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 «Програмне керування роботизованого обладнання»
ступінь вищої освіти – бакалавр
галузь знань – 13 Механічна інженерія
спеціальність – 131 Прикладна механіка
освітня програма – Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи

Кафедра робототехніки

Силабус склав(ла) доцент кафедри робототехніки робототехніки, к.т.н., доцент Наталія ГУЛІЄВА

Силабус затверджений на засіданні кафедри робототехніки, протокол № 1 від «28» серпня 2026 р.

Завідувач кафедри к.т.н., доцент Борис ПРИДАЛЬНИЙ

Розглянуто та схвалено групою забезпечення освітньої програми «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи», протокол № 1 від «28» серпня 2026 р.

Гарант ОП «Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи» к.т.н., доцент Борис ПРИДАЛЬНИЙ

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

Затверджений силабус онлайн:
https://e.lntu.edu.ua/syllabus/2368

Луцьк – 2026

СИЛАБУС ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТА «Програмне керування роботизованого обладнання»

Освітня програма	Металообробне обладнання та роботизовані виробничі системи
Галузь знань / Спеціальність	13 Механічна інженерія / 131 Прикладна механіка
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Статус дисципліни	вибіркова
Мова викладання	українська
Обсяг	5 кредитів ECTS / 150 годин
Форма контролю	залік
Викладач(і)	к.т.н., доцент Наталія ГУЛІЄВА електронна пошта: n.huliieva@lntu.edu.ua

1. Мета і завдання дисципліни

Мета: формування у студентів теоретичних знань і практичних навичок щодо програмування, налаштування, інтеграції та експлуатації роботизованого обладнання, а також підготовка фахівців, здатних розробляти програмні рішення для автоматизованих і роботизованих систем.

Завдання: – формування знань про принципи побудови, функціонування та програмного керування промисловими роботами й роботизованим технологічним обладнанням;
– вивчення архітектури систем програмного керування роботами, структури контролерів, їхніх функціональних можливостей і принципів взаємодії з виконавчими механізмами та периферійними пристроями;
– опанування методів програмування промислових роботів із використанням спеціалізованих мов програмування, систем координат і засобів керування рухом робота;
– засвоєння принципів формування та реалізації програм переміщення робота, зокрема позиційного й контурного керування, інтерполяції траєкторій та узгодження рухів за окремими координатами;
– вивчення методів організації робочих циклів роботизованого обладнання, програмування логічних операцій, оброблення сигналів введення-виведення та синхронізації роботи технологічних пристроїв;
– формування практичних навичок розроблення, налагодження, тестування та оптимізації керувальних програм для виконання типових технологічних операцій;
– опанування методів моделювання й віртуального налагодження програм керування із застосуванням спеціалізованих програмних середовищ і засобів комп’ютерного моделювання;
– вивчення принципів інтеграції промислових роботів із верстатами з числовим програмним керуванням, системами автоматизованого виробництва, датчиками та іншими компонентами роботизованих комплексів;
– засвоєння методів діагностування помилок у керувальних програмах, аналізу причин порушення робочих циклів і підвищення надійності функціонування роботизованого обладнання;
– формування компетентностей щодо застосування сучасних цифрових технологій, засобів автоматизації та принципів Індустрії 4.0 для підвищення ефективності функціонування роботизованих технологічних комплексів;
– вивчення вимог промислової безпеки під час програмування, налагодження та експлуатації роботизованого обладнання, зокрема принципів безпечного керування рухом і взаємодії з технологічним середовищем;
– розвиток здатності самостійно розв’язувати інженерні завдання з розроблення та вдосконалення програмного забезпечення роботизованих систем з урахуванням технологічних вимог, продуктивності, точності й надійності роботи обладнання.

2. Компетентності

СК07 — Здатність застосовувати комп’ютеризовані системи проектування (CAD), виробництва (CAM), інженерних досліджень (CAE) та спеціалізоване прикладне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань з прикладної механіки і зокрема розрахунку параметрів та проектування типових елементів технологічного обладнання.

СК09 — Здатність представлення результатів своєї інженерної діяльності з дотриманням загальноприйнятих норм і стандартів машинобудівної галузі загалом і зокрема верстатобудування.

СК10 — Здатність описувати та класифікувати об’єкти виробництва машинобудівної галузі а також елементи та вузли технологічного обладнання і процесів їх функціонування, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні основних механічних теорій та практик, а також базових знаннях суміжних наук.

СК12 — Здатність застосовувати методики теорії автоматичного керування до моделювання, аналізу і синтезу процесів різання та технологічних оброблювальних систем з урахуванням їх суті, функціонального зв’язку і закономірностей як об’єктів керування.

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

№	Назва теми	**Лекції** денна/ заочна	**Практ./ Семін./ лаб** денна/ заочна	**Самост. робота** денна/ заочна	**Разом**	**Методи навчання**	**Методи оцінювання**	**СК**
Змістовий модуль 1. Програмування та керування рухом промислових роботів: координатні системи, формування траєкторій та оптимізація переміщень								
1	Тема 1. Будова та принцип роботи контролера промислового робота	2/2	2/–	6/8	10/10	МН2, МН4	МО2	СК07
2	Тема 2. Режими роботи та програмування роботів	2/–	2/2	6/8	10/10	МН2, МН4	МО2	СК09
3	Тема 3. Основні координатні системи промислових роботів	2/2	2/–	6/8	10/10	МН2, МН4	МО2	СК10
4	Тема 4. Типи рухів у роботизованих системах	2/–	2/2	6/8	10/10	МН2, МН4	МО2	СК12
5	Тема 5. Інтерполяція як метод формування траєкторії	2/–	2/–	6/10	10/10	МН2, МН4	МО2	СК07
6	Тема 6. Траєкторне керування промисловими роботами	2/–	2/–	6/10	10/10	МН2, МН4	МО2	СК09

№	Назва теми	Лекції денна/ заочна	Практ./ Семін./ лаб денна/ заочна	Самост. робота денна/ заочна	Разом	Методи навчання	Методи оцінювання	СК
7	Тема 7. Технологія Blending у робототехніці	2/–	2/–	6/10	10/10	МН2, МН4	МО2	СК10
8	Тема 8. Параметри Zone та CNT для оптимізації руху	2/–	2/–	6/10	10/10	МН2, МН4	МО2, МО4	СК12
Змістовий модуль 2. Програмування логіки роботи роботизованих систем, взаємодія з периферійним обладнанням, синхронізація технологічних операцій, тестування та налагодження керувальних програм								
9	Тема 9. Взаємодія робота з периферійним обладнанням через I/O	2/2	2/–	6/8	10/10	МН2, МН4	МО2	СК07
10	Тема 10. Методи синхронізації роботизованих операцій	2/–	2/2	6/8	10/10	МН2, МН4	МО2	СК09
11	Тема 11. Структура та логіка роботизованого циклу	2/–	2/–	6/10	10/10	МН2, МН4	МО2	СК10
12	Тема 12. Використання підпрограм у роботизованому програмуванні	2/–	2/–	6/10	10/10	МН2, МН4	МО2	СК12
13	Тема 13. Типові помилки під час програмування роботів	2/–	2/–	6/10	10/10	МН2, МН4	МО2	СК07
14	Тема 14. Вплив програмних помилок на технологічний процес	2/–	2/–	6/10	10/10	МН2, МН4	МО2	СК09
15	Тема 15. Методи тестування та налагодження програм промислових роботів	2/–	2/–	6/10	10/10	МН2, МН4	МО2	СК10
	Разом	**30/6**	**30/6**	**90/138**	**150/150**			

Легенда: СК — спеціальна (фахова) компетентність (номер за п. 2). Повне формулювання кожного коду

наводиться в ОП / стандарті спеціальності.

Методи навчання: МН2 — практичний метод (лабораторні та практичні заняття); МН4 — робота з навчально-методичною літературою (конспектування, тезування, анотування, рецензування, складання реферату).

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

4. Результати навчання

Знати:

– основні принципи побудови та функціонування систем програмного керування промисловими роботами й роботизованим обладнанням;

– структуру, призначення та функціональні можливості контролерів промислових роботів, програмованих логічних контролерів (PLC) та інших засобів автоматизованого керування;

– основні мови, методи та середовища програмування роботизованого обладнання;

– принципи формування систем координат, визначення положення та орієнтації робочого органу промислового робота;

– методи програмування траєкторій руху робота, зокрема точкового, лінійного та кругового переміщення;

– принципи керування виконавчими механізмами, захоплювальними пристроями, датчиками та допоміжним технологічним обладнанням;

– способи організації автоматичних робочих циклів, підпрограм, умов переходу та логічних послідовностей керування;

– принципи обміну даними між роботизованим обладнанням, контролерами, сенсорними системами та промисловими мережами;

– методи налагодження, тестування, діагностування та оптимізації програм керування роботизованими комплексами;

– основні вимоги охорони праці, промислової безпеки та безпечного програмування роботизованого обладнання.

Вміти:

– розробляти алгоритми та програми керування промисловими роботами відповідно до заданих технологічних завдань;

– використовувати спеціалізовані програмні середовища для програмування, моделювання та налагодження роботизованого обладнання;

– задавати системи координат, програмувати контрольні точки та формувати траєкторії руху робочого органу робота;

– створювати програми для виконання типових технологічних операцій: переміщення, завантаження та розвантаження деталей, маніпулювання об’єктами й обслуговування технологічного обладнання;

– розробляти послідовності автоматичного керування з використанням датчиків, виконавчих механізмів і сигналів зворотного зв’язку;

– інтегрувати програми керування роботом із програмованими логічними контролерами та периферійними пристроями;

– організовувати синхронну роботу промислових роботів і допоміжного обладнання в межах роботизованого технологічного комплексу;

– здійснювати перевірку працездатності програм, виявляти та усувати помилки програмування й налаштування;

– аналізувати ефективність програм керування та оптимізувати траєкторії руху й послідовність технологічних операцій;

– дотримуватися вимог безпеки під час програмування, налагодження та експлуатації роботизованого обладнання.

У результаті вивчення дисципліни здобувач повинен набути здатності розробляти, реалізовувати,

налагоджувати та оптимізувати програми керування промисловими роботами й роботизованим обладнанням, забезпечуючи виконання заданих технологічних операцій, взаємодію з периферійними пристроями та безпечне функціонування роботизованих технологічних комплексів.

5. Цілі сталого розвитку

ЦСР 8 – Гідна праця та економічне зростання

ЦСР 9 – Промисловість, інновації та інфраструктура

ЦСР 12 – Відповідальне споживання та виробництво

ЦСР 17 – Партнерство заради сталого розвитку

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 (50 %) + модульний контроль (50 %).

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. Будова та принцип роботи контролера промислового робота

Контролер – головний елемент системи керування роботом. Обробка команди програми та координація рухів виконавчих механізмів. Технічні характеристики робота.

Тема 2. Режими роботи та програмування роботів

Ручне, напівавтоматичне та офлайн-програмування. Переваги методів програмування залежно від складності завдання. Правильний вибір режиму роботи роботів.

Тема 3. Основні координатні системи промислових роботів

Базова, інструментальна та робоча системи координат промислових роботів. Визначення положення робота у просторі. Координатні системи, як основа точного керування.

Тема 4. Типи рухів у роботизованих системах

Точкові, лінійні та кругові переміщення роботів. Застосування типу руху для певних технологічних операцій. Траєкторія руху, як вплив на продуктивність і якість роботи.

Тема 5. Інтерполяція як метод формування траєкторії

Інтерполяція – створення плавного руху між заданими точками. Контролер для автоматичного розрахунку проміжних координат. Точність виконання технологічних операцій.

Тема 6. Траєкторне керування промисловими роботами

Траєкторне керування для забезпечення руху робота за визначеним маршрутом. Використання під час зварювання, фарбування та обробки деталей. Траєкторне керування як гарантія високої якості виконання процесів.

Тема 7. Технологія Blending у робототехніці

Blending – плавний перехід робота через контрольні точки без повної зупинки. Скорочення тривалості циклу роботи. Застосування технології Blending на швидкісних виробничих лініях.

Тема 8. Параметри Zone та CNT для оптимізації руху

Параметри Zone і CNT для визначення допустимого відхилення від заданої точки. Плавність і швидкість переміщення. Коректне налаштування для покращення продуктивності роботизованої системи.

Тема 9. Взаємодія робота з периферійним обладнанням через I/O

Сигнали вводу-виводу для забезпечення обміну інформацією між роботом та іншими пристроями. Контроль датчиків, захватів та конвеєрів за допомогою I/O. Автоматизація складних виробничих процесів.

Тема 10. Методи синхронізації роботизованих операцій

Синхронізація для забезпечення узгодження роботи робота та допоміжного обладнання. Запобігання виникненню конфліктів між операціями. Синхронізація для автоматизованих виробничих ліній.

Тема 11. Структура та логіка роботизованого циклу

Роботизований цикл – послідовність команд і підпрограм. Структура роботизованого циклу для визначення порядку виконання технологічних операцій. Правильна організація роботизованого циклу для підвищення ефективності виробництва.

Тема 12. Використання підпрограм у роботизованому програмуванні

Підпрограми для повторного використання однакових фрагментів коду. Спрощення розробок та обслуговування програм. Підвищення читабельності програмного забезпечення.

Тема 13. Типові помилки під час програмування роботів

Виникнення помилок через неправильне задання координат або логіки роботи. Типові помилки, які призводять до неточностей та аварійних ситуацій. Виявлення помилок – важливий етап налагодження.

Тема 14. Вплив програмних помилок на технологічний процес

Некоректна програма – це пошкодження обладнання або брак продукції. Наслідок програмних помилок призводить до фінансових втрат підприємства. Контроль якості програм технологічного процесу.

Тема 15. Методи тестування та налагодження програм промислових роботів

Перевірка програми в режимі симуляції або тестування. Виявлення помилок без ризику для обладнання. Налагодження програм для підвищення надійності та безпечності роботи роботизованої системи.

9. Опис ІЗ/КПІЗ

Не передбачено навчальним планом.

10. Самостійна робота

1. Будова та принцип роботи систем програмного керування промисловими роботами.
2. Сучасні контролери промислових роботів: структура, функції та особливості програмування.
3. Мови програмування промислових роботів і середовища розроблення програм керування.
4. Системи координат промислових роботів та їх використання під час програмування руху.
5. Методи визначення положення й орієнтації робочого органа промислового робота.
6. Програмування траєкторій руху промислових роботів: точкове, лінійне та кругове переміщення.
7. Особливості програмування технологічних операцій завантаження та розвантаження обладнання.
8. Розроблення програм керування захоплювальними пристроями та виконавчими механізмами роботів.
9. Використання датчиків і сигналів зворотного зв’язку в системах програмного керування

роботизованим обладнанням.

10. Програмування логічних послідовностей, умов переходу, циклів і підпрограм керування роботами.

11. Інтеграція промислових роботів із програмованими логічними контролерами (PLC).

12. Організація обміну даними між роботизованим обладнанням і промисловими мережами.

13. Моделювання та віртуальне налагодження програм керування роботизованим обладнанням.

14. Методи діагностування помилок, тестування та оптимізації програм керування промисловими роботами.

15. Безпечне програмування та експлуатація роботизованого обладнання в умовах автоматизованого виробництва й Індустрії 4.0.

11. 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.

12. Література

I. Навчально-методичні матеріали та розробки

Праці інших авторів:

1. Цвіркун Л.І., Грулер Г. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / під заг. ред. Л.І. Цвіркуна; МОН України, Нац. гірн. ун-т. 3-тє вид., переробл. і доповн. Дніпро: НГУ, 2017. 224 с.

2. Koubaa, A. (Ed.). (2023). Robot Operating System (ROS): The Complete Reference. Vol. 7. 240p. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09062-2

3. Balachandran, R. (2024). Introduction. In: A Stable and Transparent Framework for Adaptive Shared Control of Robots. Springer Tracts in Advanced Robotics. Vol 158. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47934-2_1

4. Ковальов Ю.А., Проектування промислових роботів та маніпуляторів. / С.О. Кошель, Ю.А. Ковальов, О.П. Манойленко: Центр учбової літератури, 2023 р. 256 с.

5. Гуржій, А. М. Основи автоматики та робототехніки: навчальний посібник для здобувачів професійної (професійно - технічної) освіти / А. М. Гуржій, А. Т. Нельга, В. М. Співак, О. С. Ітякін. Електронні текстові дані. Дніпро : «Гарант СВ», 2021. 244 с.

6. Основи робототехніки: конспект лекцій для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навч., спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, / Державний біотехнологічний університет; упоряд. М.С. Сорокін. Харків, 2024. 94 с.

II. Наукові праці

Праці автора силабуса:

7. Самчук Л. М., Придальний Б. І., Гулієва Н. М., Сичук В. А. Аналітичний огляд підходів до забезпечення точності позиціонування промислових роботів у зварювальних операціях. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2026. № 1 (26). С. 1-10. DOI: 10.36910/2zmncs77. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/4810

8. Гулієва Н. М., Самчук Л. М., Божко Т. Є. Дослідження гідравлічної проникності сапоніт–титанових фільтрів. Наукові нотатки. 2025. Вип. 85. С. 41-45. https://doi.org/10.36910/775.24153966.2026.85.6

9. Придальний Б. І., Самчук Л. М., Гулієва Н. М., Сичук В.А. Підвищення надійності роботизованих виробничих систем на основі діагностики відмов, прогностичного обслуговування та поточного моніторингу. Наукові нотатки. 2026. Вип. 85. С. 138–144. DOI: https://doi.org/10.36910/775.24153966.2026.85.18.

10. Huliieva N., Lishchyna N., Pasternak V., Huliieva Z. Development of a system for predicting failures of bagging machines. Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska. 2025. № 15(4). P. 10–13. URL: https://repository.lntu.edu.ua/handle/123456789/4230

11. Самчук Л. М., Повстяна Ю. С., Гулієва Н. М. UML-Аналіз та розробка інформаційної системи складського обліку автозапчастин. Комп’ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2025. № 59. С. 213-120. https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-59-27

12. Гулієва Н. М., Батюк, Д. Р., Грибок Н. О., Гулієва З. Н. Розрахунок конічного з’єднання за допомогою мови програмування C#. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. 2023. Вип. 15, № 2. С. 58-66. https://doi.org/10.15673/atbp.v15i2.2526

13. Huliieva N., Pasternak V. Isothermal mechanical Cycling of Saponite–Titanium Composites in Conditions of Complex Stressed State. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. 2022. № 59 (6). P. 12-21. Scopus. https://doi.org/10.2478/lpts-2022-0043 (Published Online: 07 Jan 2023)

14. Pasternak, V., Huliieva, N., Cagáňová, D., Zabolotnyi, O., Tkachuk, A. Modeling of Systems with Spherical Inhomogeneities by Using Differential Equations Based on Green’s Functions. Advances in Design, Simulation and Manufacturing VIII. DSMIE 2025. Lecture Notes in Mechanical Engineering: Conference paper First Online 13 June 2025. P. 157-167. https://doi.org/10.1007/978-3-031-95218-0_14

15. Huliieva N., Lishchyna N., Pasternak V., Huliieva Z. Equipping CNC Machines with Evaluating Key Site Performance Metrics Using Google Pagespeed Insights. The 14 th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT’2024. (Athens, 11-13 October 2024.) Athens, 2024. P. 1-6. https://easychair.org/publications/preprint/qSlb/open

Праці інших авторів:

16. Roth, A.M., Manocha, D., Sriram, R.D., Tabassi, E. (2024). Explainable and Interpretable Reinforcement Learning for Robotics. 114p. https://doi.org/10.1007/978-3-031-47518-4

17. Macenski, S., Foote, T., Gerkey, B., Lalancette, C., Woodall, W. (2022). Robot Operating System 2: Design, Architecture, and Uses. In The Wild. Science Robotics. Vol. 7(66). https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.07752

18. Le Goues, C., Elbaum, S., Anthony, D., Celik, Z.B., Castillo-Effen, M., Correll, N., Jamshidi, P., Quigley, M., Tabor, T., Zhu, Q. (2024). Software Engineering for Robotics: Future Research Directions; Report from the 2023. Workshop on Software Engineering for Robotics. https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.12317

19. Farzan, S. (2023). Project-Based Learning for Robot Control Theory: A Robot Operating System (ROS) Based Approach. https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.11279

20. Lara-Molina, F.A., Gonçalves, R.S., Ceccarelli, M. (2024). Kinematic Reliability of Manipulators Subjected to Clearances Using an Interval Approach. In: Lovasz, EC., Ceccarelli, M., Ciupe, V. (eds) Mechanism Design for Robotics. MEDER 2024. Mechanisms and Machine Science, vol 166. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-67383-2_2

21. Ceccarelli, M.; Lovasz, E.C. Selected Papers from MEDER 2024: Advances of Mechanism Design for Robotic Machines. Machines 2025, 13, 208. https://doi.org/10.3390/machines13030208.

22. Wang, Y., Wu, X., Fang, Y., Osawa, K., Nakagawa, K., Yamasaki, S., Tanaka, E. Design, Control, and Analysis of a 3-Degree-of-Freedom Kinematic–Biologically Matched Hip Joint Structure for Lower

Limb Exoskeleton. Machines 2024. 12. 924. https://doi.org/10.3390/machines12120924

23. Nelson, C., Moomau, K., Li, Y. Design and Validation of an Improved Rotational Variable Stiffness Mechanism. Machines 2025, 13(1), 6. https://doi.org/10.3390/machines13010006

24. Koçak, M., Gezgin, E. Unified Design Methodology for a Polycentric Transfemoral Knee Prosthesis Using Kinematic Synthesis. Machines 2025, 13, 20. https://doi.org/10.3390/machines13010020

25. Olinski, M. Design and Experimental Characterization of Developed Human Knee Joint Exoskeleton Prototypes. Machines 2025, 13, 70. https://doi.org/10.3390/machines13010070

26. Освітня робототехніка: зб.наук.пр.за матеріалами II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Освітня робототехніка» (14 квітня 2022 р.) Дніпро, 2022. 162 с.

27. Siciliano, B., Villani, L., Oriolo, G., De Luca, A. (2025). Introduction. In: Foundations of Robotics. Advanced Textbooks in Control and Signal Processing. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-85523-8_1

28. Трифонова О. М., Хомутенко М. В., Садовий М. І. Автоматизовані системи програмних навчальних комплексів: навчально-методичний посібник. Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2019. 120 с.

29. Kevin M. Lynch. Modern robotics mechanics, planning, and control. Kevin M. Lynch, Frank C. Park; Cambridge University Press, 2017. 642 p. http://modernrobotics.org