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 «PLC-програмування та HMI-системи верстатно-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) старший викладач Роман ГРУДЕЦЬКИЙ

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/1736

Луцьк – 2026

СИЛАБУС ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТА «PLC-програмування та HMI-системи верстатно-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)	старший викладач Роман ГРУДЕЦЬКИЙ електронна пошта: r.hrudetskiy@lntu.edu.ua

1. Мета і завдання дисципліни

Мета: Дисципліна «PLC-програмування та HMI-системи верстатно-роботизованого обладнання» спрямована на формування у здобувачів вищої освіти теоретичних знань і практичних навичок розроблення, налагодження та інтеграції PLC-програм і HMI-систем у складі верстатно-роботизованого обладнання. Вона охоплює принципи побудови автоматизованих систем керування, програмування промислових контролерів відповідно до стандарту IEC 61131-3, створення операторських інтерфейсів, організацію обміну даними між PLC, HMI, промисловими роботами та периферійним обладнанням, а також діагностику, тестування та безпечну експлуатацію роботизованих виробничих систем. Для алгоритмізації, моделювання послідовностей сигналів, підготовки тестових даних і документування результатів як допоміжний інженерний інструмент використовується Python, без підміни спеціалізованих промислових засобів програмування.

Завдання: Завданнями вивчення дисципліни є: формування системного розуміння принципів побудови та функціонування PLC- і HMI-систем у складі верстатно-роботизованого обладнання; набуття практичних навичок розроблення алгоритмів керування, програмування контролерів, створення операторських інтерфейсів, організації обміну даними між PLC, HMI, промисловими роботами та периферійним обладнанням; опанування методів налагодження, тестування, діагностики й безпечного відновлення автоматизованих виробничих процесів; розвиток здатності аналізувати роботу роботизованої комірки, виявляти причини несправностей, приймати обґрунтовані інженерні рішення та документувати результати розроблення і випробування систем керування.

Пререквізити: Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка; Основи автоматизованого керування машинами; Програмування і налагодження обладнання з ЧПУ.

2. Компетентності

СК04 — Здатність здійснювати оптимальний вибір технологічного обладнання, комплектацію виробничих систем, мати базові уявлення про правила їх експлуатації.

СК07 — Здатність застосовувати комп’ютеризовані системи проєктування (CAD), виробництва (CAM), інженерних досліджень (CAE) та спеціалізоване прикладне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань.

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

СК10 — Здатність описувати та класифікувати об’єкти виробництва машинобудівної галузі, елементи та вузли технологічного обладнання і процесів їх функціонування.

СК12 — Здатність застосовувати методики теорії автоматичного керування до моделювання,

аналізу і синтезу технологічних систем 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. Роботизована комірка, безпека та базове керування роботами								
1	Тема 1. Структура роботизованої комірки та розподіл функцій між контролером, PLC, HMI, пресом і системою безпеки.	2/2	2/2	6/6	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, Захист лабораторних і практичних робіт	СК04, СК10
2	Тема 2. Безпека роботизованої комірки, ролі персоналу та режими роботи.	2/0	2/0	6/10	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, Захист лабораторних і практичних робіт	СК04
3	Тема 3. Архітектура PLC-систем та роль промислових контролерів у роботизованих виробничих комплексах.	2/0	2/0	6/10	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, Захист лабораторних і практичних робіт	СК10
4	Тема 4. Апаратна структура PLC, модулі введення-виведення та промислові сигнали.	2/0	2/0	6/10	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, Захист лабораторних і практичних робіт	СК10
Змістовий модуль 2. Геометрична підготовка та ТР-програмування роботів								
5	Тема 5. Цифрові та аналогові сигнали PLC. Адресація входів і виходів.	2/0	2/0	6/10	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, МО7	СК10
6	Тема 6. UFRAME та формування вихідних, безпечних і технологічних положень робота.	2/2	2/2	6/6	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, Захист лабораторних і практичних робіт	СК07
7	Тема 7. Побудова безпечних траєкторій: J, L, швидкість, FINE, CNT, межі осей та особливі конфігурації.	2/0	2/0	6/10	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, МО7	СК07, СК12

№	Назва теми	**Лекції** денна/ заочна	**Практ./ Семін./ лаб** денна/ заочна	**Самост. робота** денна/ заочна	**Разом**	**Методи навчання**	**Методи оцінювання**	**СК**
8	Тема 8. Структура TP-програми та алгоритм виробничого циклу.	2/0	2/0	6/10	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, Захист лабораторних і практичних робіт	СК07, СК12
9	Тема 9. Числові регістри R, позиційні регістри PR та зміщення у програмах FANUC.	2/0	2/0	6/10	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, Захист лабораторних і практичних робіт	СК07
10	Тема 10. Інтеграція робота із захватом і периферійним обладнанням через DI/DO, RI/RO та GI/GO.	2/0	2/0	6/10	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, МО7	СК12
11	Тема 11. Функціональне тестування, типи зупинення, діагностика та контрольоване відновлення циклу.	2/0	2/0	6/10	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4	СК09
Змістовий модуль 3. PLC–HMI інтеграція роботизованої виробничої комірки								
12	Тема 12. Основи PLC- програмування роботизованої комірки.	2/2	2/2	6/6	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, Захист лабораторних і практичних робіт	СК07, СК12
13	Тема 13. PLC–FANUC handshake, UOP та зовнішній автоматичний запуск.	2/0	2/0	6/10	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4	СК12
14	Тема 14. Координація двох роботів FANUC, преса та допоміжного обладнання у виробничій комірці.	2/0	2/0	6/10	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, Захист лабораторних і практичних робіт	СК04, СК12

№	Назва теми	**Лекції** денна/ заочна	**Практ./ Семін./ лаб** денна/ заочна	**Самост. робота** денна/ заочна	**Разом**	**Методи навчання**	**Методи оцінювання**	**СК**
15	Тема 15. HMI, аварійні повідомлення, журнали подій та віртуальне налагодження роботизованої комірки.	2/0	2/0	6/10	10/10	МН1, МН2, МН6	МО2, МО4, Захист лабораторних і практичних робіт	СК07, СК09
	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: МН1 — словесний метод (лекція, дискусія, співбесіда тощо); МН2 — практичний метод (лабораторні та практичні заняття); МН6 — самостійна робота (розв'язання завдань).

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

4. Результати навчання

Знати:

– Структуру роботизованої комірки та розподіл функцій між контролером робота, PLC, HMI, пресом і системою безпеки.

– Ролі персоналу та режими роботи робота FANUC (AUTO, T1, T2, Local, Remote).

– Функції Teach Pendant.

– Призначення систем координат JOINT, WORLD, TOOL, USER, а також TCP/UTOOL та UFRAME.

– Принципи взаємодії PLC і контролера робота (UOP, PNS/RSR, handshake).

Вміти:

– Обирати систему координат для заданого переміщення робота.

– Формувати TCP/UTOOL та UFRAME.

– Читати і створювати базову TP-програму із застосуванням команд J, L, FINE і CNT.

– Використовувати числові (R) та позиційні (PR) регістри, а також offsets.

– Формувати I/O List.

– Розробляти машину станів і проєктувати PLC–FANUC handshake.

– Формувати структуру HMI.

– Визначати невиконану умову виробничого циклу.

– Розробляти Test Plan і Recovery Sequence.

– Документувати результати симуляції.

5. Цілі сталого розвитку

ЦСР 4 – Якісна освіта

ЦСР 8 – Гідна праця та економічне зростання

ЦСР 9 – Промисловість, інновації та інфраструктура

ЦСР 12 – Відповідальне споживання та виробництво

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. Структура роботизованої комірки та розподіл функцій між контролером, PLC, HMI, пресом і системою безпеки.

Склад роботизованої комірки. Промисловий робот FANUC, контролер робота, Teach Pendant, PLC, HMI, контролер преса, захватні пристрої, датчики, периферійне обладнання та safety-система. Інформаційні й керуючі зв’язки між компонентами. Розподіл функцій: контролер FANUC - рухи та TP-програма; PLC - послідовність циклу, дозволи, блокування і координація; HMI - операторська взаємодія; контролер преса - технологічна операція; safety PLC або safety circuits - функції безпеки.

Тема 2. Безпека роботизованої комірки, ролі персоналу та режими роботи.

Вимоги безпеки під час експлуатації роботизованої комірки. Функції та відповідальність оператора, оператора навчання, програміста і фахівця з технічного обслуговування. Режими AUTO, T1, T2, локального та дистанційного керування. Захисне огородження, двері з блокуванням, трипозиційний дозвільний пристрій, штатне, програмне й аварійне зупинення. Небезпечні та контрольовані зони. Відмінність між звичайними алгоритмами PLC і сертифікованими функціями безпеки. Умови та порядок відновлення автоматичної роботи.

Тема 3. Архітектура PLC-систем та роль промислових контролерів у роботизованих виробничих комплексах.

Будова контролера FANUC. Призначення Teach Pendant. Teach Pendant Enable/Disable. Клавіші RESET, HOLD і SHIFT. Трипозиційний вмикач. Перегляд програм, поточного положення, I/O та аварій. Вибір режиму і швидкості. Основи JOG-керування. Умови дозволу руху та безпечне переміщення робота.

Тема 4. Апаратна структура PLC, модулі введення-виведення та промислові сигнали.

Переміщення окремих осей J1–J6. Переміщення TCP у декартових системах координат. Призначення JOINT, WORLD, TOOL і USER. Вибір системи координат для наближення до заготовки, преса та позицій укладання. Порівняння поведінки робота в різних системах координат.

Тема 5. Цифрові та аналогові сигнали PLC. Адресація входів і виходів.

Tool Center Point. Положення й орієнтація TCP. Створення та перевірка UTOOL. Параметри навантаження: маса, положення центра мас та інерційні характеристики. Вакуумні й механічні захвати. Сигнали утримання деталі. Вплив помилок TCP і payload на рухи, точність та безпечність роботи.

Тема 6. UFRAME та формування вихідних, безпечних і технологічних положень робота.

Створення та перевірка UFRAME для преса, касет заготовок і позицій укладання. Формування визначених інтегратором або програмістом положень Home, Safe, Approach, Pick, Lift, Bend, Retreat, Regrip, Place і Robot Clear. Організація безпечних маршрутів руху.

Тема 7. Побудова безпечних траєкторій: J, L, швидкість, FINE, CNT, межі осей та особливі конфігурації.

Команди Joint і Linear. Вибір J або L залежно від технологічної операції. Швидкість руху. Точне завершення FINE і згладжене завершення CNT. Безпечні проміжні точки. Межі переміщення осей. Поняття singularity, зовнішні ознаки та загальні принципи уникнення.

Тема 8. Структура TP-програми та алгоритм виробничого циклу.

Головна програма і підпрограми. Структуроване найменування програм. Коментарі. Рухові й логічні команди. WAIT, IF, CALL, JMP/LBL. Керування захватом. Оброблення невиконаної умови. Поділ виробничого циклу на етапи: захоплення, перевірка, переміщення, згин, переорієнтація, укладання та повернення у вихідне положення.

Тема 9. Числові регістри R, позиційні регістри PR та зміщення у програмах FANUC.

Призначення числових регістрів. Лічильники, номери операцій, рецепти та коди станів. Позиційні регістри. Представлення координат і орієнтації. Offset. Параметризація траєкторій. Використання R і PR для переналагодження виробничих програм.

Тема 10. Інтеграція робота із захватом і периферійним обладнанням через DI/DO, RI/RO та GI/GO.

Цифрові входи і виходи (DI/DO), входи і виходи робота (RI/RO), групові входи і виходи (GI/GO). Формування й оброблення сигналів наявності деталі, керування вакуумним захватом, підтвердження утримання деталі, готовності преса, досягнення роботом технологічної позиції, звільнення робочої зони, завершення операції гнуття та виникнення несправності захвата. Очікування сигналів, контроль часу та реагування на відсутність підтвердження або суперечливий стан системи.

Тема 11. Функціональне тестування, типи зупинення, діагностика та контрольоване відновлення циклу.

Пробний і покроковий запуск програми, виконання циклу на зниженій швидкості та без заготовки. Імітація сигналів введення-виведення, перевірка часових обмежень, моделювання несправностей і відмов. Призупинення програми, аварійні стани та аварійне зупинення. Аналіз стану робота, деталі, захвата, преса і другого робота. Контрольоване відновлення роботи та оформлення протоколу випробувань.

Тема 12. Основи PLC- програмування роботизованої комірки.

Архітектура PLC. Цикл сканування. Дискретні входи й виходи. Основи IEC 61131-3. Мова LD як основна мова практичного опанування. Ознайомлення з FBD і ST. Організаційні блоки, функції та функціональні блоки. Машина станів. Таймери. Дозволи. Блокування. Контроль послідовності. Реалізація навчального проєкту у доступному середовищі, зокрема TIA Portal/PLCSIM за наявності ліцензії.

Тема 13. PLC–FANUC handshake, UOP та зовнішній автоматичний запуск.

User Operator Panel. UI та UO. Сигнали SYSRDY, PROGRUN, FAULT, HOLD, RESET і START. Послідовність Ready–Start–Running–Complete–Fault. Підтвердження команди. Тайм-аути. Заборона повторного запуску. Вибір програми. Порівняння PNS і RSR. Промислові мережі та протоколи обміну між PLC, HMI і контролером робота.

Тема 14. Координація двох роботів FANUC, преса та допоміжного обладнання у виробничій комірці.

Взаємні дозволи. Спільні й конфліктні зони. Robot 1 Clear, Robot 2 Clear, Press Ready, Bend Request і Bend Complete. Координація через PLC. Тайм-аути. Суперечливі стани. Рецепти виробів. Номер програми. Послідовність згинів. Переналагодження комірки.

Тема 15. HMI, аварійні повідомлення, журнали подій та віртуальне налагодження роботизованої комірки.

Структура HMI. Екрани Overview, Auto, Manual, RobotStatus, PressStatus, I/O, Alarms, Recipes і Diagnostics. Активні та підтверджені аварії. AlarmMatrix. Журнал подій. Лічильник деталей. Час циклу. Причини простою. Віртуальне функціональне тестування. Формування testprotocol. Реалізація в TIA Portal/WinCC або іншому доступному середовищі.

9. Опис ІЗ/КПІЗ

Не передбачено навчальним планом.

10. Самостійна робота

Самостійна робота охоплює такі теми: ролі персоналу, safety devices і режими FANUC; Teach Pendant, меню і базові операції; JOINT, WORLD, TOOL, USER і JOG; TCP, UTOOL, payload і захват; UFRAME і технологічні положення; TP-програма, J/L, FINE/CNT, WAIT/IF/CALL; регістри R, PR та offsets; DI/DO, RI/RO, GI/GO і сигнали захвата; типи зупинення, тестування і recovery; PLC, LD і машина станів; UOP, PNS/RSR та PLC–FANUC handshake; HMI, AlarmMatrix і TestProtocol; обмін даними PLC–HMI через промислові мережі; проєктування операторських інтерфейсів HMI; тривоги, рецепти та журнали подій HMI.

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

І. Навчально-методичні матеріали та розробки

Праці інших авторів:

1. White M. T. Mastering PLC Programming: The Software Engineering Survival Guide to Automation Programming. 2nd ed. Birmingham : Packt Publishing, 2026. 528 p. ISBN 978-1-83664-255-8. URL: https://www.packtpub.com/en-us/product/mastering-plc-programming-9781836642558 (дата звернення: 13.07.2026).

2. Starr J., Quick C. Robotic Safety Systems: An Applied Approach. 1st ed. Boca Raton : CRC Press, 2024. DOI: 10.1201/9781003288169. URL: https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781003288169/robotic-safety-systems-justin-starr-christopher-quick (дата звернення: 13.07.2026).

3. Pires J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. New York : Springer, 2007. 282 p. ISBN 978-0-387-23325-3. DOI: 10.1007/b101252. URL: https://link.springer.com/book/10.1007/b101252 (дата звернення: 13.07.2026).

4. AutomationDirect. PLC Handbook: Practical Guide to Programmable Logic Controllers. Cumming, GA: AutomationDirect, [б. р.]. 84 p. URL: https://library.automationdirect.com/plc-handbook/ (дата звернення: 13.07.2026).

5. Latokartano J., Liuha A., Lempiäinen J., Billing M., eds. The Industrial Robot Book. Helsinki : Robotics Society in Finland, 2023. 45 p. ISBN 978-952-65329-2-9. URL: https://industrialrobotbook.com/ (дата звернення: 13.07.2026).

6. Галкін П. В., Ключник І. І. Програмування ПЛК у CODESYS: навчальний посібник. Харків : ФОП Панов А. М., 2019. 92 с. ISBN 978-617-7722-62-4. URL:

https://openarchive.nure.ua/entities/publication/04bdbfca-baf7-4278-aaf5-b19087556512 (дата звернення: 13.07.2026).

7. Zurawski R., ed. Industrial Communication Technology Handbook. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2015. 1756 p. ISBN 978-1-4822-0732-3. DOI: 10.1201/b17365. URL: https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.1201/b17365/industrial-communication-technology-handbook-richard-zurawski (дата звернення: 13.07.2026).

8. Hägele M., Nilsson K., Pires J. N. Industrial Robotics. In: Siciliano B., Khatib O., eds. Springer Handbook of Robotics. Berlin, Heidelberg : Springer, 2008. P. 963–986. DOI: 10.1007/978-3-540-30301-5_43. URL: https://link.springer.com/rwe/10.1007/978-3-540-30301-5_43 (дата звернення: 13.07.2026).

9. Поліщук Л. К. Верстатні комплекси. Проєктування роботів та маніпуляторів. Частина 1 : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2018. 132 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/2021/Polishchuk_P1_2018_132.pdf (дата звернення: 13.07.2026).

III. Інформаційні ресурси

10. FANUC Corporation. Контролери роботів серій R-30iB, R-30iB Mate, R-30iB Plus, R-30iB Mate Plus, R-30iB Compact Plus та R-30iB Mini Plus : посібник оператора. Основні функції [FANUC Robot Series R-30iB/R-30iB Mate/R-30iB Plus/R-30iB Mate Plus/R-30iB Compact Plus/R-30iB Mini Plus Controller. Operator’s Manual. Basic Function]. Документ B-83284EN/09. FANUC Corporation, 2012. 994 с. URL: https://robochallenge.pl/wp-content/uploads/2021/10/R-30iB_Plus_basic_operator_manual_B-83284EN_09_Robo_Challenge.pdf (дата звернення: 13.07.2026).

11. FANUC. Освітня роботизована комірка : навчальні вправи для здобувачів [Education Cell. Student Exercises]. FANUC, [б. р.]. 240 с. URL: https://one.fanuc.eu/l/442582/2019-09-14/7ybgt8 (дата звернення: 13.07.2026).

12. Siemens AG. Програмований логічний контролер SIMATIC S7-1200 : системний посібник [SIMATIC S7-1200 Programmable Controller. System Manual]. Версія 4.7. Документ A5E02486680-AQ. Siemens AG, 2024. URL: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109977302/s71200_system_manual_en-US.pdf (дата звернення: 13.07.2026).

13. FANUC Corporation. Функції інтеграції робота з верстатним обладнанням: посібник оператора [Robot and Machine Tool Integration Function. Operator’s Manual]. Документ B-75114EN/02. FANUC Corporation, 2010. 200 с. URL: https://www.scribd.com/document/297684152/B-75114EN-02 (дата звернення: 13.07.2026).

14. Siemens AG. SIMATIC HMI WinCC Unified : початкова робота для нових користувачів [SIMATIC HMI WinCC Unified. Getting Started — First-Time Users]. Системний посібник. Siemens AG, 2023. 130 с. URL: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109813335/GettingStartedWCCUBeginnersenUS_en-US.pdf (дата звернення: 13.07.2026).

15. FANUC. Освітня роботизована комірка : технічна документація контролера R-30iB [Education Cell. Technical Documentation for the R-30iB Controller]. Версія 3.3. FANUC, [б. р.]. 49 с. URL: https://www.fanuc.eu/~/media/files/pdf/products/robots/educational%20cell/fanuc-educational-cell-manual-standard.pdf (дата звернення: 13.07.2026).

16. FANUC Corporation. Безпека роботів FANUC : довідник [FANUC Robot Safety Handbook]. Документ B-80687EN/15. FANUC Corporation, [б. р.]. 52 с. URL: https://www.fanuc.eu/~/media/files/pdf/products/robots/educational%20cell/safety%20manual%20for%20fanuc%20educational%20cell.pdf?la=en (дата звернення: 13.07.2026).

17. Siemens AG. S7-PLCSIM Advanced : початкова робота із симуляцією програмованих логічних контролерів [S7-PLCSIM Advanced. Getting Started]. Ідентифікатор документа 109739660. Версія 1.0.2. Siemens AG, 2025. 67 с. URL: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109739660/109739660_PLCSIM_ADV_GettingSt

arted_v1.0.2.pdf (дата звернення: 13.07.2026).

18. Siemens AG. Правила оформлення програм для SIMATIC S7-1200 та S7-1500 [Programming Style Guide for SIMATIC S7-1200/S7-1500]. Ідентифікатор документа 81318674. Версія 2.1.0. Siemens AG, 2025. 66 с. URL: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109478084/81318674_Programming_Styleguide_DOC_V2_1_0_en.pdf (дата звернення: 13.07.2026).

19. ISO 10218-2:2025. Робототехніка. Вимоги безпеки. Частина 2. Застосування промислових роботів і роботизовані комірки [Robotics — Safety Requirements — Part 2: Industrial Robot Applications and Robot Cells]. Geneva: International Organization for Standardization, 2025. URL: https://www.iso.org/standard/73934.html (дата звернення: 13.07.2026).

20. IEC 61131-3:2025. Програмовані контролери. Частина 3. Мови програмування [Programmable Controllers — Part 3: Programming Languages]. Видання 4.0. Geneva : International Electrotechnical Commission, 2025. URL: https://webstore.iec.ch/en/publication/68533 (дата звернення: 13.07.2026).

21. ISO 10218-1:2025. Робототехніка. Вимоги безпеки. Частина 1. Промислові роботи [Robotics — Safety Requirements — Part 1: Industrial Robots]. Geneva : International Organization for Standardization, 2025. URL: https://www.iso.org/standard/73933.html (дата звернення: 13.07.2026).

22. FANUC Europe Corporation. Роботизація верстатного обладнання: довідник [Handbook for Robotization of Machine Tools]. Документ MBR-04186-EN-03/2022. FANUC Europe Corporation, 2022. 23 с. URL: https://www.fanuc.eu/~/media/files/pdf/products/cnc/brochures/mbr-04186-fa%20handbook%20for%20robotization%20of%20machine%20tools/handbook%20for%20robotization%20of%20machine%20tools-en.pdf?la=cs (дата звернення: 13.07.2026).

23. FANUC America Corporation. Каталог освітніх рішень FANUC [Education Solutions Catalog]. FANUC America Corporation, 2025. 26 с. URL: https://www.fanucamerica.com/docs/default-source/cnc-files/brochures/mba-084-en_01_1604_cert-education.pdf?sfvrsn=312523fd_6 (дата звернення: 13.07.2026).

24. FANUC Europe Corporation. Рішення FANUC для освіти [FANUC Solutions for Education. Empowering Skills of Excellence]. Документ MBR-05559-CO-EN-V2-09/2025. FANUC Europe Corporation, 2025. 41 с. URL: https://www.fanuc.eu/eu-en/accessory/software/robotic-educational-package (дата звернення: 13.07.2026).