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 «Технічні системи контролю мікро- та наносистемної техніки»
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/588

Луцьк – 2026

СИЛАБУС ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТА «Технічні системи контролю мікро- та наносистемної техніки»

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 8
Форма контролю	екзамен
Викладач(і)	к.т.н., доцент Віктор ДЕНИСЮК електронна пошта: v.denysiuk@lntu.edu.ua

1. Мета і завдання дисципліни

Мета: Формування у здобувачів системи знань щодо принципів побудови, функціонування та застосування сучасних технічних систем контролю мікро- та наносистемної техніки, методів скануючої зондової, тунельної, атомно-силової, електросилової, магнітно-силової та ближньопольної оптичної мікроскопії, а також методів рентгенівської фотоелектронної, Оже-електронної, іонної та електронної дифракційної спектроскопії.

Завдання: Набуття здобувачами знань і практичних умінь щодо вибору та застосування методів контролю мікро- і наноструктур; аналізу конструкцій та принципів роботи мікроскопічних і спектроскопічних систем; оброблення та інтерпретації мікроскопічних зображень і спектрів; визначення структурних, морфологічних, електричних, магнітних та хімічних характеристик поверхонь; оцінювання результатів вимірювань і вибору технічних засобів контролю відповідно до поставленого дослідницького завдання.

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

2. Компетентності

ЗК02 — 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	**Лаб.** денна/ заочна	**Самост. робота** денна/ заочна	**Разом**	**Методи навчання**	**Методи оцінювання**	**ЗК та СК**
Змістовий модуль 1. Методи та засоби мікроскопії								
1	Тема 1. Техніка скануючої зондової мікроскопії	2/0,25		8/11	10/11,25	МН1, МН4, МН6	МО2	ЗК02, СК01
2	Тема 2. Формування й обробка СЗМ зображень	2/0,5		8/11	10/11,5	МН1, МН4, МН6	МО2	ЗК02, СК01

№	Назва теми	Лекції денна/ заочна	Лаб. денна/ заочна	Самост. робота денна/ заочна	Разом	Методи навчання	Методи оцінювання	ЗК та СК
3	Тема 3. Скануюча тунельна мікроскопія	2/0,5	6/1	8/11	16/12,5	МН1, МН2, МН4, МН6	МО2	ЗК02, СК01
4	Тема 4. Атомно-силова мікроскопія	2/0,5	6/1	8/11	16/12,5	МН1, МН2, МН4, МН6	МО2	ЗК02, СК01
5	Тема 5. Електросилова та магнітно-силова мікроскопія	2/0,25		8/11	10/11,25	МН1, МН4, МН6	МО2	ЗК02, СК01
6	Тема 6. Ближньопольна оптична мікроскопія	2/0,25		8/11	10/11,25	МН1, МН4, МН6	МО2	ЗК02, СК01
7	Тема 7. Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія	2/0,5	5/1	8/11	15/12,5	МН1, МН2, МН4, МН6	МО2	ЗК02, СК01
8	Тема 8. Оже-електронна спектроскопія	2/0,25	4/1	8/11	14/12,25	МН1, МН2, МН4, МН6	МО2	ЗК02, СК01
9	Тема 9. Спектроскопія розсіювання повільних іонів	2/0,5		8/11	10/11,5	МН1, МН4, МН6	МО2	ЗК02, СК01
10	Тема 10. Дифракція повільних електронів	3/0,5		6/13	9/13,5	МН1, МН4, МН6	МО1, МО2, МО4	ЗК02, СК01
	Разом	**21/4**	**21/4**	**78/112**	**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

ПРН 10. Розробляти технічні засоби діагностування технічного стану мікро- та наносистемної техніки, приладів фізичної та біомедичної електроніки.
ПРН 11. Організовувати та проводити планові та позапланові технічні обслуговування, налагодження технологічного устаткування у відповідності до поточних вимог виробництва.

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 (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.

7. Зміст тем

Тема 1. Техніка скануючої зондової мікроскопії

Принципи роботи скануючих зондових мікроскопів. Скануючі елементи (сканери) зондових мікроскопів. Обладнання для прецизійних переміщень зонда й зразка. Крокові електродвигуни. Крокові п’єзодвигуни

Тема 2. Формування й обробка СЗМ зображень

Формування й обробка СЗМ зображень. Вирахування постійної складової. Вирахування постійного нахилу. Усунення викривлень, пов’язаних з неідеальністю сканера. Фільтрація СЗМ зображень. Методи відновлення поверхні за її СЗМ зображенням.

Тема 3. Скануюча тунельна мікроскопія

Принцип роботи скануючих тунельних мікроскопів. Зонди для тунельних мікроскопів. Вимірювання локальної роботи виходу в СТМ. Вимірювання вольт-амперних характеристик тунельного контакту. Система керування СТМ. Конструкції скануючих тунельних мікроскопів. Тунельна спектроскопія. ВАХ контакту метал-метал. ВАХ контакту метал-напівпровідник. ВАХ контакту метал-надпровідник.

Тема 4. Атомно-силова мікроскопія

Принцип роботи атомно-силових мікроскопів. Зондові датчики атомно-силових мікроскопів. Контактна атомно-силова мікроскопія. Залежність сили від відстані між зондовим датчиком і зразком. Система керування АСМ при роботі кантилевера в контактному режимі. Коливальні методики АСМ. Безконтактний режим коливань кантилевера АСМ. «Напівконтактний» режим коливань кантилевера АСМ.

Тема 5. Електросилова та магнітно-силова мікроскопія

Принцип роботи електросилових мікроскопів. Принцип роботи магнітно-силових мікроскопів. Квазістатичні методики МСМ. Коливальні методики МСМ. Система керування АСМ, ЕСМ, МСМ (коливальні методики).

Тема 6. Ближньопольна оптична мікроскопія

Принцип роботи ближньопольних оптичних мікроскопів. Зонди ближньопольних оптичних мікроскопів на основі оптичного волокна. Shear-force» метод контролю відстані зонд-поверхня в ближньопольному оптичному мікроскопі. Конфігурації ближньопольних оптичних мікроскопів.

Тема 7. Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія

Фізичні принципи рентгенівської фотоелектронної спектроскопії. Якісний аналіз спектрів. Кількісний аналіз спектрів. Розрахунки інтенсивності. Кількісний аналіз спектрів. Розрахунок енергії зв’язку. Апаратура для рентгенівської фотоелектронної спектроскопії.

Тема 8. Оже-електронна спектроскопія

Фізичні основи оже-електронної спектроскопії. Загальний вид електронного спектра в оже-електронній спектроскопії. Розрахунки кінетичної енергії оже-електрона. Форма оже-електронних спектрів. Тонка структура оже-електронних спектрів. Інтенсивність спектральних ліній оже-електронів. Кількісний аналіз оже-електронних спектрів. Апаратура для оже-

електронної спектроскопії.

Тема 9. Спектроскопія розсіювання повільних іонів

Методи іонної спектроскопії. Фізичні основи спектроскопію розсіювання повільних іонів. Загальний вигляд оглядового спектра розсіювання повільних іонів. Інтенсивність спектральних ліній. Переріз розсіювання. Ефект нейтралізації іонів. Структурні ефекти в спектроскопії розсіювання повільних іонів. Застосування методу спектроскопії розсіювання повільних іонів для визначення ступеня покриття поверхні. Апаратура спектроскопії розсіювання повільних іонів.

Тема 10. Дифракція повільних електронів

Кристалографія поверхні. Тривимірні кристалічні решітки. Двовимірні кристалічні решітки. Індекси Міллера для атомних площин. Дифракція на кристалічній решітці. Апаратура, геометрія й структурні ефекти в дифракція повільних електронів. Вплив дефектів, доменної структури й кластерів на поверхні. Урахування теплових коливань атомів решітки.

8. Опис ІЗ/КПІЗ

Не передбачено навчальним планом.

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

І. Навчально-методичні матеріали та розробки

Праці автора силабуса:

1. Технічні системи контролю мікро- та наносистемної техніки: методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації спец. 176 Мікро- та наносистемна техніка денної та заоч. форм навч. / уклад. В. Ю. Денисюк. Луцьк: ЛНТУ, 2026. 64 с. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/6445

2. Технічні системи контролю мікро- та наносистемної техніки: конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації спец. 176 Мікро- та наносистемна техніка денної та заоч. форм навч. / уклад. В. Ю. Денисюк. Луцьк: ЛНТУ, 2026. 192 с. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/6444

Праці інших авторів:

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

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

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

ІІ. Наукові праці

Праці автора силабуса:

6. 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

7. 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

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

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

10. 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

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

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

13. 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

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

15. 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

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

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

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

19. 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

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

ІІІ. Інформаційні ресурси

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

22. 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).

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

24. 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).

25. 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).

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