

Юскович-Жуковська Валентина Іванівна*ПВНЗ «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука», Рівне*

ORCID 0000-0002-4236-1467

Кот Василь Васильович*Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський фаховий коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України», Рівне*

ORCID 0000-0002-5139-4391

Лотюк Юрій Георгійович*ПВНЗ «Міжнародний економіко-гуманітарний університет імені академіка Степана Дем'янчука», Рівне*

ORCID 0000-0001-6696-5583

ВІДДАЛЕНИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ НАВЧАННЯ СИСТЕМАМ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Анотація. Інтернет речей належить до базових технологій трансформації цифрового суспільства 5.0 та формує інфраструктуру для розумних міст, промислових комплексів, транспорту, енергетики та освітніх платформ. Зростання кількості мережевих сенсорів, мікроконтролерних систем та хмарних сервісів потребує підготовки IT-фахівців, які не лише володіють теорією, а й здатні проєктувати, конфігурувати та віддалено керувати пристроями IoT. У статті представлено розроблений віддалений лабораторний стенд навчального призначення на базі одноплатного комп'ютера Banana Pi M3, створений для індивідуального та командного вивчення принципів побудови систем Інтернету речей.

Архітектура стенда поєднує функції сервера, контролера та навчального середовища, забезпечуючи багатокористувацький доступ до реального обладнання через OpenSSH і можливість спостереження за виконанням експериментів за допомогою веб-камери у режимі реального часу. Використання операційної системи Raspbian гарантує підтримку мережевих протоколів, периферійних інтерфейсів і стабільну роботу при одночасних підключеннях. Підключення утиліти mjpg-streamer забезпечує організацію відеопотоку, що дозволяє студентам контролювати стан сенсорів та актуаторів під час виконання лабораторних завдань.

Показано тестову програму взаємодії з GPIO-портами, яка демонструє можливість дистанційного керування фізичними пристроями без необхідності перебування у лабораторії. Запропонований стенд може бути масштабований під інші SBC-платформи — Raspberry Pi, Orange Pi або Odroid — та використаний для проведення лабораторних, практичних і командних проєктних робіт, спрямованих на формування цифрових компетентностей у галузі IoT.

Ключові слова: віддалений лабораторний стенд, одноплатний комп'ютер Banana Pi, Raspbian, Інтернет речей, командна робота.

REMOTE LABORATORY STAND FOR TRAINING IN INTERNET OF THINGS SYSTEMS

Abstract. The Internet of Things is one of the key enabling technologies for the transformation of digital society 5.0, shaping the technological foundation for smart cities, industrial automation, transport systems, energy infrastructures, and modern educational environments. The rapid increase in networked sensors, microcontroller platforms, and cloud services requires training IT specialists who are not only familiar with theoretical principles, but are also capable of designing, configuring, and remotely operating IoT devices. The article presents a remote educational laboratory stand based on the Banana Pi M3 single-board computer, intended for both individual and team-based learning of Internet of Things system architecture and control.

The proposed stand integrates server, controller, and learning functions, offering multi-user access to real hardware via OpenSSH and enabling real-time visual observation of experiments through a web camera. The application of the Raspbian operating system ensures stable performance, support for networking protocols and peripheral interfaces, and reliable handling of simultaneous user sessions. The use of the mjpg-streamer utility enables real-time video streaming, allowing students to monitor sensor and actuator responses during laboratory activities.

A test program demonstrating GPIO-based remote control validates the possibility of interacting with physical devices without direct access to the laboratory. The stand can be scaled to other single-board platforms — including Raspberry Pi, Orange Pi, and Odroid — and employed for laboratory classes, practical training, and collaborative project work aimed at developing digital competencies in IoT engineering.

Keywords: remote laboratory stand, Banana Pi single-board computer, Raspbian, Internet of Things, teamwork

Постановка проблеми.

Стрімкий розвиток цифрових технологій, поширення концепції Індустрії 4.0 та зростання кількості підключених до мережі пристроїв зумовлюють підвищену увагу до систем Інтернету речей (Internet of Things, IoT).

У сучасній освітній та інженерній практиці зростає інтерес до систем віддалених лабораторій (remote labs) із використанням технологій Internet of Things. Зокрема, такі системи дозволяють студентам працювати з реальними пристроями та середовищами, перебуваючи фізично поза лабораторією, що підвищує гнучкість навчання та розширює доступ до обладнання.

Вивчення принципів побудови, функціонування та керування системами IoT є важливою складовою підготовки фахівців у галузі інформаційних технологій та автоматизації. Опанування IoT-технологіями дозволяє формувати у студентів компетенції, пов'язані з проєктуванням, налаштуванням та віддаленим керуванням інтелектуальними пристроями й мережею елементів IoT. В умовах розвитку дистанційного та змішаного навчання особливої актуальності набуває створення навчальних лабораторних стендів, що забезпечують віддалений доступ до IoT-систем і дозволяють здійснювати студентам керування реальним обладнанням через мережу Інтернет.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В наш час активно досліджується забезпечення віддаленого доступу до спеціалізованого обладнання з Інтернету речей на базі мікроконтролерів. Проблематика розроблення віддалених лабораторій неодноразово розглядалася у наукових дослідженнях. Зокрема у статті Г. Джеваги та К. Яковлева [1] описано методику побудови такої лабораторії на основі мікроконтролерів Arduino, програмного забезпечення AnyDesk і засобів візуального контролю через веб-камеру. Це дозволяє здобувачам освіти віддалено програмувати мікроконтролери, спостерігати за змінами станів сенсорів та актуаторів у реальному часі, а також набувати практичних навичок у роботі з реальним апаратним забезпеченням.

У роботі [2] описано реалізацію лабораторії дистанційного навчання керуванню Інтернет речами, в якій використано мікроконтролери на базі мікросхем STM32, модуль ESP8266 і серверну архітектуру для дистанційного контролю студентських платформ. Використання таких лабораторій суттєво поліпшує виконання завдань студентами в порівнянні з традиційним online-навчанням.

У дослідженні [3] зазначається, що сучасні віддалені лабораторії є важливою частиною цифровізації освітнього процесу для забезпечення доступу здобувачів до фізичних лабораторій з реальним обладнанням під час практичних online-занять.

Запропонований підхід застосування Raspberry Pi та програмного забезпечення віддаленого робочого місця у праці [4] дає змогу студентам ефективно організувати віддалений доступ до лабораторного обладнання з інженерних дисциплін під час дистанційного навчання. Це рішення поєднує простоту реалізації, взаємодію з реальним фізичним обладнанням і низьку вартість порівняно з використанням промислових програмованих логічних контролерів.

У дослідженні [5] наголошується, що для того, щоб надати учасникам дистанційного навчання реалістичний практичний досвід роботи в лабораторії, можна використовувати віддалений доступ до реальної робочої лабораторії.

У роботі [6] розглядається сучасне цифрове середовище на базі штучного інтелекту для керування системою Інтернет речей. Оскільки одноплатні комп'ютери мають обмежені ресурси, тому перед їх впровадженням необхідно проводити бенчмаркінг пристроїв для оцінки їхньої придатності та продуктивності.

Мета і задачі дослідження.

Метою даного дослідження є проєктування та створення віддаленого лабораторного стенда для навчання системам Інтернету речей, який забезпечує можливість віддаленого практичного ознайомлення студентів із сучасними технологіями IoT та принципами їх взаємодії. Окрім індивідуальної роботи з розробленим стендом, основна увага приділяється забезпеченню можливості одночасної командної роботи з лабораторним стендом IoT.

Для досягнення поставленої мети визначено такі основні завдання:

- дослідити функції одноплатного комп'ютера Banana Pi, які можуть використовуватись у сценаріях керування Інтернет речами;
- провести високорівневі бенчмарк-тести для перевірки швидкодії для забезпечення командної роботи зі стендом;
- проаналізувати існуючі підходи до організації навчальних IoT-систем;
- розробити архітектуру апаратної та програмної частин лабораторного стенда;

- реалізувати веб-інтерфейс для віддаленої взаємодії з пристроями IoT;
- провести експериментальну перевірку функціональних можливостей розробленого рішення;
- запропонувати напрямки для подальших досліджень використання розробленого лабораторного стенда IoT.

Результати дослідження.

Відомо, що науково-технічні рішення у сфері віддалених лабораторій на базі IoT дозволяють забезпечити практичну взаємодію студентів з реальною апаратурою у віддаленому режимі і доступні для забезпечення дистанційної освіти. Але, не дивлячись на доступність online-симуляторів, таких як Wokwi, Tinkercad або Proteus, вони не забезпечують повноцінної взаємодії з реальними пристроями та не дозволяють учасникам освітнього процесу спільно працювати з фізичними сенсорами, актуаторами й модулями зв'язку.

Однак реалізація лабораторії на базі ПК з програмним посередником (AnyDesk) передбачає наявність постійно увімкненого комп'ютера, налаштування середовища Arduino IDE та ручне адміністрування доступу до кожного стенду. Це обмежує масштабованість і не дозволяє забезпечити одночасну роботу кількох команд користувачів у спільному середовищі.

З огляду на це, авторами запропоновано альтернативний підхід до побудови віддаленої лабораторії — віддаленого стенда із використанням одноплатного комп'ютера Banana Pi як автономного сервера і контролера, який одночасно забезпечує обчислювальні процеси, комунікацію та керування апаратними модулями. Така архітектура дозволяє студентам отримувати доступ безпосередньо через OpenSSH або веб-інтерфейс, взаємодіяти з GPIO-портами в реальному часі, спостерігати результати експериментів через веб-камеру та працювати у командному режимі над спільними лабораторними завданнями.

Використання одноплатних комп'ютерів таких, як Banana Pi M3, Raspberry Pi, Orange Pi тощо створює передумови для розгортання компактних, енергоефективних і багатокористувацьких стендів, які не потребують зовнішнього ПК та постійного адміністрування. Такий підхід відкриває можливість організації командного вивчення IoT, у якому кілька студентів одночасно аналізують дані сенсорів, керують пристроями та дискутують про результати через інтегровані канали комунікації.

Технічна реалізація створеного віддаленого лабораторного стенду ґрунтується на використанні одноплатного комп'ютера, який виконує роль центрального обчислювального та керуючого вузла системи. У дослідженні застосовано плату Banana Pi M3, що оснащена восьмиядерним процесором Allwinner A83T, двома гігабайтами оперативної пам'яті DDR3 та повноцінним набором інтерфейсів для підключення зовнішніх пристроїв — GPIO, USB, UART, I²C, SPI, CSI, HDMI та Ethernet.

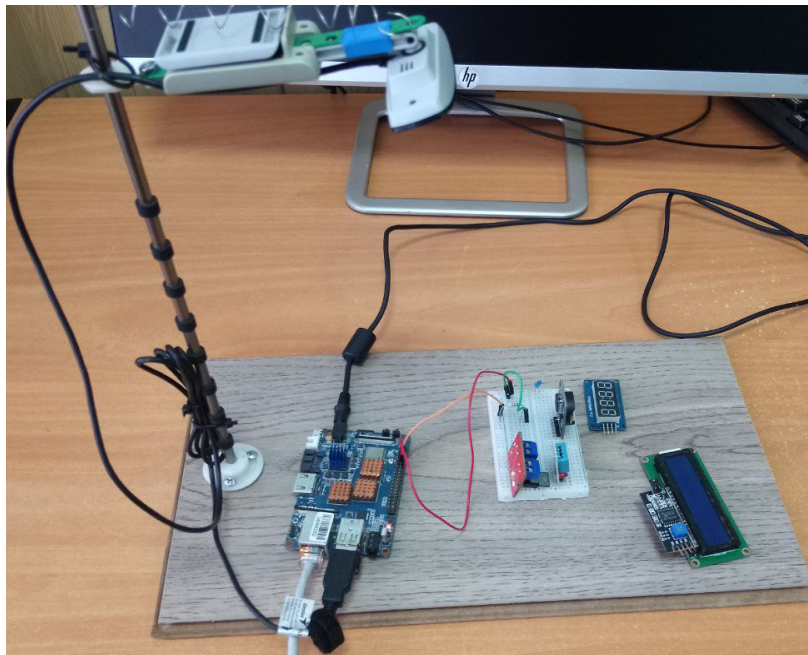


Рис. 1. Віддалений лабораторний стенд

Фізично навчальний стенд являє собою компактну навчальну платформу, над якою закріплено штангу з USB-камерою для візуального спостереження за роботою реального обладнання. На самій

платформі розташовано одноплатний комп'ютер, безпашну макетну плату та набір периферійних пристроїв, необхідних для виконання практичних завдань (рис.1). Під керівництвом викладача студенти здійснюють комутацію потрібних сенсорів і виконавчих елементів до одноплатного комп'ютера, після чого переходять до їхнього програмування у віддаленому режимі в межах часу, відведеного на практичне заняття або під час виконання самостійної роботи. Такий підхід забезпечує гнучку організацію навчального процесу, поєднуючи теоретичні знання з практичними навичками роботи з реальними апаратними системами.

Операційна система Raspbian є модифікованою версією Debian GNU/Linux 8, вона адаптована для ARM-процесорів і сумісна з архітектурою Banana Pi та Raspberry Pi. Вона забезпечує стабільну роботу системи, підтримку GPIO, USB, мережових і відеоінтерфейсів, а також доступ до стандартних пакетів Debian через систему керування APT. Інсталяція образу операційної системи виконується на карту пам'яті microSD об'ємом не менше 8 ГБ. Для запису використовується кросплатформна утиліта Balena Etcher або аналогічна їй.

Організація віддаленого доступу до лабораторного стенду реалізується за допомогою служби OpenSSH, яка забезпечує одночасне підключення кількох користувачів у захищеному режимі. Для активації віддаленого доступу в системі запускається демон sshd, що відповідає за приймання вхідних з'єднань.

Адміністратор створює кожному студенту власний обліковий запис, у якому розміщено навчальні матеріали, приклади програм і скрипти для виконання лабораторних завдань. Така структура забезпечує багатокористувацьку роботу з чітким розмежуванням прав доступу, дозволяє зберігати індивідуальні результати та водночас спільно працювати в команді над програмним кодом (рис. 2). На рис. 2 зображено Інтерфейс віддаленого доступу студента за протоколом OpenSSH.

```
i — pi@bpi-iot-ros-ai: ~ — ssh pi@192.168.1.80 — 89x26
Last login: Fri Oct 17 09:37:17 on console
[i@MacBook-Pro-I ~ % ssh pi@192.168.1.80
[pi@192.168.1.80's password:

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Thu Oct 16 23:34:48 2025
pi@bpi-iot-ros-ai:~ $
```

Рис. 2. Інтерфейс доступу до віддаленого стенду за протоколом OpenSSH

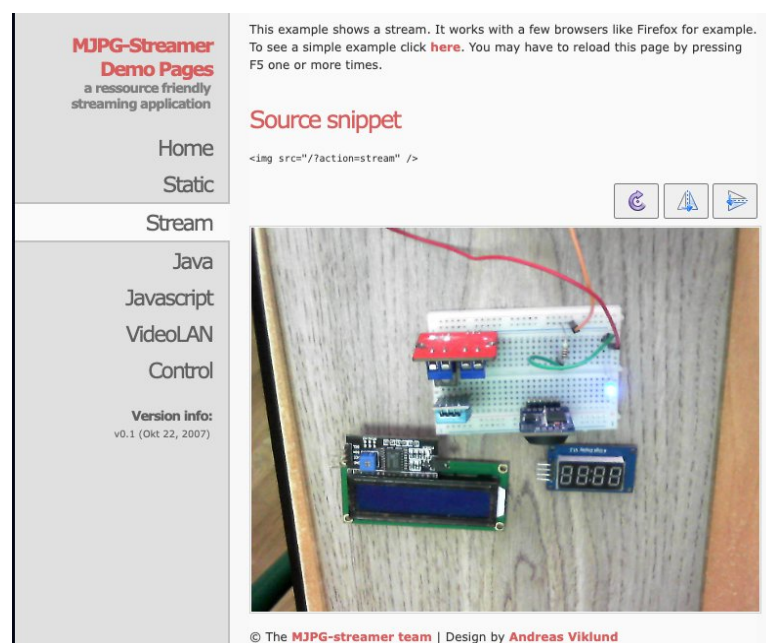
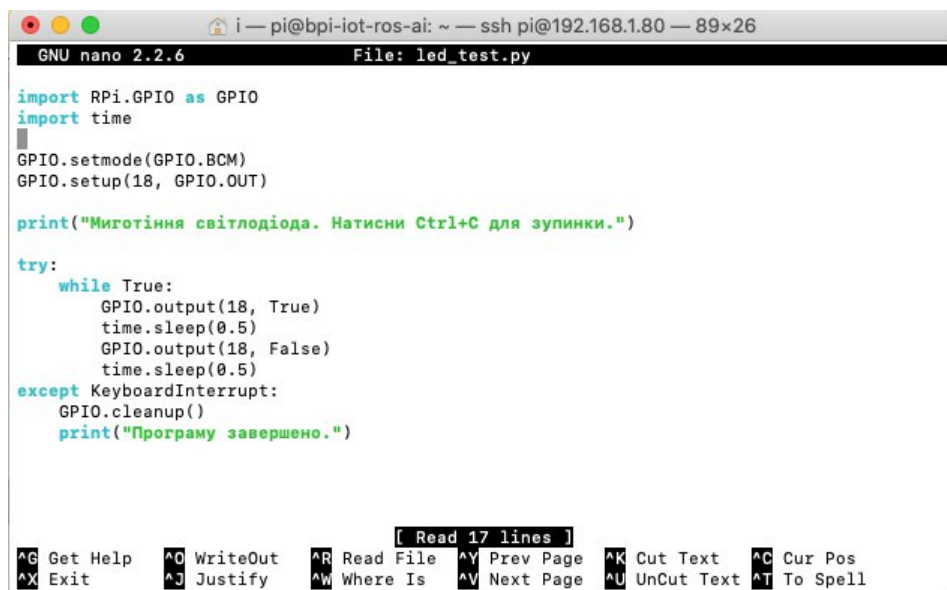


Рис. 3. Фрагмент відеопотоку, який доступний віддаленому користувачу

Для візуального спостереження за роботою лабораторного обладнання використовується стандартна USB-камера, сумісна зі специфікацією UVC (USB Video Class). Трансляція зображення у локальну мережу здійснюється за допомогою mjpg-streamer, що забезпечує передачу відеопотоку у форматі MJPEG через HTTP. Відеопотік активується запуском команди `mjpg_streamer -i "input_uvc.so -r 640x480 -f 10" -o "output_http.so -w /usr/local/www -p 8081"`. У результаті камера починає транслювати зображення, яке стає доступним у браузері. Це дає змогу студентам спостерігати перебіг експерименту в реальному часі (рис. 3).

Уся периферія лабораторного стенду підключена безпосередньо до GPIO-портів плати Banana Pi M3, що забезпечує повний контроль із програмного середовища. 40-контактний роз'єм GPIO повністю сумісний за розташуванням виводів із Raspberry Pi, тому для демонстраційних експериментів можна використовувати стандартні схеми підключення.

Продемонструємо роботу віддаленого стенда. Для створення файлу програми використовуємо текстовий редактор Nano, який відкривається командою `nano led_test.py`. Після відкриття вікна редактора Nano у нього в режимі online заноситься підготовлений код програми (рис. 4.)



```
GNU nano 2.2.6 File: led_test.py

import RPi.GPIO as GPIO
import time

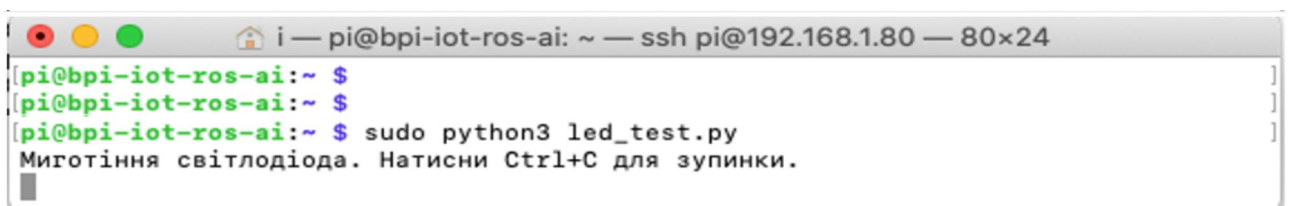
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(18, GPIO.OUT)

print("Миготіння світлодіода. Натисни Ctrl+C для зупинки.")

try:
    while True:
        GPIO.output(18, True)
        time.sleep(0.5)
        GPIO.output(18, False)
        time.sleep(0.5)
except KeyboardInterrupt:
    GPIO.cleanup()
    print("Програму завершено.")
```

Рис. 4. Редагування програмного коду керування пристроями IoT в редакторі Nano

Після збереження файлу виконання програми здійснюється командою `sudo python3 led_test.py` (рис. 5).



```
pi@bpi-iot-ros-ai:~$
pi@bpi-iot-ros-ai:~$
pi@bpi-iot-ros-ai:~$ sudo python3 led_test.py
Миготіння світлодіода. Натисни Ctrl+C для зупинки.
```

Рис. 5. Запуск на виконання програми керування IoT

Результат виконання програми можна спостерігати у браузері у створеному відеопотоці, де відображається процес роботи IoT-пристроїв у реальному часі (рис. 3).

Слід зазначити, що у разі використання іншого одноплатного комп'ютера, наприклад Raspberry Pi, Orange Pi або Odroid, структура підключення та принцип роботи залишаються аналогічними. Більшість таких пристроїв мають 40-контактний роз'єм GPIO зі схожими логічними рівнями (3,3 В), тому апаратна сумісність забезпечується без додаткових змін.

Висновки і перспективи подальших досліджень

У результаті проведеного дослідження доведено ефективність використання одноплатних комп'ютерів як базової платформи для побудови віддаленого лабораторного стенду, орієнтованого на командне вивчення технологій Інтернету речей. Реалізована архітектура дозволяє об'єднати в одному

пристрої функції сервера, контролера та навчального середовища, що забезпечує повноцінну взаємодію студентів із реальними апаратними компонентами у віддаленому режимі. Застосування операційної системи на базі Raspbian та інших Linux-подібних OS забезпечує стабільну роботу системи, підтримку мережних протоколів, безпечний багатокористувацький доступ через OpenSSH і можливість візуального моніторингу експериментів за допомогою вебкамери.

Використання GPIO-портів для підключення всієї периферії, дало змогу створити компактну й наочну лабораторну модель, придатну для виконання типових завдань з робототехніки, автоматизації та IoT. Студенти мають змогу підключатися до лабораторного стенду online, створювати власний код програми та запускати його на реальному обладнанні, спостерігати результати через потокове відео та колективно аналізувати поведінку системи.

Для створення віддаленого лабораторного стенду можна використовувати не лише плату Banana Pi M3, а й інші одноплатні комп'ютери, наприклад, такі як Raspberry Pi, Orange Pi чи Odroid, із мінімальними змінами в конфігурації операційної системи та бібліотек доступу до GPIO. Це робить розроблений лабораторний стенд універсальним, масштабованим та придатним для адаптації в різних умовах використання.

Розроблений віддалений лабораторний стенд наочно поєднує теоретичну складову програмування мікроконтролерів та практичну взаємодію з фізичними пристроями, що сприяє розвитку цифрової компетентності майбутніх ІТ-фахівців.

Майбутні дослідження можуть бути зосереджені на розробці комплексної віддаленої лабораторії IoT для керування платформами та системами Інтернет речей.

Список використаної літератури

1. Джевага Г., Яковлев К. Створення віддаленої лабораторії для виконання практичних робіт з робототехніки, автоматизації виробництва та IoT // *Актуальні тенденції розвитку освіти і педагогіки в Україні: теоретичні засади та практичні виміри*. 2025. Вісник № 33 (189). Серія: Педагогічні науки. С. 33–40. DOI: 10.58407/visnik.253305
2. Jacko, P., Bereš, M., Kováčová, I., Molnár, J., Vince, T., Dziak, J., Fecko, B., Gans, Š., & Kováč, D. (2022). Remote IoT Education Laboratory for Microcontrollers Based on the STM32 Chips. *Sensors*, 22(4), 1440. <https://doi.org/10.3390/s22041440>
3. Rejón, C., Martín, S., & Robles-Gómez, A. (2024). Easy Development of Industry 4.0 Remote Labs. *Electronics*, 13(8), 1508. <https://doi.org/10.3390/electronics13081508>
4. Посашков, О., & Цимбал, О. (2024). Розроблення архітектури системи віддаленого доступу до навчального лабораторного обладнання з використанням автоматизованих рішень. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*, (3 (29), 64–75. <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2024.3.064>
5. Kalashnikov, Alexander, Zhang, Hongwei, Jennings, Jo And Abramriuk, Misko-Marcus (2017). Remote laboratory: using Internet-of-Things (IoT) for E-learning. In: *Comparison of the responsiveness of ultrasonic oscillating temperature sensors (UOTSes) and conventional sensors to temperature inflection points*. Springer, 43-46. [Book Section] <http://aist.sumdu.edu.ua/main/>
6. Pedro Miguel Sánchez Sánchez, José María Jorquera Valero, Alberto Huertas Celdrán, G r me Bovet, Manuel Gil Pérez, Gregorio Martínez Pérez. (2022). LwHBench: A low-level hardware component benchmark and dataset for Single Board Computers LwHBench: A low-level hardware component benchmark and dataset for Single Board Computers. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100764>.
7. V. Zhebka, et al., Methods for predicting failures in a smart home, in: Digital Economy Concepts and Technologies Workshop, vol. 3665, 2024, 70–78.
8. Довженко, Н., Мазур, Н., Костюк, Ю., & Рзаєва, С. (2024). Інтеграція IoT та штучного інтелекту в інтелектуальні транспортні системи. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*, 2(26), 430–444. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.26.708>
9. O. Bahatskyi, V. Bahatskyi, V. Sokolov, Smart Home Subsystem for Calculating the Quality of Public Utilities, in: Workshop on Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems, vol. 3421 (2023) 168–173.
10. V. Zhebka, et al., Methodology for Predicting Failures in a Smart Home based on Machine Learning Methods, in: Workshop on Cybersecurity Providing in Information and Telecommunication Systems, CPITS, vol. 3654 (2024) 322–332.