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 «Мікро- та наносистемна техніка»
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) v.denysiuk@lntu.edu.ua кафедри автоматизації та безпілотних систем, к.т.н., доцент Віктор ДЕНИСЮК

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/621

Луцьк – 2026

СИЛАБУС ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТА «Мікро- та наносистемна техніка»

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	4 кредити ECTS / 120 годин, семестр 7
Форма контролю	екзамен
Викладач(і)	к.т.н., доцент Віктор ДЕНИСЮК електронна пошта: v.denysiuk@lntu.edu.ua

1. Мета і завдання дисципліни

Мета: Надання студентам системних знань про фізичні принципи, методи проектування, технології виготовлення та особливості функціонування мікро- та наносистемних пристроїв і приладів, а також у набутті навичок застосування цих знань для розв’язання інженерних і науково-дослідних задач.

Завдання: Ознайомити студентів з основними поняттями, термінами та класифікацією мікро- та наносистемної техніки; вивчити фізичні основи функціонування мікро- та нанопристроїв; розглянути технології виготовлення мікросистемних та наносистемних елементів; сформувати знання про типові конструкції та принципи роботи мікросенсорів, мікроактюаторів, нанороботів, мікродзеркальних пристроїв та інших елементів мікроелектромеханічних та наноелектромеханічних систем; розвинути навички застосування мікро- та наносистем у різних галузях: приладобудуванні, телекомунікаціях, медицині, біотехнологіях, авіаційно-космічній техніці; сприяти розвитку інженерного мислення та здатності до наукових досліджень у сфері новітніх мікро- та нанотехнологій.

Пререквізити: Фізика, теорія планування та проведення експерименту, теорія електричних кіл та сигналів, основи електроніки та схемотехніка, мікропроцесорна техніка, елементи та проектування мікроелектромеханічних систем.

2. Компетентності

ЗК01 — Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.

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

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. Основні типи мікросистемних пристроїв, їх характеристики, принципи роботи та способи їх виготовлення									
1	Тема 1. Сучасний стан і напрямок розвитку мікро- та наносистемної техніки	2/0,25			6/9	8/9,25	МН1, МН4, МН6	МО2	ЗК01, СК01

№	Назва теми	Лекції денна/ заочна	Практ./ Семін. денна/ заочна	Лаб. денна/ заочна	Самост. робота денна/ заочна	Разом	Методи навчання	Методи оцінювання	ЗК та СК
2	Тема 2. Історія мікроелектромеханічних систем (МЕМС)	2/0,25			6/9	8/9,25	МН1, МН4, МН6	МО2	ЗК01, СК01
3	Тема 3. Мікросистеми	2/0,25	4/–	–/1	6/9	12/10,25	МН1, МН2, МН4, МН6	МО2	ЗК01, СК01
4	Тема 4. Визначення, класифікація загальні вимоги	4/0,5			6/9	10/9,5	МН1, МН4, МН6	МО2	ЗК01, СК01
5	Тема 5. Технології виготовлення елементів мікро- та наносистемної техніки	4/0,5	4/–	–/2	6/9	14/11,5	МН1, МН2, МН4, МН6	МО2	ЗК01, СК01
6	Тема 6. Проектування МЕМС	2/0,25			6/9	8/9,25	МН1, МН4, МН6	МО2, МО4	ЗК01, СК01
Змістовий модуль 2. Давачі та актюаторні елементи мікро- та наносистемної техніки									
7	Тема 7. Давачі	4/0,5	4/–	–/2	6/9	14/11,5	МН1, МН2, МН4, МН6	МО2	ЗК01, СК01
8	Тема 8. Актюатори – виконавчі механізми	2/0,25	3/–	–/1	6/9	11/10,25	МН1, МН2, МН4, МН6	МО2	ЗК01, СК01
9	Тема 9. Мікроболометри	2/0,25			6/9	8/9,25	МН1, МН4, МН6	МО2	ЗК01, СК01
10	Тема 10. Цифрові мікродзеркальні пристрої та інтегральні мікромеханічні ключі	2/0,25			6/9	8/9,25	МН1, МН4, МН6	МО2	ЗК01, СК01
11	Тема 11. Електромагнітні мікрогенератори та електростатичні мікродвигуни	2/0,25			6/9	8/9,25	МН1, МН4, МН6	МО2	ЗК01, СК01
12	Тема 12. Гідравлічні актюатори	2/0,5			9/11	11/11,5	МН1, МН4, МН6	МО1, МО2, МО4	ЗК01, СК01
	Разом	**30/4**	**15/0**	**0/6**	**75/110**	**120/120**			

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); МН4 — робота з навчально-методичною літературою (конспектування, тезування, анотування, рецензування, складання реферату); МН6 — самостійна робота (розв'язання завдань).

Методи оцінювання: МО1 — екзамен; МО2 — усне або письмове опитування; МО4 — тестування.

4. Результати навчання

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

5. Цілі сталого розвитку

ЦСР 9 – Промисловість, інновації та інфраструктура

6. 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.

7. Критерії та форми контролю

Оцінювання — за 100-бальною шкалою (національна шкала / ЄКТС). Підсумковий бал = поточний контроль (30 %) + модульний контроль (30 %) + екзамен (40 %).

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

8. Зміст тем

Тема 1. Сучасний стан і напрямок розвитку мікро- та наносистемної техніки

Сучасний стан і напрямок розвитку мікро- та наносистемної техніки
Розвиток мікросистемної техніки. Властивості мікросистем. Електроніка та інформаційні технології. Інвестиції в мікросистемну техніку.

Тема 2. Історія мікроелектромеха-нічних систем (МЕМС)

Історія та архітектура. Винахід Біполярного Транзистора (1947р.). Відкриття п’єзорезистивного ефекту в Si і Ge (1954р.). Перша інтегральна схема (1958р.). Перший мікропроцесор (1971р.). Давачі тиску на кремнієвих пластинах (1960-1970рр.). Винахід атомно-силового мікроскопа (1986р.). Перші мікродвигуни (1988р.). Решітка Модулятора світла (1992р.). Перші комерційні акселерометри (1993р.). Розвиток оптики наприкінці 1990-х, початку 2000-х. Розвиток БіоМЕМС наприкінці 1990-х, початку 2000-х.

Тема 3. Мікросистеми

Класифікація мікроелектромеханічних систем. Структура мікроелектромеханічних систем. Актюатори. Давачі. Пристрої керування.

Тема 4. Визначення, класифікація загальні вимоги

Визначення давач. Визначення перетворювач. Визначення актюатор. Класифікація давачів. Класифікація актюаторів. Характеристики давачів та актюаторів. Передавальна функція. Опір та узгодження опорів. Діапазон та амплітуда. Точність, похибка, нестабільність. Часова нестабільність. Чутливість. Надійність мікросистем. Похибки. Гістерезис. Нелінійність. Насиченість. Частотна залежність. Час відклику. Калібрування. Роздільна здатність. Інші параметри давачів.

Тема 5. Технології виготовлення елементів мікро- та наносистемної техніки

SIGA-технологія. MUMPs технологія. Об’ємна мікрообробка. Поверхнева мікрообробка. Технологія виготовлення LIGA. Глибоке реактивне іонне травлення. Фотолітографія. Матеріали для мікрообробки. Рідке хімічне травлення. Сплавлення.

Тема 6. Проектування МЕМС

Закони пропорційної мініатюризації. Проектування мікросистем. Проблеми проектування мікросистем. Електродинамічні аналогії в осциляторних системах.

Тема 7. Давачі

Електромагнітні давачі. Ємнісні давачі та актюатори. Ємнісні позиційні давачі та давачі переміщення. Давачі зазору. Позиційний давач. Ємнісні давачі рівня рідини. Магнітні давачі та актюатори. Індуктивні давачі зазору. Механічні давачі сили. Тактильні давачі. Давачі

температури. Давачі тиску. Давачі кута – гіроскопи. Інерційні давачі.

Тема 8. Актюатори – виконавчі механізми

Різні типи мікроактюаторів. Актюатор як компонент мікросистемної техніки. Температурні актюатори. Теплові актюатори. Принцип роботи термоактюатора. Електроактюатори. Термопневматичні актюатори. П’єзоелектричні актюатори. Електростатичні актюатори. Електромагнітні актюатори. Ємнісні актюатори. Біметалеві термоактюатори. Математична модель електроактюатора. Математична модель мікроактюатора на базі рівнянь в часткових похідних. Мікротурбіни.

Тема 9. Мікроболометри

Давачі випромінювання – мікроболометри. Інтеграція IR-давачів в автомобільні ІЧ-камери нічного бачення. Мікроболометри. Загальна архітектура мікроболометра. Модель мікроболометра. Електрична складова мікроболометра. Теплова складова мікроболометра.

Тема 10. Цифрові мікродзеркальні пристрої та інтегральні мікромеханічні ключі

Цифрові мікродзеркальні пристрої. Інтегральні мікродзеркала. Інтегральні мікромеханічні ключі. Параметри мікромеханічних ключів.

Тема 11. Електромагнітні мікрогенератори та електростатичні мікродвигуни

Електромагнітний мікрогенератор. Аналітична модель електромагнітного мікрогенератора. Моделювання магнітного поля електромагнітного мікрогенератора. Обмеження при проектуванні мікрогенератора. Конструкція електромагнітного мікрогенератора. Принцип роботи мікрогенератора. Теоретичні дослідження конструкції плоскої пружини. Коливання системи маса-пружина. Вибір матеріалу. Електростатичні мікродвигуни.

Тема 12. Гідравлічні актюатори

Класифікація мікропомп. Механічні мікронасоси. Електростатичні мікронасоси. П’єзоелектричні мікронасоси. Термопневматичні мікронасоси. Мікропомпи з ефектом пам’яті форми. Біметалеві мікропомпи. Електромагнетичні мікронасоси. Немеханічні мікронасоси. Магнітогідродинамічні насоси (МГД). Електрогідродинамічні мікронасоси (ЕГД). Електроосмотичні мікронасоси (ЕО). Насос на електрозмочуванні. Мікропомпи бульбашкового типу. Електрохімічні мікронасоси.

9. Опис ІЗ/КПІЗ

Не передбачено навчальним планом.

10. 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.

11. Література

І. Навчально-методичні матеріали та розробки

Праці інших авторів:

1. Іванушкіна Н. Г., Іванько К. О. Біоелектронні мікро- та наносистеми: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 204 с.

2. Мачулянський О. В. Технологічні основи електроніки. Лабораторний практикум: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 204 с.

3. Поп М. М., Біланич В. С. Фізика та технології наноструктур: навч. посіб. Ужгород: ДВНЗ «УжНУ», 2024. 104 с.

II. Наукові праці

Праці автора силабуса:

4. Povstyanoy O., Vynokurova O., Denysiuk V., Lapchenko Y., Hrudetskij R. Information and measurement system for analyzing images of fundus tissue using computer-integrated technologies. 2025. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/4262

5. Денисюк В. Ю. Модуль точних мікропереміщень двокоординатного столика мікроскопа на базі біморфних п’єзоактюаторів та алгоритм його керування. 2025. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/3783

6. Денисюк В. Ю. Аналіз сучасних технологій контролю виробів адитивного виробництва. 2025. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/3785

7. Пилипець М. І., Денисюк В. Ю. Моделювання динамічних характеристик двокоординатних п’єзоприводних сканерів. 2025. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/3787

8. Povstianoi O., Markina L., Denysiuk V., Pylypets M. Automated smart humanoid robot arm on the ARDUINO platform. 2025. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/4707

9. Денисюк В. Ю. Система автоматичного регулювання прецизійного переміщення сканера скануючого зондового мікроскопа. 2021. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/5593

10. Денисюк В. Ю. Мехатронний модуль мікропереміщень двокоординатного столика на базі біморфних п’єзоактюаторів. 2026. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/5957

11. Денисюк В. Ю., Кравчук О. О. Розроблення та аналіз багатокоординатних мікроманіпуляційних систем точного позиціонування на основі п’єзоелектричних виконавчих пристроїв. 2025. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/5947

12. Денисюк В. Ю., Кравчук О. О. Система керування точністю мікропереміщень предметного столика мікроскопа. 2025. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/5564

13. Денисюк В. Ю., Кібиш О. Д. Аналіз методів лазерного термохімічного запису зображень на тонких металевих плівках. 2024. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/5953

14. Денисюк В. Ю., Кібиш О. Д. Аналіз технологій запису зображень на тонких плівках. 2024. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/3812

15. Денисюк В. Ю., Огородник М. О. Мехатронний автоматизований комплекс для дослідження мікрооб’єктів. 2024. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/3615

16. Денисюк В. Ю. Аналіз методів використання багатокоординатних систем мікропозиціонування з п’єзоактюаторами. 2024. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/3765

17. Денисюк В. Ю., Огородник М. О. Дослідження та використання п’єзоелектричних перетворювачів у виконавчих пристроях для мікропереміщень. 2024. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/5640

18. Денисюк В. Ю., Кібиш О. Д. Особливості лазерного термохімічного запису в інтерференційному полі. 2024. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/3767

III. Інформаційні ресурси

19. Лобур М., Мельник М. Основи мікросистемих пристроїв. URL: https://surl.li/vxnaid (дата звернення 26.08.2026).

20. Семенець В. В., Невлюдов І. Ш., Палагін В. А. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології. URL: https://surli.cc/igndmf (дата звернення 26.08.2026).

21. Загородній В. В. Локальні методи досліджень. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/28054/1/Lokalni_metody_doslidzhen.pdf (дата звернення 26.08.2026).

22. Обробка та аналіз зображень у скануючій зондовій мікроскопії: ключові аспекти та рецепти. URL: https://www.ntmdt-si.com/resources/webinars/image-processing-and-analysis-in-scanning-probe-microscopy (дата звернення 26.08.2026).

23. Interface design for NT-MDT scanning probe microscope control software. Multidisciplinary Design Studio | Graphic Design Firm | Art. Lebedev Studio. URL:https://www.artlebedev.com/nt-mdt/nova/ (дата звернення 26.08.2026).

24. ACADEMIA – NT-MDT. NT-MDT. URL: https://ntmdt.nl/home/products/ntegra-academia/ (дата звернення 26.08.2026).