. Структура дисципліни, розподіл годин, зв'язок тем з компетентностями

№	Назва теми	**Лекції** денна/ заочна	**Практ./ Семін.** денна/ заочна	**Лаб.** денна/ заочна	**Самост. робота** денна/ заочна	Разом	Методи навчання	Методи оцінювання	ЗК та СК
Змістовий модуль 1. Методи та технології виробництва мікроелектромеханічних систем. Мікроелектронні датчики фізичних величин									

№	Назва теми	**Лекції** денна/ заочна	**Практ./ Семін.** денна/ заочна	**Лаб.** денна/ заочна	**Самост. робота** денна/ заочна	**Разом**	**Методи навчання**	**Методи оцінювання**	**ЗК та СК**
1	Тема 1. Структурні елементи мікромеханічних систем. Базові матеріали для мікромеханічних систем	3/1	3/0,5	3/0,5	13/18	22/20	МН1, МН2, МН3, МН5	МО2	ЗК01, ЗК02, ЗК15, СК01, СК06, СК07
2	Тема 2. Базові технології мікроелектроніки, що застосовуються для виготовлення МЕМС. Технології виготовлення об'ємних структур МЕМС	3/1	3/0,5	3/0,5	13/18	22/20	МН1, МН2, МН3, МН5	МО2	ЗК01, ЗК02, ЗК15, СК01, СК06, СК07
3	Тема 3. Технології корпусування мікромеханічних систем.	3/1	3/0,5	3/0,5	13/18	22/20	МН1, МН2, МН3, МН5	МО2	ЗК01, ЗК02, ЗК15, СК01, СК06, СК07
4	Тема 4. Датчики тиску.	3/1	3/0,5	3/0,5	13/18	22/20	МН1, МН2, МН3, МН5	МО2	ЗК01, ЗК02, ЗК15, СК01, СК06, СК07
5	Тема 5. Мікровитратоміри	3/1	3/0,5	3/0,5	13/18	22/20	МН1, МН2, МН3, МН5	МО2	ЗК01, ЗК02, ЗК15, СК01, СК06, СК07
6	Тема 6. Датчики температури	3/1	3/0,5	3/0,5	13/18	22/20	МН1, МН2, МН3, МН5	МО2, МО4	ЗК01, ЗК02, ЗК15, СК01, СК06, СК07
Змістовий модуль 2. Мікроелектронні датчики фізичних величин. Мікромеханізми та мікроприводи									
7	Тема 7. Електроакустичні мікромеханічні датчики. Датчики магнітного поля	2/1	2/0,5	2/0,5	12/18	18/20	МН1, МН2, МН3, МН5	МО2	ЗК01, ЗК02, ЗК15, СК01, СК06, СК07
8	Тема 8. Мікроелектромеханічні акселерометри. Мікромеханічні гіроскопи	2/1	2/0,5	2/0,5	12/18	18/20	МН1, МН2, МН3, МН5	МО2	ЗК01, ЗК02, ЗК15, СК01, СК06, СК07

№	Назва теми	Лекції денна/ заочна	Практ./ Семін. денна/ заочна	Лаб. денна/ заочна	Самост. робота денна/ заочна	Разом	Методи навчання	Методи оцінювання	ЗК та СК
9	Тема 9. Актюаторні елементи МЕМС	2/1	2/0,5	2/0,5	12/18	18/20	МН1, МН2, МН3, МН5	МО2	ЗК01, ЗК02, ЗК15, СК01, СК06, СК07
10	Тема 10. Мікродвигуни	2/1	2/0,5	2/0,5	12/18	18/20	МН1, МН2, МН3, МН5	МО2	ЗК01, ЗК02, ЗК15, СК01, СК06, СК07
11	Тема 11. Механічні мікропередачі	2/1	2/0,5	2/0,5	12/18	18/20	МН1, МН2, МН3, МН5	МО2	ЗК01, ЗК02, ЗК15, СК01, СК06, СК07
12	Тема 12. Технологічні мікросистеми	2/1	2/0,5	2/0,5	12/18	18/20	МН1, МН2, МН3, МН5	МО1, МО2, МО4, МО7	ЗК01, ЗК02, ЗК15, СК01, СК06, СК07
	Разом	**30/12**	**30/6**	**30/6**	**150/216**	**240/240**			

Легенда: ЗК — загальна компетентність (номер за п. 2); СК — спеціальна (фахова) компетентність (номер за п. 2). Повне формулювання кожного коду наводиться в ОП / стандарті спеціальності.

Методи навчання: МН1 — словесний метод (лекція, дискусія, співбесіда тощо); МН2 — практичний метод (лабораторні та практичні заняття); МН3 — наочний метод (метод ілюстрацій і метод демонстрацій); МН5 — відеометод у сполученні з новітніми інформаційними технологіями та комп'ютерними засобами навчання (дистанційні, мультимедійні, веб-орієнтовані тощо).

Методи оцінювання: МО1 — екзамен; МО2 — усне або письмове опитування; МО4 — тестування; МО7 — презентації результатів виконаних завдань та досліджень.

4. Результати навчання

ПРН01. Застосовувати знання принципів дії пристроїв і систем мікро- та наносистемної техніки при їхньому проектуванні та експлуатації.

ПРН09. Проектувати пристрої мікро- та наносистемної техніки у відповідності до вимог замовника і наявних ресурсних обмежень.

5. Неформальна освіта

Рекомендовані курси, тренінги, стажування та інші: результати навчання, здобуті у формальній, неформальній чи інформальній освіті, можуть бути визнані відповідно до процедур ЛНТУ. Підтвердженнями можуть бути сертифікати тематичних тренінгів, вебінарів чи онлайн-курсів разом з описом досягнутих результатів навчання та, за потреби, коротке верифікаційне завдання або портфоліо.

6. Критерії та форми контролю

Оцінювання — за 100-бальною шкалою (національна шкала / ЄКТС). Підсумковий бал = поточний контроль (25 %) + модульний контроль (20 %) + курсова робота (15 %) + екзамен (40 %).

Академічна доброчесність: самостійне виконання завдань; коректне посилання на джерела; позначення частин тексту, згенерованих засобами ШІ. Порушення академічної доброчесності не толеруються.

7. Зміст тем

Тема 1. Структурні елементи мікромеханічних систем. Базові матеріали для мікромеханічних систем

Мікросистеми, мікропристрої та їх елементи. Фізичні основи роботи пристроїв мікромеханічних систем. Кремній. Двооксид кремнію. Кремній на ізоляторі. Нітрид і карбід кремнію. Інші матеріали. Матеріали, що використовуються у виробництві корпусів МЕМС.

Тема 2. Базові технології мікроелектроніки, що застосовуються для виготовлення МЕМС. Технології виготовлення об'ємних структур МЕМС

Нанесення покриттів і плівок. Літографія. Травлення. З'єднання підложок. Об'ємне мікрооброблення. LIGA технологія. Поверхневе мікрооброблення.

Тема 3. Технології корпусування мікромеханічних систем.

Системи пакування. Технології корпусування окремого чипа. Технології корпусування гетерогенних елементів МЕМС.

Тема 4. Датчики тиску.

Тензо- і п'єзорезистивні датчики тиску. Ємнісні датчики тиску. Резонансні датчики тиску. Індуктивні датчики тиску.

Тема 5. Мікровитратоміри

Термоанемометричний МЕМС-витратомір. Калориметричний МЕМС-витратомір.

Тема 6. Датчики температури

Пристрої на основі термоелектрики. Терморезистивні датчики температури. Напівпровідникові датчики температури. Безконтактні вимірники температури.

Тема 7. Електроакустичні мікромеханічні датчики. Датчики магнітного поля

МЕМС-мікрофони. Ультразвукові датчики відстані. Датчики Холла. Магніторезистивні датчики. МЕМС-компаси.

Тема 8. Мікроелектромеханічні акселерометри. Мікромеханічні гіроскопи

Ємнісні МЕМС-акселерометри. П'єзоелектричні МЕМС-акселерометри. П'єзорезистивні МЕМС-акселерометри. Інші варіанти побудови МЕМС-акселерометрів. Вібраційні гіроскопи. Інерціальні вимірювальні модулі.

Тема 9. Актюаторні елементи МЕМС

Електростатичні актюатори. Магнітні актюатори. П'єзоелектричні актюатори. Термоактюатори.

Тема 10. Мікродвигуни

П'єзоелектричні мікродвигуни. Електростатичні мікродвигуни. Електромагнітні мікродвигуни. Інші типи мікродвигунів.

Тема 11. Механічні мікропередачі

Механічні зубчасті мікропередачі. Механічні ланцюгові мікропередачі. Механічні фрикційні мікропередачі. Важільні мікропередачі. Додаткові пристрої в мікропередачах.

Тема 12. Технологічні мікросистеми

Мікронасоси. Мікромеханічні ключі та комутатори. Мікродзеркала. Мікроінструменти та пристрої.

8. Курсова робота

Курсова робота на тему «Проектування мікроелектромеханічних систем (МЕМС)» передбачає розробку конструкції, математичне моделювання та інженерний розрахунок мікророзмірних пристроїв (актуаторів, сенсорів, акселерометрів тощо).

Типова структура курсової роботи:

1. Вступ

– Актуальність теми (розвиток мікросистемотехніки, мініатюризація приладів).

– Мета та завдання роботи.

– Об'єкт і предмет дослідження.

– Методи дослідження.

2. Огляд літератури та аналіз сучасного стану МЕМС

– Класифікація мікроелектромеханічних систем (ємнісні, п'єзоелектричні, електростатичні, теплові).

– Приклади застосування (акселерометри в смартфонах, гіроскопи, мікрофони, датчики тиску).

– Аналіз матеріалів для виготовлення МЕМС (силікон/кремній, полісилікон, кварц, метал, п’єзоелектрики).

4. Проектування та розрахунок конструкції МЕМС

– Вибір типу чутливого елемента або виконавчого пристрою (наприклад, пружна консоль-кантілевер, мембрана, гребінчастий актуатор).

– Кінематичні та силові розрахунки.

– Розрахунок механічних параметрів: жорсткість пружних елементів, власна частота коливань, переміщення під дією сили чи напруги.

– Електричні розрахунки: ємність, електростатична сила, падіння напруги або сигнал на виході.

4. Комп'ютерне моделювання МЕМС

– Побудова 3D-моделі пристрою.

– Проведення скінченноелементного аналізу (FEM) у спеціалізованому програмному забезпеченні (наприклад, COMSOL Multiphysics або SEMulator3D).

– Аналіз розподілу напружень, деформацій та частотних характеристик.

5. Технологічні особливості виготовлення (МАРШРУТ)

– Короткий опис технології мікровиробництва (фотолітографія, травлення — анізотропне/ізотропне, осадження плівок, поверхнева або об’ємна мікрообробка).

6. Висновки.

7. Список використаних джерел.

Варіанти тем для курсових робіт:

1. Проектування ємнісного МЕМС-акселерометра для інерціальних систем.

2. Розрахунок та моделювання електростатичного мікроактуатора консольного типу.

3. Дослідження впливу термічних напруг на деформацію біморфної мікроконсолі.

4. Проектування МЕМС-датчика тиску з кремнієвою мембраною.

5. Моделювання динамічних характеристик гребінчастого мікродвигуна.

Курсова робота виконується відповідно до вимог ДСТУ 3008:2015 та відповідного Положення про курсове проектування у ЛНТУ.

Щодо обсягу курсової роботи, то він може бути рекомендований у межах 30 сторінок з використанням стандартних аркушів білого паперу формату А4 (210×297 мм). Мова – українська. Для друкування застосовувати текстовий редактор MS WORD for WINDOWS, використавши шрифт Times New Roman (Cyr), 14 pt, через 1,5 інтервал між рядками.

9. Загальні вимоги

Освітній процес регулюється академічними правилами ЛНТУ. Здобувачі освіти зобов’язані ознайомитися з вимогами, визначеними Кодексом академічної доброчесності ЛНТУ та Політикою етичного використання штучного інтелекту в ЛНТУ, і дотримуватися принципів академічної доброчесності та етичного використання штучного інтелекту в освітній діяльності.

Академічна доброчесність. Учасники освітнього процесу зобов’язані дотримуватися Закону України «Про академічну доброчесність» від 18.12.2025 № 4742-IX та внутрішніх нормативних документів ЛНТУ. Не допускаються академічний плагіат, фабрикація, фальсифікація, привласнення авторства, несамостійне виконання завдань, а також недоброчесне використання результатів, згенерованих штучним інтелектом.

Використання штучного інтелекту. Інструменти штучного інтелекту можуть використовуватися для пошуку ідей, пояснення методів, попереднього структурування, мовного

редагування та допоміжного аналізу неконфіденційних даних, якщо конкретне завдання не передбачає повністю самостійного виконання. Здобувач освіти має зазначати використаний інструмент, мету та етап його застосування, перевіряти факти й розрахунки та самостійно обґрунтовувати висновки.

10. Література

I. Навчально-методичні матеріали та розробки

Праці інших авторів:

1. Елементи та проектування мікроелектромеханічних систем: методичні вказівки до лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка» спеціальності 176 Мікро- та наносистемна техніка галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації денної та заочної форм навчання / уклад. В. П. Симонюк. Луцьк: ВІП ЛНТУ, 2025. 96 с.

II. Наукові праці

Праці автора силабуса:

2. Povstianoi O., Vynokurova O., Denysiuk V., Lapchenko Y., Hrudetskij R. Information and measurement system for analyzing images of fundus tissue using computer-integrated technologies. ITTAP’2025: 4th International Workshop on Information Technologies : Theoretical and Applied Problems, October 22-24, Ternopil-Opole, 2025, Pp. 90-103. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/3782

3. Денисюк В. Ю., Лапченко Ю. С. Методика повірки покращення метрологічних характеристик акустичних датчиків рівня. Технологічні комплекси. Луцьк, 2025. Вип. 17(1). С. 4-17. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/3784

4. Симонюк В. П., Денисюк В. Ю., Лапченко Ю. С. Система комбінованого опалення приміщень з автоматичним регулюванням розподілу потоків. «Приладобудування: стан і перспективи»: зб. матер. XXIII Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Київ, 14-15 трав. 2024 р.). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024, С. 282-284. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/3759

5. Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С. Оптико-електронні пристрої метрологічного контролю похибок механічних пристроїв переміщень об'єктів. «Сучасні технології промислового комплексу – 2021»: матер. VII-ої Міжнар. наук.-практ. конф. Вип. 7. Херсон: ХНТУ, 2021. С. 74-77. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/3780

6. Денисюк В. Ю., Симонюк В. П., Лапченко Ю. С., Тимощук А. А., Черняк С. О. До метрологічного забезпечення вимірювання за допомогою мікроскопа-нанотвердоміра «НаноСкан-3D». «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта»: матер. XXII-тої Міжнар. наук.-техн. конф., (м. Київ, 7-10 верес. 2021 р.). Київ: 2021. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/3779

Праці інших авторів:

7. Chircov C, Grumezescu AM. Microelectromechanical Systems (MEMS) for Biomedical Applications. Micromachines (Basel). 2022 Jan 22;13(2):164. doi: 10.3390/mi13020164. PMID: 35208289; PMCID: PMC8875460.

8. Peng, T.-H.; Hsu, H.-J.; Huang, J.H. Analysis of Structural Design Variations in MEMS Capacitive Microphones. Sensors 2025, 25, 900. https://doi.org/10.3390/s25030900.

III. Інформаційні ресурси

9. Introduction to MEMS Accelerometers. https://www.pcb.com/resources/technical-information/mems-accelerometers.