УДК 378.016:[004.42:004.896] **DOI 10.58407/visnik.253305**

Джевага Григорій

https://orcid.org/0000-0001-6853-885X

Кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри педагогіки, психології і методики технологічної освіти,
Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка
(м. Чернігів, Україна) E-mail: dzhevaga.g@gmail.com

Яковлев Кирило

https://orcid.org/0009-0000-9205-5276

Аспірант кафедри педагогіки, психології і методики технологічної освіти,
Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка
(м. Чернігів, Україна) E-mail: kilemanjaare84@gmail.com

СТВОРЕННЯ ВІДДАЛЕНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ З РОБОТОТЕХНІКИ, АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА ТА ІОТ

Методика проведення лекційних занять і письмових практичних робіт під час дистанційного навчання вже достатньо розроблена і перевірена науковцями в ході проведення занять у віртуальному просторі відеоконференцій. Також, налагоджено вивчення теоретичного матеріалу з курсів «Робототехніка», «Автоматизації виробництва» та «Інтернет речей» на платформі дистанційного навчання через електронні курси. Проте, з організацією формування умінь програмувати автоматизовані системи, на основі мікроконтролера, існують складнощі. У онлайн середовищі віртуальних лабораторій Wokwi, TinkerCad і Proteus можна збирати схеми проєктів роботів, автоматизованих ліній, а також, писати код програми для їх керування. Однак, у даних віртуальних середовищах наявний не увесь перелік радіодеталей та модулів Arduino, щоб навчатись передавати дані за допомогою радіозв'язку та підключатися до мережі Інтернет. Це створює потребу до перегляду традиційних методів проведення практичних робіт і їх трансформації до нових умов цифрового освітнього простору. У статті описано і обґрунтовано перелік обладнання та програмного забезпечення для створення віддаленої лабораторії робототехніки, автоматизації виробництва та Інтернет речей. Розкрито процес налагоджування обладнання для підключення студентів до віддаленого лабораторного стенду, а також особливості виконання практичних робіт та методичні рекомендації щодо їх проведення під час дистанційного навчання.

***Мета статті** – розкрити особливості створення та використання віддаленої лабораторії робототехніки, автоматизації виробництва та Інтернет речей, для забезпечення дистанційної та інклюзивної освіти.*

***Завдання статті:** 1) уточнити зміст практичних робіт, які доцільно виконати в умовах віддаленої лабораторії робототехніки, автоматизації виробництва та Інтернет речей; 2) визначити перелік обладнання і програмного забезпечення для функціонування віддаленого лабораторного стенду і програмування мікроконтролерів; 3) визначити умови роботи і процес налаштування віддаленого лабораторного стенду; 4) описати методику використання віддаленої лабораторії для виконання практичних робіт з робототехніки, автоматизації виробництва та Інтернет речей.*

***Використані методи дослідження.** Для розв'язання визначених завдань у роботі застосовувалися такі методи дослідження: пошук, теоретичний аналіз та систематизація наукових праць та педагогічного досвіду з проблеми дослідження; інтерпретація та узагальнення результатів досліджень науковців; розроблення методичних рекомендацій.*

***Наукова новизна.** Уточнено зміст віддаленої лабораторії з робототехніки, автоматизації виробництва та Інтернет речей. Запропоновано новий підхід до віддаленого виконання практичних робіт, який спрямований на налаштування драйверів двигунів різного типу, передачі даних через Bluetooth, радіо зв'язок, розгортання серверу на платі Arduino та налагодження мережі Інтернет речей.*

***Висновки.** В умовах дистанційної підготовки фахівців сфери ІТ, забезпечення курсів підвищення кваліфікації або інклюзивної освіти, ефективне формування умінь створювати автоматизовані системи на основі мікроконтролерів, здійснюється через використання віддаленої лабораторії робототехніки, автоматизації виробництва та Інтернет речей. Віддалене виконання учасниками освітнього процесу практичних робіт з програмування*

© Джевага Г., Яковлев К., 2025

реальних фізичних плат Arduino забезпечує спостереження за результатами роботи сенсорів, актуаторів, передачею даних через радіо зв'язок та мережу Інтернет, що неможливо реалізувати у симуляторах.

Ключові слова: *дистанційна освіта, цифрова компетентність, робототехніка, автоматизація виробництва, Інтернет речей (IoT), практична робота, технологія віддаленого доступу, віддалена лабораторія робототехніки.*

Постановка проблеми. Організація дистанційної освіти за умов пандемії та воєнного стану в Україні вимушено продовжується. Забезпечення вивчення теоретичного матеріалу здобувачами вищої освіти та виконання практичних робіт поступово розробляється через використання сервісів відеоконференцій (Zoom, Google Meet, Microsoft Teams) та платформ електронного навчання (Moodle, Google Class Room). Під час вивчення робототехніки і програмування мікроконтролерів на практичних роботах можна використовувати онлайн симулятори, середовище яких дозволяє зібрати електротехнічну схему проєкту на основі мікроконтролера та написати до неї код програми. Проте, залишається частина практичних та лабораторних робіт, які не можливо виконати дистанційно без використання спеціалізованого обладнання через те, що воно є виключно у фізичному вигляді. Особливо гостро це стосується дисциплін технічного і інформаційно-технологічного спрямування [8]. Виникає актуальна проблема безперешкодного доступу здобувачів вищої освіти до спеціального обладнання курсів робототехніки, автоматизованих і безпілотних систем, автоматизації виробничих процесів та Інтернет речей під час дистанційного навчання, для осіб з обмеженою рухливістю та у рамках дуальної освіти чи курсів підвищення кваліфікації, які здійснюються без відриву від роботи. Якщо розглядати організацію дистанційної освіти для перекваліфікації працівників, для забезпечення дуальної освіти або підвищення кваліфікації, то це робота з високо мотивованими студентами і такий формат для них буде виключно зручний, своєю гнучкістю та індивідуальністю освітніх траєкторій. Це усуне перевантаження учасників освітнього процесу через відсутність поїздок до закладу вищої освіти та забезпечить виконання навчальних завдань у зручний час.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Проблеми створення віддаленого/дистанційного освітнього середовища для підготовки здобувачів вищої освіти технічних спеціальностей, в умовах воєнного стану в Україні, загроз життю і здоров'ю громадян України з боку військових російської федерації, розглядали Аргун Щ.В., Трунова І.С., Гнатов А.В. і Гнатова Г.А. [6, 83-84]. Можливість віддаленого керування комп'ютерним класом під час пандемії COVID-19 розробляли викладачі Університету Пірея, Magetos D., Sarlis I., Kotsifakos D., Douligeris C. [3]. Вони розробили систему віддаленого доступу (RAT – Remote Access Technology) для проведення курсів інформатики та електроніки. Дана система LiteManager забезпечувала доступ викладача до екранів моніторів усіх навчальних комп'ютерів у режимі реального класу і надавала можливість контролювати процес виконання практичних завдань, не підходячи особисто до робочого місця студента [3].

В Україні впроваджують віддалений доступ до обладнання з радіоелектроніки та елементів Інтернет речей Абрамов В.О., Бичков О.С., Добряк О.С., Крамар С.С., Литвин О.С., Маркітан А.С., Міхєєнко Д.Ю., Русу О.П., Султанзаде, Н.Р. та інші. За кордоном розробкою віртуальних і віддалених лабораторій займаються Cardoso de Lima J.P., Carlos L.M., Schardosim Simão J.P.S., Pereira J., Mafra P.M., Bento da Silva J., Tzafestas C.S., Palaiologou N., Alifragis M. та інші.

Використання віртуальних лабораторій на основі онлайн симуляторів, таких як TinkerCad, Wokwi, Proteus, розробляють, як вчені з України Бондарчук О.В., Гаврюков О.В., Давиденко П.А., Заєць О.Ю., Запривода А.В., Луценко В.Ю., Мазур І.В., Точиліна Т.М., Філіпенко І.І., Штогрин С.С., так і зарубіжжя Direstu A., Fazal M.R., Forman N., Igaamoka I., Khairullah F., Juanda E. A., Septiani V., Udvaros J. та інші.

Отже, можливість забезпечення віддаленого доступу до спеціалізованого обладнання з робототехніки та автоматизованих систем на базі мікроконтролерів активно досліджується і розробляється. Проте, розробка доступних рішень, гнучких віддалених лабораторій для експериментів та практичних робіт з проєктування реальних автоматизованих систем, передачею даних за допомогою радіо і дротових підключень між мікроконтролерами, керування двигунами різних типів, досліджені не повністю.

Мета статті – розкрити особливості створення та використання віддаленої лабораторії робототехніки, автоматизації виробництва та Інтернет речей, для забезпечення дистанційної та інклюзивної освіти. **Завдання статті:** 1) уточнити зміст практичних робіт, які доцільно виконати в умовах віддаленої лабораторії робототехніки, автоматизації виробництва та Інтернет речей; 2) визначити перелік обладнання і програмного забезпечення для функціонування віддаленого лабораторного стенду і програмування мікроконтролерів; 3) визначити умови роботи і процес налаштування віддаленого лабораторного стенду; 4) описати методику використання віддаленої лабораторії для виконання практичних робіт з робототехніки, автоматизації виробництва та Інтернет речей.

Використані методи дослідження: пошук, теоретичний аналіз та систематизація наукових праць, та педагогічного досвіду з проблеми дослідження; інтерпретація та узагальнення результатів досліджень науковців; розроблення методичних рекомендацій.

Виклад основного матеріалу. Програмування мікроконтролерів дозволяє не тільки вивчати, але й поглибити розуміння мови програмування через вплив коду на фізичні об'єкти [2]. Наприклад, впливати через програмування на: яскравість світіння світлодіода, увімкнення реле, швидкість обертання валу колекторного двигуна, кут повороту валів сервоприводу чи крокового двигуна, вивід інформації на екран

чи передачу пакету інформації на інший мікроконтролер. Також, можна розвивати алгоритмічне мислення через розв'язання реальних завдань керування автоматизованими виробничими лініями, віддаленим керуванням роботів, створенням охоронних систем, безпілотних дронів та розумних будинків.

За умови організації освітнього процесу закладів вищої освіти та курсів підвищення кваліфікації у дистанційному форматі, проведення практичних робіт зі складання схеми і програмування мікроконтролера може здійснюватися у середовищі симуляторів. Також, під час офлайн навчання у приміщенні лабораторії, симулятори можна використовувати для перевірки загальної працездатності та виявлення помилок у проєкті без використання фізичного обладнання, що зведе до мінімуму витрати на велику кількість специфічного обладнання лабораторії та ризики виходу з ладу при помилках у електричних схемах. Для симуляції та програмування мікроконтролерів можна використовувати такі поширені симулятори, як Wokwi, Tinkercad, Proteus, SimulIDE [7]. З досвіду роботи використання симуляторів для забезпечення практичних робіт з курсу «Основи робототехніки» зі студентами спеціальності 015.39 Професійна освіта (Цифрові технології) визначено, що вони дозволяють працювати з Arduino Uno, Arduino Nano, Arduino Mega, ESP32, ESP8266, STM32 та Raspberry Pi Pico (RP2040) з підтримкою найпоширеніших мов програмування мікроконтролерів C++, Rush та MicroPython. Проте, у симуляторів обмежена номенклатура обладнання та модулів. Наприклад, на даний момент відсутні: драйвер колекторного двигуна і мотор-редуктор, сенсор нахилу, модуль радіозв'язку NRF24L01, Ethernet W5500 модуль, а Blutooth і Wi-Fi реалізовані тільки на базі ESP32, що обмежує вивчення мережі Інтернет речей та розгортання серверу на базі плати Arduino. Також, симуляція не завжди може повністю відтворити всі нюанси поведінки реального апаратного забезпечення (наприклад, електричні шуми, затримки, аналогові перешкоди, специфічні характеристики окремих мікросхем).

Онлайн симулятори чудово підходять для навчання студентів програмувати автоматизовані системи на основі мікроконтролера та використовувати симуляції у якості наочності [7]. Проте, здобувачі освіти все одно потребують досвіду роботи з реальним апаратним забезпеченням, щоб зрозуміти фізичні аспекти та розв'язання проблем пов'язаних з схемотехнікою і програмним забезпеченням, які не проявляються у симуляторі. Також, симулятори поки обмежені у використанні плати Arduino у якості сервера та створенні мережі Інтернет речей, тому варто уточнити зміст віддаленої лабораторії з робототехніки, автоматизації виробництва та Інтернет речей. Розробити новий підхід до створення віддаленої лабораторії, яка забезпечить практику налаштування драйверів двигунів різного типу, передачі даних через Bluetooth, радіо зв'язок, розгортання серверу на платі Arduino та налагодження мережі Інтернет речей.

У Київському університеті імені Б. Грінченка працює дистанційна лабораторія GOLDI (Grid of Online Lab Devices Ilmenau), яка розроблена на кафедрі інтегрованих комунікаційних систем технологічного університету Ільменау, Німеччина. До складу цієї лабораторії входить реальний фізичний макет, програмно-апаратне забезпечення для управління отриманих даних, а також, засоби комунікації [5, 77–78; 8, с. 204]. Також, у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті використовується лабораторія MDEE, що складається з IoT модуля Twilio electricimp, модуля вимірювання, веб-сторінки (серверу Apache, бази даних MySQL, PHP), та веб-камери на базі веб-серверу [6, 86].

У Федеральному університеті Санта-Катарини, Арарангуа, Південна Кароліна, Бразилія, група вчених Joao Paulo Cardoso de Lima, Lucas Mellos Carlos, Jos'e Pedro Schardosim Simao, Josiel Pereira, Paulo Manoel Mafra та Juarez Bento da Silva розробили віддалену лабораторію для навчання студентів програмуванню та основам робототехніки на базі плати Arduino. Прототип був розроблений у Лабораторії дистанційних експериментів (RExLab) на базі навчальної платформи RELLE (REmote Labs Learning Environment). Після того, як користувачі напишуть код програми і скомпілюють у себе локально, вони віддалено відправляють бінарний файл прошивки для запуску на мікроконтролері через застосунок «Deployment Environment for Arduino». Обмін даними між графічним інтерфейсом застосунку і платою здійснюється через послідовний термінал, а студенти спостерігають за результатами роботи мікроконтролера через веб-камеру [1]. Проте, використання даного застосунку в Україні не доступне, тому варто розробити власний підхід до створення віддалених стендів для використання студентами у закладах вищої освіти під час вивчення курсів «Основи робототехніки», «Автоматизація виробництва» та «Інтернет речей».

Розглянемо спосіб використання програми віддаленого доступу до робочого столу комп'ютера AnyDesk для налагодження взаємодії студента з віддаленим середовищем Arduino IDE. AnyDesk може використовуватися різними операційними системами: Windows, macOS, Linux, Android, iOS, FreeBSD, Rasberry Pi, Chrome OS [4].

Для налагоджування віддаленого доступу до лабораторного стенду через програмне забезпечення AnyDesk викладачу необхідно підготувати підключення плати Arduino до комп'ютера та встановити Arduino IDE з драйверами. Для емуляції підключення плати Arduino через USB, яка розпізнається як підключення через COM-порт, необхідно завантажити оригінальний драйвер Arduino або драйвер для мікросхеми CH340 (у випадку клонів плати). Потім підключити плату Arduino до комп'ютера, запустити Arduino IDE і обрати правильний COM-порт на Windows, у розділі \dev\ttyUSB, або /dev/ttyACM на Linux/macOS) та тип плати, наприклад Arduino NANO. Далі можна перейти до налаштування програми AnyDesk на комп'ютері віддаленого стенду, до якого фізично було підключено Arduino. Для забезпечення навчальних занять, без прямого контролю викладача, можна буде використовувати неконтрольований

доступ «Unattended Access» у налаштування з'єднання через AnyDesk. Це можна зробити у вкладці основного меню «Налаштування (Settings)» → «Безпека (Security)». Поставити відмітку у пункті «Дозволити неконтрольований доступ (Enable unattended access)» [4]. Для обмеження несанкціанованого доступу до віддаленого стенду, доречно встановити пароль на підключення і дозволити підключатися до віддаленого лабораторного стенду без ручного підтвердження, коли кожного разу студенти будуть заходити під час заняття.

Для доступу через AnyDesk з локального комп'ютера до віддаленого лабораторного стенду, здобувачу освіти необхідно ввести AnyDesk-адресу у відповідне поле програми (рис. 1) та натиснути «Підключитися (Connect)», а потім ввести пароль сесії.

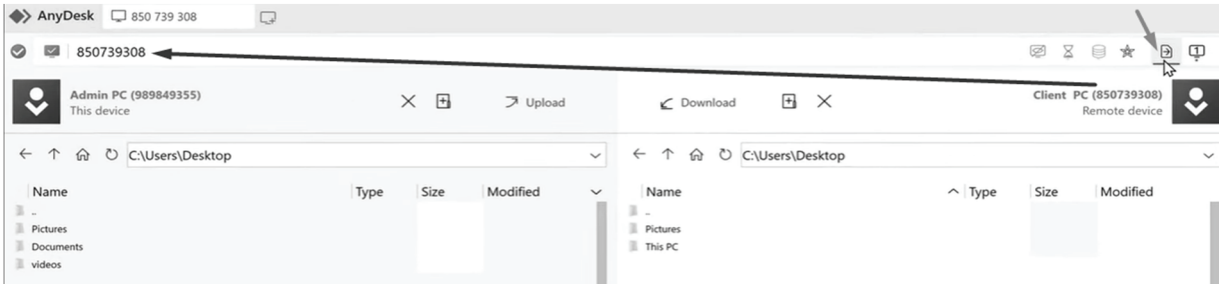

Рис. 1. Рядок введення AnyDesk-адреси віддаленого комп'ютера та відкриття файлового менеджера

Після вдалого підключення, студент буде мати доступ до робочого столу комп'ютера віддаленого лабораторного стенду і бачити його на своєму екрані монітору. Після чого необхідно знайти і запустити ярлик Arduino IDE на віддаленому робочому столі так само, як би це він робив локально. У середовищі програмування мікроконтролера Arduino IDE треба налаштувати порт підключення та обрати тип плати Arduino. Це можна зробити у вкладці меню «Інструменти (Tools)» → «Порт (Port)», обрати правильний COM-порт, до якого підключений потрібний номер плати Arduino, що відповідає номеру лабораторної роботи. Далі, необхідно обрати тип плати Arduino у вкладці меню «Інструменти (Tools)» → «Плата (Board)», наприклад, Arduino Uno чи Arduino NANO.

Наступним кроком для студента буде створення нового скетчу і написання коду програми для мікроконтролера або відкриття свого підготовленого проєкт скетчу. Безпосередньо AnyDesk надає доступ до робочого столу та файлової системи лише віддаленого комп'ютера. Проте, для використання файлів з локального комп'ютера студента, їх можна передати на віддалений, а потім відкрити у Arduino IDE. Програма віддаленого доступу AnyDesk має вбудовану функцію передачі файлів під час сесії. На верхній панелі інструментів, на локальному комп'ютері студента, необхідно знайти іконку передачі файлів (рис. 1). Після того, як відкриється вікно файлового менеджера AnyDesk, зліва буде локальний комп'ютер, а справа – віддалений. Необхідно перетягнути файл скетчу або теку з локального комп'ютера студента у теку «Документи» (віддаленого комп'ютера) і внутрішню теку підписану прізвищем студента, або можна використати у контекстному меню команди копіювання та вставки. Після передачі проєкту скетчу його можна відкрити у середовищі Arduino IDE на віддаленому комп'ютері через вкладку меню «Файл (File)» → «Відкрити... (Open...)». Також можна скористатися буфером обміну AnyDesk для невеликих фрагментів коду. Наприклад, функцію або змінну, можна просто скопіювати з локального IDE студента через комбінацію клавіш Ctrl+C і вставити його в Arduino IDE на комп'ютері віддаленого лабораторного стенду – Ctrl+V. AnyDesk автоматично синхронізує буфер обміну між двома комп'ютерами. Для перевірки коду на відсутність помилок необхідно натиснути кнопку «Компілювати (Verify)», а для прошивки мікроконтролера – кнопку «Завантажити (Upload)».

Для функціонування віддаленого лабораторного стенду не обов'язково вмикати монітор віддаленого комп'ютера, що може покращити продуктивність його роботи, особливо при низькій швидкості мережі Інтернет, оскільки не потрібно відеокарті рендерити зображення на фізичний монітор. До того ж, віддалений комп'ютер не повинен переходити у режим сну або глибокої гібернації, інакше студенти не зможуть підключитись під час практичної роботи за графіком. Час на роботу з віддаленим стендом необхідно розписати у загальнодоступному Google Docs для усієї групи та коригувати можна у груповому чаті курсу.

Окрім роботи з мікроконтролером, паралельно необхідно бачити результати програмування, тому на екран необхідно виводити потокове відео у реальному часі з веб-камери. Для цього можна використати окреме програмне забезпечення для веб-камери з HTTP-сервером, наприклад, Yawcam. Це найбільш ефективний спосіб перегляду потокового відео у реальному часі, оскільки він мінімізує навантаження на канал передачі даних AnyDesk та дозволяє отримувати відеопотік, поверх вікна Arduino IDE.

Підключення до веб-камери через програму Yawcam складніше реалізовувати, якщо комп'ютери лабораторії під'єднані до її внутрішньої локальної мережі через роутер, що вимагає додаткових налаштувань переадресації портів (port forwarding) на роутері віддаленої лабораторії. Це дозволить запитам ззовні локальної мережі університету отримати доступ до Yawcam, яка прослуховує певний порт віддаленого комп'ютера.

Для налаштування HTTP Yawcam необхідно у вкладці «Window (Вікно)» обрати пункт «Edit Settings... (Редагувати налаштування...)». У вікні налаштувань вкладки «HTTP» необхідно увімкнути HTTP-сервер, відмітити прапорцем функцію «Enable HTTP server (Увімкнути HTTP-сервер)» та запам'ятати номер порту, який використовує Yawcam для HTTP-сервера (за замовчуванням – 8081). Доступ до веб-камери доречно захистити паролем у розділі «Password protection (Захист паролем)». Налаштування переадресації портів на роутері здійснюється у налаштуванні самого роутера через веб-браузер. Для цього необхідно знати «IPv4 Address» віддаленого комп'ютера у локальній мережі. У пункті меню налаштувань «Додатково (Advanced)» або «Безпека (Security)», або «NAT/WAN» знайти розділ «Переадресація портів (Port Forwarding)» або «Port Forwarding», «NAT Forwarding», «Virtual Server», «Application Rules» тощо (назви пунктів меню можуть відрізнятися залежно від моделі роутера). Потім натиснути кнопку «Додати нове правило (Add New Rule)», «Створити (Create)» або подібну. Увести будь-яку назву для цього правила (наприклад, «Yawcam»). Обрати протокол «TCP» для HTTP-сервера Yawcam. Далі ввести порт (це – 8081 або інший зазначений), який необхідно використовувати для доступу до Yawcam ззовні локальної мережі. Наступним кроком ввести внутрішній порт «Internal Port» або «Private Port», або «LAN Port», який використовує HTTP-сервер Yawcam (це – 8081), IP-адресу віддаленого комп'ютера («IPv4 Address») та зберегти налаштування з активованим правилом (Status – «Enable»). Тоді, з будь-якого іншого пристрою, ззовні локальної мережі, студенти зможуть переглядати потокове відео з веб-камери через Yawcam, ввівши у браузері публічну IP-адресу віддаленого комп'ютера (її можна визначити з веб сторінки https://2ip.io/) та зовнішній порт роутера, наприклад, http://192.168.1.100:8081. Проте, варто розуміти, що відкриття портів на роутері може становити ризик безпеці локальної мережі. У цьому випадку варто використовувати надійний пароль для Yawcam і VPN для більш безпечного доступу. Якщо роутер має динамічну публічну IP-адресу, то щоб вона залишалась постійною необхідно скористатися службою Dynamic DNS (DDNS).

Можна ще переглядати відео з веб-камери через стандартну програму «Камера» у Windows, OBS Studio чи VLC Media Player з джерела камери. Проте, роздільна здатність відео, якість деталізації та відставання кадрів у часі, може значно залежить від пропускної здатності порту, через який працює AnyDesk.

Кількість одночасно підключених студентів під час практичної роботи буде залежати від кількості обладнаних віддалених комп'ютерів. Інші учасники освітнього процесу у цей час можуть працювати над кодом програми і перевіркою його валідності локально. Для виконання завдань практичних робіт з курсу «Основи робототехніки» до одного віддаленого комп'ютера лабораторного стенду може бути під'єднано, постійно через USB, від двох до трьох плат Arduino. Обирати прошивку конкретної плати Arduino можна за рахунок вибору номера COM-порту. Це залежить від необхідної кількості обладнання, яке входить до змісту виконання практичних робіт. У змісті курсу «Основи робототехніки» здобувачі вищої освіти виконують такий перелік практичних робіт з платою Arduino UNO/Arduino NANO:

1. Керування світлодіодом. Складання моделі світлофора.
2. Виведення даних у монітор COM port.
3. Отримання даних з потенціометра і кнопки.
4. Виведення даних на екран.
5. Вимірювання відстані, температури, вологості, освітленості і тиску.
6. Вимірювання прискорення і нахилу.
7. Керування колекторним двигуном і сервоприводом.
8. Керування кроковим двигуном
9. Передача даних через радіозв'язок.
10. Передача даних через мережу Інтернет
11. Налаштування вебсерверу на платі мікроконтролера Arduino.
12. Налаштування мережі Інтернет речей.

Для забезпечення усього переліку практичних робіт, на одному віддаленому лабораторному стенді, достатньо мінімум: одного комп'ютера; веб-камери, яка підключена через USB порт до ПК; двох плат Arduino NANO і під'єднаними до неї сенсорів та актуаторів, по схемі зазначеній на рисунку 2 і 3.

Для виконання завдань практичної роботи студент визначає необхідний перелік обладнання, номер плати Arduino, до якої воно підключено, та записує номер COM-порту для прошивки мікроконтролера. Загальне живлення схеми вмикається у потрібний час віддалено через реле, яке керується відповідною за номером кнопкою на сайті «Живлення лабораторних стендів», сервер якого знаходиться на мікроконтролері віддаленої лабораторії.

Особливістю використання модулів W5500 та NRF24L01, які передають дані по спільній шині SPI, є використання активуючих (при передачі на них сигналу високого рівня) пінів CS і CE, відповідно. Одночасно обидва пристрої не працюють, та у практичних роботах цього і не потрібно. Для передачі даних між платами Arduino через Bluetooth модулі необхідно налаштувати, за допомогою AT команд, один модуль як «Майстер» (Master), який ініціює з'єднання і передачу даних на Bluetooth-адресу Slave-пристрою, а інший як «Підлеглий» (Slave), який чекає на вхідні з'єднання та отримання даних. Для переходу у режим приймання AT-команд, на контакт EN модуля HC-05 необхідно подати високий логічний сигнал значенням 3,3 В, тому на схемі (рис. 2 і 3) використовується дільник напруги.

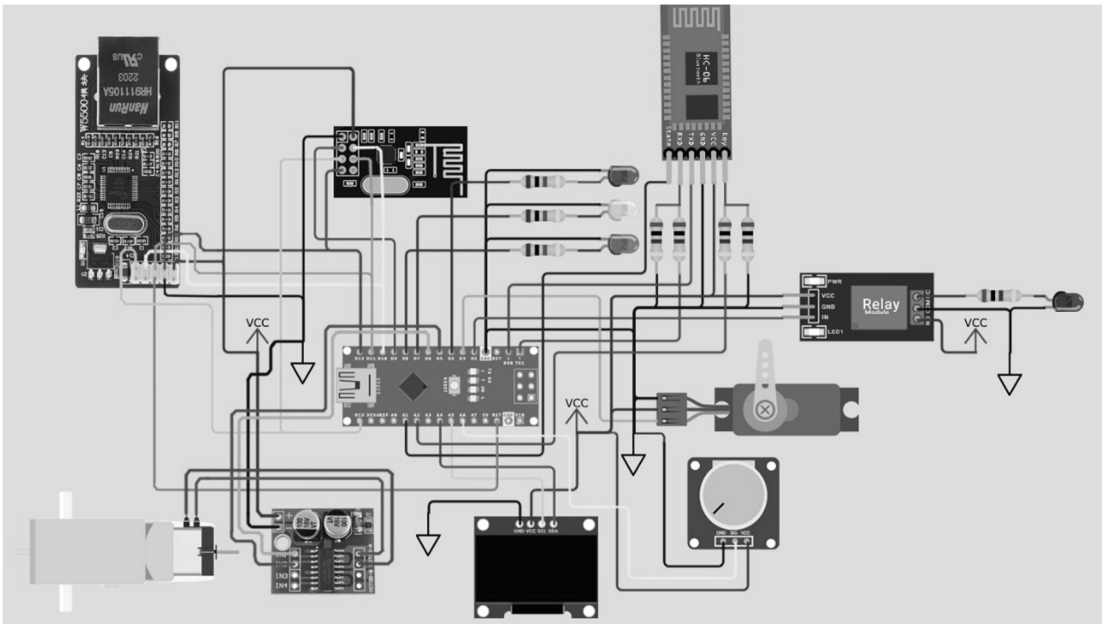

Рис. 2. Схема підключення сенсорів і актуаторів до Arduino NANO №1

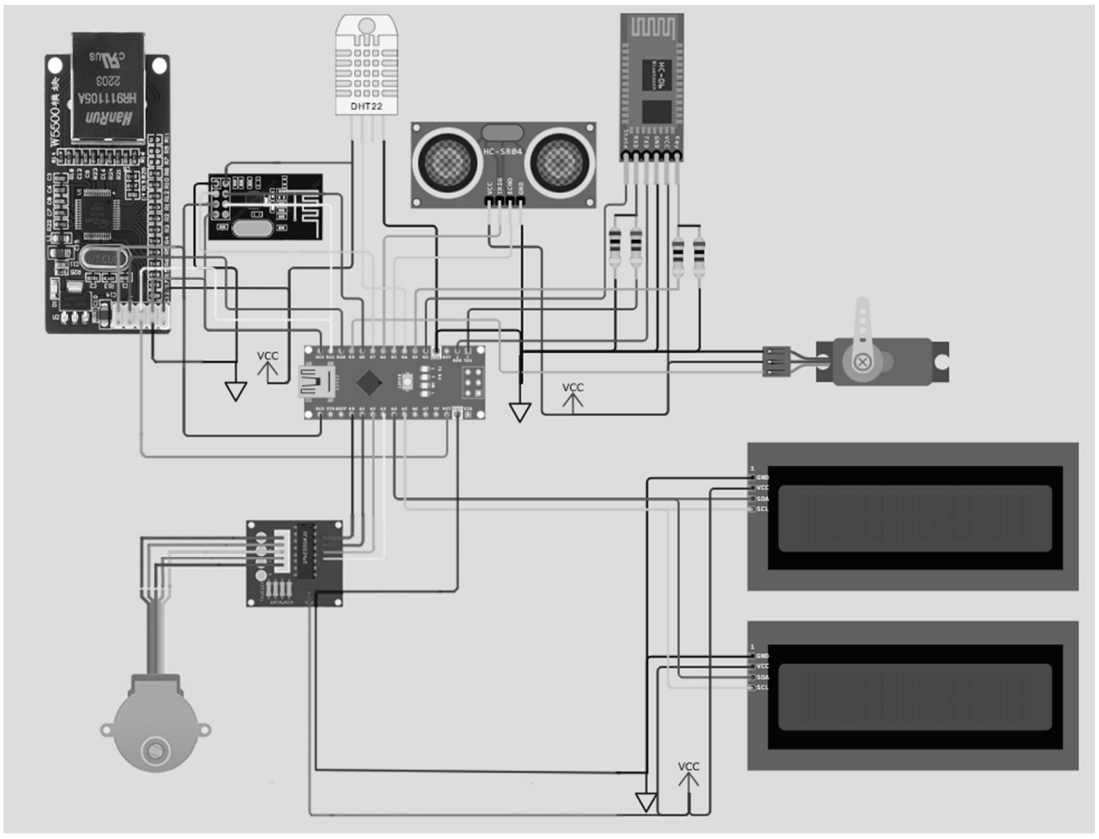

Рис. 3. Схема підключення сенсорів і актуаторів до Arduino NANO №2

Висновки. Отже, створення віддалених лабораторних стендів надає можливості підвищити ефективність студентів спеціальності – А5.39 Професійна освіта (Цифрові технології) за умови дистанційної та інклюзивної освіти та стратегічним кроком до модернізації системи професійно-технічної освіти. Віддалені стенди дозволяють ефективніше використовувати наявне дороге обладнання, таке як промислові роботи, PLC-контролери та IoT-пристрої, оскільки кілька студентів або груп можуть працювати з ним послідовно за графіком, не вимагаючи фізичної присутності. Завдяки можливості безпосереднього взаємодії з реальним обладнанням, хоч і віддалено, студенти отримують цінний досвід «hands-on», що сприяє глибокому розумінню функціонування систем, відпрацюванню навичок програмування, налаштування та налагодження. Використання веб-камер для візуального контролю результатів забезпечує повноцінне занурення у освітній процес.

Розроблена архітектура віддалених лабораторних стендів є гнучкою, що дозволяє легко додавати нові модулі, розширювати функціонал, масштабувати під великі групи та адаптувати їх під різні навчальні курси. Це робить її перспективним інструментом для подальшого розвитку освітньо-професійної програми «Професійна освіта (Цифрові технології)».

Подальші дослідження можуть бути зосереджені на розробці автоматизованих систем управління доступом до віддалених стендів, інтеграції розширеної аналітики даних про взаємодію студентів з обладнанням та впровадженні елементів штучного інтелекту для персоналізації траєкторії навчання під час практичних робіт.

References

1. De Lima, J. P. C., Carlos, L. M., Simão, J. P. S., Pereira, J., Mafra, P. M., & da Silva, J. B. (2016). Design and implementation of a remote lab for teaching programming and robotics. *IFAC-PapersOnLine*. 49(30). 86-91. Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316325848 [in English].
2. Forman, N. (2023). The effect of using microcontrollers in teaching programming. *In The International Scientific Conference eLearning and Software for Education*. 2. 139-151. Retrieved from: https://surl.li/pixjru [in English].
3. Magetos, D., Sarlis, I., Kotsifakos, D., & Douligeris, C. (2021). Utilization of Remote Access and Distance Control Technology for the Management of Virtual Classrooms, During the Covid-19 Pandemic, in Vocational Education and Training (VET) Specialties' Laboratories. *European Conference on E-Learning, October 2021.* Retrieved from: https://surl.li/cnahyk [in English].
4. Remote desktop features that will enhance efficiency and optimize your workflows. *AnyDesk*. Retrieved from: https://anydesk.com/en/features#administration-customization [in English].
5. Абрамов В. О., Литвин О. С. До методики викладання окремих питань дисциплін напрямку інтернету речей у ЗВО. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка.* №1, 2018. С. 73–85. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/26010/6/V_Abramov_ISDESIRE_FITU.pdf (дата звернення: 29.05.2025)
Abramov, V.O., Lytvyn, O.S. (2018), Do metodyky vykladannia okremykh pytan dystsyplin napriamku internetu rechei u ZVO [To the methodology of teaching individual issues of disciplines in the direction of the Internet of Things in higher education institutions]. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika – Cybersecurity: education, science, technology*. 1. 73–85. Retrieved from: https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/26010/6/V_Abramov_ISDESIRE_FITU.pdf [in Ukrainian].
6. Аргун Щ. В., Трунова І. С., Гнатов А. В., Гнатова Г. А. Інноваційні підходи до навчання студентів технічних спеціальностей в умовах війни в Україні. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: зб. наук. пр. Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків*, 2023. Вип. 24. С. 83–90. URL: https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/19312 (дата звернення: 29.05.2025)
Arhun, Shch. V., Trunova, I. S., Hnatov, A. V., Hnatova, H. A. (2023). Innovatsiini pidkhody do navchannia studentiv tekhnichnykh spetsialnostei v umovakh viiny v Ukraini [Innovative approaches to training students of technical specialties in conditions of war in Ukraine]. *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii: zb. nauk. pr. Kharkiv. nats. avtomob.-dor. un-t. Kharkiv – Automobile and Electronics. Modern Technologies: Collection of Scientific Works Kharkiv National Automobile and Road University*. Kharkiv, Ukraine. 24. 83–90. Retrieved from: https://dspace.khadi.kharkov.ua/handle/123456789/19312 [in Ukrainian].
7. Луценко В., Запривода А., Гаврюков О., Бондарчук О., Точиліна Т., Філіпенко І. Вивчення робототехніки методами дистанційного навчання в умовах кризових обмежень. *Управління розвитком складних систем*. № 59, 2024. С. 165–173. URL: http://mdcs.knuba.edu.ua/article/view/315809/306490 (дата звернення: 29.05.2025)
Lutsenko, V., Zapryvoda, A., Havriukov, O., Bondarchuk, O., Tochylina, T., & Filipenko, I. (2024). Vyvchennia robototekhniky metodamy dystantsiinoho navchannia v umovakh kryzovykh obmezhen [Innovative approaches to training students of technical specialties in conditions of war in Ukraine]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system – Managing the development of complex systems*. 59. 165–173. Retrieved from: http://mdcs.knuba.edu.ua/article/view/315809/306490 [in Ukrainian].
8. Міхєєнко Д. Ю., Добряк О. С. Розробка програмно-методичного комплексу для віддаленого виконання лабораторних робіт. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції.* 2021. С. 203– 205. URL: https://surl.li/opumni (дата звернення: 29.05.2025)
Mikhieienko, D. Yu., & Dobriak, O. S. (2021). Rozrobka prohramno-metodychnoho kompleksu dlia viddalenoho vykonannia laboratornykh robit [Development of a software and methodological complex for remote performance of laboratory work]. *Avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii u vyrobnytstvi ta osviti: stan, dosiahnennia, perspektyvy rozvytku: materialy Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii – Automation and computer-integrated technologies in production and education: status, achievements, development prospects: materials of the All-Ukrainian scientific and practical Internet conference*. 203– 205. Retrieved from: https://surl.li/opumni [in Ukrainian].

Dzhevaha Hryhorii

https://orcid.org/0000-0001-6853-885X

PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Pedagogy,
Psychology and Methodology of Technological Education,
T. H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
(Chernihiv, Ukrainian) E-mail: dzhevaga.g@gmail.com

Yakovlev Kyrylo

https://orcid.org/0009-0000-9205-5276

Graduate student of the Department of Pedagogy,
Psychology and Methodology of Technological Education,
T. H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium»
(Chernihiv, Ukrainian) E-mail: kilemanjaare84@gmail.com

CREATION OF A REMOTE LABORATORY FOR PRACTICAL WORK IN ROBOTICS, PRODUCTION AUTOMATION AND IOT

The methodology for conducting lectures and written practical work during distance learning has already been sufficiently developed and tested by scientists during classes in the virtual space of video conferences. Also, the study of theoretical material from the courses «Robotics», «Production Automation» and «Internet of Things» has been established on the distance learning platform through electronic courses. However, there are difficulties with the organization of the formation of skills to program automated systems based on a microcontroller. In the online environment of the virtual laboratories Wokwi, TinkerCad and Proteus, you can assemble schemes for robot projects, automated lines, and also write program code for their control. However, these virtual environments do not have the entire list of radio components and Arduino modules to learn how to transmit data via radio communication and connect to the Internet. This creates a need to review traditional methods of conducting practical work and transform them to the new conditions of the digital educational space. The article describes and substantiates the list of equipment and software for creating a remote laboratory of robotics, production automation and the Internet of Things. The process of setting up equipment for connecting students to a remote laboratory stand is disclosed, as well as the features of performing practical work and methodological recommendations for their conduct during distance learning.

The purpose of the article is to reveal the features of creating and using a remote laboratory of robotics, production automation and the Internet of Things, to ensure distance and inclusive education.

The objectives of the article: *1) to clarify the content of practical work that is advisable to perform in the conditions of a remote laboratory of robotics, production automation and the Internet of Things; 2) to determine the list of equipment and software for the functioning of a remote laboratory stand and programming microcontrollers; 3) to determine the operating conditions and the process of setting up a remote laboratory stand; 4) to describe the methodology for using a remote laboratory to perform practical work on robotics, production automation and the Internet of Things.*

Research methods used. *To solve the specified tasks in the work, the following research methods were used: search, theoretical analysis and systematization of scientific works and pedagogical experience on the research problem; interpretation and generalization of the results of scientists' research; development of methodological recommendations.*

Scientific novelty. *The content of the remote laboratory on robotics, production automation and the Internet of Things has been clarified. A new content of practical work has been proposed, which is aimed at working with the driver configuration of a collector motor, stepper motor, data transmission via Bluetooth, radio communication, server deployment on an Arduino board and setting up an Internet of Things network.*

Conclusions. *In the conditions of distance training of IT specialists or provision of advanced training courses, for the formation of skills to create automated systems based on microcontrollers, it is effective to transition to the organization of a remote laboratory on robotics, production automation and the Internet of Things. The implementation by participants of the educational process of practical work on programming real physical Arduino boards and observing the results of work with sensors, actuators and data transmission via radio communication and the Internet, which cannot be implemented in simulators.*

Keywords: *distance education, digital competence, robotics, production automation, Internet of Things (IoT), practical work, remote access technology, remote robotics laboratory.*

Стаття надійшла до редакції 06.06.2025 р.

Рецензент: доктор педагогічних наук, професор ***Ребенок В. М.***