

О. ПОСАШКОВ, О. ЦИМБАЛ

РОЗРОБЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО ДОСТУПУ ДО НАВЧАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ АВТОМАТИЗОВАНИХ РІШЕНЬ

Предметом дослідження є засоби віддаленого доступу до навчального обладнання на базі *Raspberry Pi* та програмне забезпечення віддаленого робочого столу. **Мета роботи** – аналіз засобів віддаленого керування обладнанням і розроблення архітектури системи віддаленого доступу студентів до лабораторного обладнання для реалізації дистанційного навчання. У статті розв’язуються конкретні **завдання**: проаналізовано галузі, у яких застосування засобів дистанційного доступу є найбільш критичним, зокрема особливе місце посідає освітня галузь; описано наявні методи організації віддаленого доступу до навчального обладнання, виокремлено переваги й недоліки кожного з методів; обґрунтовано вибір мінікомп’ютера *Raspberry Pi* як апаратної платформи для побудови систем дистанційного доступу; запропоновано архітектуру комплексу технічних рішень на базі *Raspberry Pi* для дистанційного управління освітнім лабораторним обладнанням; описано реалізацію прикладної системи моніторингу температури та вологості з використанням розробленого підходу. **Методи дослідження** передбачають порівняльний аналіз наявних технологій дистанційного керування, прототипування та експериментальне тестування розробленої системи. Досягнуто таких **результатів**: обґрунтовано доцільність використання підходу віддаленого робочого столу та програмного забезпечення *AnyDesk* для організації доступу; розроблено систему на базі мінікомп’ютера *Raspberry Pi* для управління обладнанням та візуалізації даних; реалізовано прикладну систему моніторингу температури й вологості з використанням *Raspberry Pi* та *AnyDesk*. **Висновки**. Запропонований підхід застосування *Raspberry Pi* та програмного забезпечення віддаленого робочого столу 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 ПЛК.

Ключові слова: *Raspberry Pi*; віддалений доступ; керування обладнанням; графічний інтерфейс користувача.

Вступ

У сучасному світі, що стрімко розвивається, дистанційне керування обладнанням стає все більш актуальним не тільки в освітній сфері, але й у промисловості, медицині, енергетиці та багатьох інших галузях. Ця тенденція зумовлена низкою факторів, зокрема глобалізацією, необхідністю підвищення ефективності, безпеки та гнучкості робочих процесів.

В освітньому контексті дистанційне управління навчальним лабораторним обладнанням дає змогу студентам отримати практичний досвід незалежно від їх фізичного розташування. Це особливо важливо в умовах зростання популярності дистанційного навчання та необхідності забезпечення безперервності освітнього процесу в умовах глобальних сучасних викликів, таких як пандемія COVID-19 або війни.

У зв’язку з воєнним станом в Україні, а раніше через пандемією COVID-19 виникла необхідність соціального дистанціювання. Значна кількість навчальних закладів, підприємств, організацій

та установ були вимушені швидко перейти на дистанційну роботу. У цьому разі застосовуються відомі сервіси віддаленого зв’язку, зокрема *Skype*, *Google Meet*, *Zoom*, *Microsoft Teams* тощо. Проте це не розв’язує проблеми доступу до фізичного обладнання, наприклад, для виконання практичних і лабораторних робіт студентами інженерних, медичних, фізичних, хімічних та інших спеціальностей в університеті.

Отже, актуальним завданням є розроблення гнучких та економічних рішень для віддаленого доступу студентів до лабораторного обладнання. Це дасть змогу уникнути переривання практичної підготовки в умовах дистанційного навчання, наприклад, під час карантинних обмежень.

Аналіз публікацій та постановка завдання

Наявні рішення для дистанційного доступу до лабораторного обладнання мають різні підходи, для кожного з яких властиві переваги та недоліки.

Системи віддалених робочих місць забезпечують роботу з реальним обладнанням, але для безпосереднього

керування пристроями необхідно створити додаткову систему, основу на програмованих логічних контролерах, мікроконтролерах тощо [1].

Наприклад, у роботі [2] описано систему з ПЛК та *Arduino* для керування макетами конвеєра й сортувальної машини. Користувач через *TeamViewer* під'єднується до ПК в лабораторії та запускає *GUI*-застосунок для взаємодії з обладнанням.

Однак там використаний дорогий промисловий ПЛК. Це збільшує вартість рішення порівняно з відкритими платформами на кшталт *Raspberry Pi*, які мають подібний функціонал.

У промисловому секторі віддалене управління відіграє ключову роль у концепції *Industry 4.0*. Це допомагає оптимізувати виробничі процеси, знизити витрати на технічне обслуговування обладнання та підвищити безпеку праці. Наприклад, у нафтогазовій галузі дистанційне керування дає змогу контролювати видобуток на віддалених родовищах, мінімізувати необхідність фізичної присутності персоналу в потенційно небезпечних умовах [3].

В енергетичному секторі дистанційне керування має вирішальне значення для ефективного функціонування систем розумних енергосистем. Це допомагає швидко реагувати на зміни попиту та пропозиції електроенергії, водночас забезпечувати стабільність роботи енергосистеми [4].

У медицині технології дистанційного керування відкривають нові можливості для телемедицини та робототехнічної хірургії. Лікарі можуть виконувати складні операції, експлуатуючи роботизовані системи на відстані, що особливо важливо в умовах дефіциту фахівців у віддалених регіонах [5].

Отже, метою статті є аналіз засобів віддаленого керування обладнанням та розроблення архітектури системи віддаленого доступу студентів до лабораторного обладнання для реалізації дистанційного навчання. Досягнення мети дасть змогу знизити вартість і підвищити гнучкість систем дистанційного доступу.

У статті проаналізовано наявні методи організації віддаленого доступу до навчального обладнання, визначено переваги й недоліки кожного з методів; обґрунтовано вибір мінікомп'ютера *Raspberry Pi* як апаратної платформи для побудови систем дистанційного доступу; описано розроблення комплексу технічних рішень на базі *Raspberry Pi* для дистанційного управління освітнім лабораторним обладнанням; запропоновано реалізацію прикладної системи моніторингу температури та вологості з використанням розробленого підходу.

Аналіз методів і засобів організації віддаленого доступу до навчального обладнання

Розроблення технологій дистанційного керування пройшло тривалий шлях – від простих систем дистанційного керування до складних інтерактивних платформ із застосуванням технологій штучного інтелекту та *IoT*. Історично перші спроби організувати віддалений доступ до обладнання зроблені ще впродовж 1990-х рр., але обмежена пропускна здатність мереж і відсутність відповідного програмного забезпечення значно обмежували можливості таких систем.

З розвитком технологій, особливо з появою концепції *Industry 4.0* і *IoT*, можливості дистанційного керування значно розширилися. Сучасні системи дають змогу не тільки контролювати обладнання на відстані, але й отримувати інформацію в режимі реального часу, проводити прогнозу аналітику й оптимізувати процеси за допомогою машинного навчання.

Важливо зауважити, що впровадження систем дистанційного керування потребує комплексного підходу, який бере до уваги не тільки технічні аспекти, але й людський фактор. Необхідно розробити нові методи навчання персоналу, забезпечити високий рівень кібербезпеки та розв'язати етичні питання, пов'язані з автоматизацією та дистанційним управлінням.

Існує кілька основних способів організації віддаленого доступу для керування навчальним обладнанням. Розглянемо їх.

1. Віртуальні лабораторії на основі імітаційного моделювання. Цей підхід ґрунтується на використанні програмного забезпечення для імітації роботи реального обладнання.

Наприклад, за допомогою *MATLAB* можна побудувати модель електричного ланцюга, задати параметри й дослідити його віртуальну поведінку [6].

Переваги віртуальних лабораторій:

- не потребують придбання дорогого фізичного обладнання;
 - доступні цілодобово для віддалених користувачів;
 - можливість моделювання складних процесів.
- Недоліки:
- відсутність практичних навичок роботи з реальною технікою;
 - складно коректно відтворити всі аспекти фізичних процесів.

2. Веборієнтовані дистанційні лабораторії. Тут фізичне обладнання розташоване у віддаленій лабораторії. Користувач за допомогою веббраузера може завдати параметри й проаналізувати показники з датчиків після проведення реального експерименту [7].

Наприклад, задати склад речовин та умови для проведення хімічної реакції. Або обрати режим роботи й параметри сигналів для електричного ланцюга. Такі системи використовують, наприклад, віртуальні лабораторії НГУУ "КПІ" та університету Нортвестерн, США.

Переваги веборієнтованих лабораторій:

- доступ до реального обладнання;
- можливість віддаленої спільної роботи користувачів;
- гнучке програмування експериментів.

Недоліки:

- потребують подвійного комплексу обладнання;
- складне розроблення серверної частини та інтерфейсів;
- потребують високошвидкісне стабільне інтернет-з'єднання.

3. Системи віддаленого робочого столу. Цей підхід передбачає використання спеціального ПЗ для віддаленого з'єднання з робочим столом комп'ютера, до якого під'єднане навчальне обладнання.

Прикладами таких систем є:

- система дистанційного доступу до лабораторних комплексів КПІ на базі програмного забезпечення *UltraVNC*;

- рішення компанії *ADLE Laboratory* для віддаленого управління фізичними моделями через інтерфейс *LabView*;

- система віртуальних лабораторних практикумів Вінницького національного технічного університету на платформі *AnyDesk*.

Переваги підходу віддаленого робочого столу:

- простота організації з'єднання через наявне ПЗ;
- робота з реальним обладнанням;
- не потребує додаткових комплектів устаткування.

Недоліки:

- залежність від якості мережного з'єднання;
- питання безпеки даних та доступу.

Отже, підхід із застосуванням технологій віддаленого робочого столу є оптимальним рішенням для організації доступу студентів до лабораторного обладнання.

Основними елементами такої системи є [8]:

- апаратно-програмний комплекс керування обладнанням;
- програмне забезпечення організації віддаленого робочого столу;
- комп'ютер у лабораторії, до якого все під'єднано;
- комп'ютер користувача з клієнтським ПЗ та доступом до мережі Інтернет.

Серед програмних рішень для віддаленого доступу найбільш поширеними є *VNC (Virtual Network Computing)* та *RDP (Remote Desktop Protocol)*. Вони дають змогу під'єднатися до робочого столу віддаленого комп'ютера та керувати ним.

Переваги цих технологій:

- кросплатформність: *VNC*- і *RDP*-клієнти та сервери є для всіх поширених ОС (*Windows, Linux, Android, iOS*);
- можливість передачі відео та звуку в режимі реального часу;
- невисокі системні вимоги та швидке з'єднання;
- підтримка автентифікації та шифрування трафіку.

Недоліки *VNC* та *RDP*:

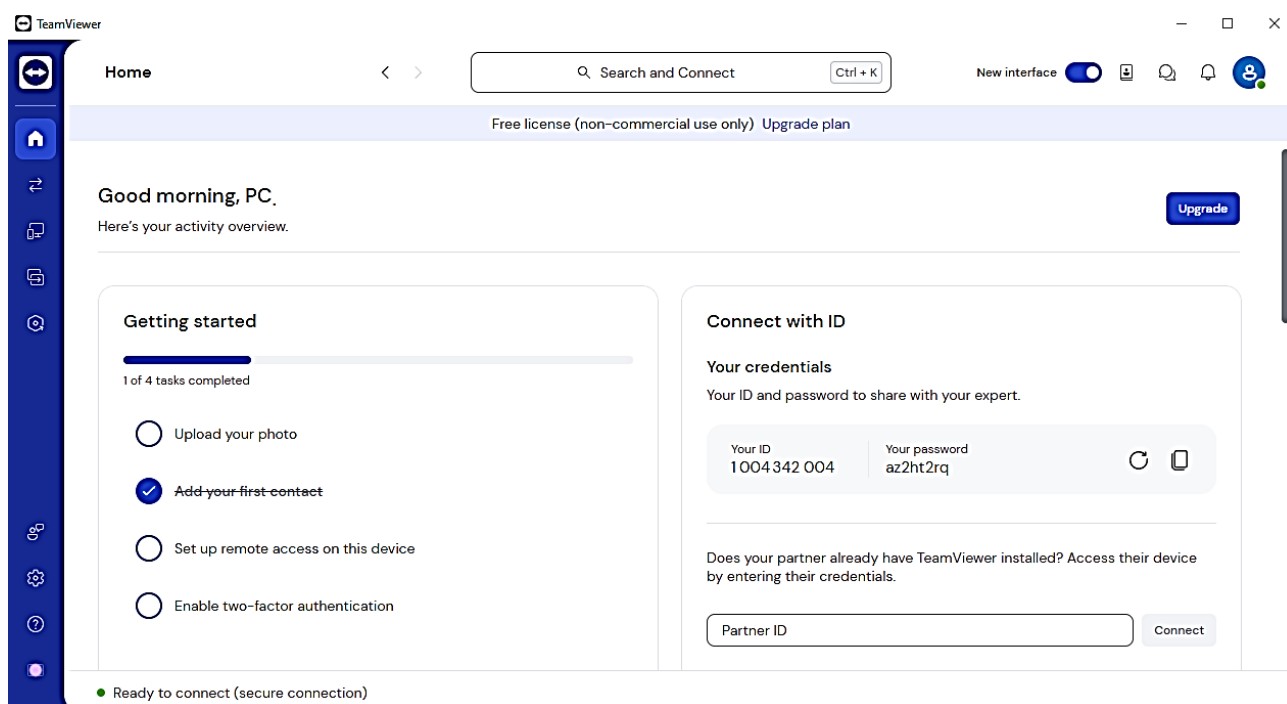
- складніше налаштування, ніж у спеціалізованих програмах на кшталт *TeamViewer*;
- для якісного відео потрібне швидке з'єднання та ресурси;
- *RDP* потребує активації на сервері, унеможливує багатокористувацький режим.

Альтернативою *VNC* та *RDP* є спеціалізовані хмарні сервіси віддаленого доступу. Вони пропонують такі переваги:

- єдиний ID та пароль для швидкого з'єднання;
- вбудовані функції передачі файлів, відеоконференцій, чату;
- можливість одночасних під'єднань від декількох користувачів;
- розширені функції безпеки та контролю доступу;
- не вимагають налаштування мережних параметрів чи маршрутизатора.

Розглянемо популярні програмні рішення для організації віддаленого доступу до робочого столу комп'ютерів.

1. *TeamViewer*. Кросплатформний застосунок, що дає змогу віддалено під'єднуватися до ПК та серверів, передавати файли, організувати відеоконференції. За допомогою *TeamViewer* можна отримати повний контроль над віддаленим комп'ютером (рис. 1).

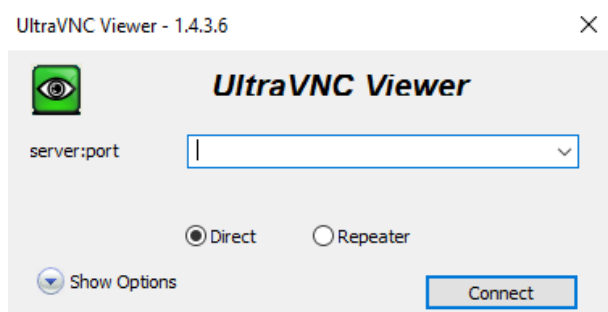
Рис. 1. Вікно *TeamViewer*

Основні функції та можливості *TeamViewer*:

- віддалене управління робочим столом;
- передача файлів будь-якого розміру;
- відео та голосовий зв'язок у режимі реального часу;
- організація онлайн-зустрічей та вебінарів.

Отже, *TeamViewer* надає широкий спектр функцій для віддаленої роботи й може застосовуватися, зокрема, для організації доступу до лабораторного обладнання.

2. *UltraVNC*. Безкоштовне рішення з відкритим вихідним кодом для віддаленого адміністрування та доступу до робочого столу ОС *Windows*. *UltraVNC* використовує протокол VNC, що допомагає передавати відео та аудіо в режимі реального часу (рис. 2).

Рис. 2. Вікно *UltraVNC*

Особливості *UltraVNC*:

- підтримка якісної передачі екрана з можливістю масштабування;
- автентифікація користувачів і шифрування трафіку;
- дзеркальний режим – одночасне управління з двох комп'ютерів;
- плагіни для розширення функціональності;
- керування відеопотоком з вебкамер.

UltraVNC широко застосовується для надання технічної підтримки віддаленим користувачам та організації дистанційного навчання, зокрема доступу до лабораторних установок.

3. *AnyDesk*. Швидкісний кросплатформний застосунок для віддаленого адміністрування та підтримки, що останнім часом набуває все більшої популярності (рис. 3).

Ключові характеристики *AnyDesk*:

- висока швидкість передачі зображення зі стисненням;
- мінімальне споживання інтернет-трафіку;
- вбудована система адресної книги клієнтів;
- передача файлів і текстових повідомлень;
- захищене з'єднання за допомогою *TLS 1.2* та *RSA 2048*.

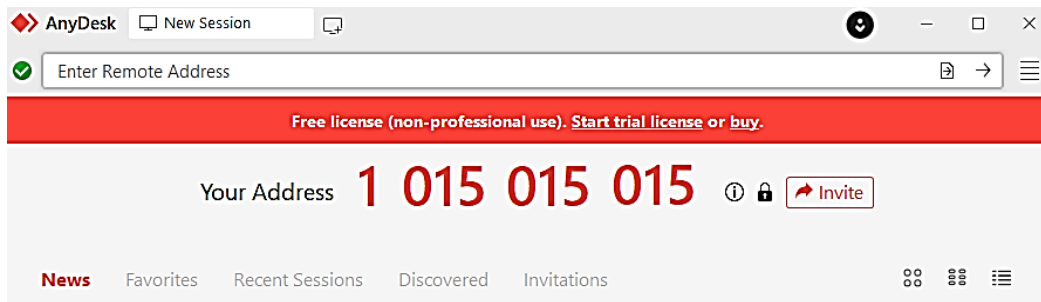


Рис. 3. Вікно AnyDesk

Основні напрями застосування AnyDesk:

- технічна підтримка та розв’язання проблем комп’ютерів і мереж користувачів;
- адміністрування та моніторинг серверів і робочих станцій;
- віддалена співпраця та обмін даними між пристроями.

Застосунок AnyDesk ефективний для організації віддаленого доступу до фізичного обладнання, зокрема навчального.

4. *Ammyu Admin*. Пропріетарне рішення для віддаленого адміністрування та доступу до робочого столу, що використовує власний протокол передачі інформації (рис. 4).

Ключові характеристики *Ammyu Admin*:

- максимальна швидкість та якість передачі зображення та звуку;
- високий рівень стиснення трафіку – до 90%;
- можливість одночасних під’єднань кількох користувачів;
- функції чату та аудіо- та відеозв’язку;
- підтримка різних пристроїв введення на віддаленому комп’ютері;

Таблиця 1. Порівняльна характеристика розглянутих рішень

Характеристика / ПЗ	<i>TeamViewer</i>	<i>UltraVNC</i>	<i>AnyDesk</i>	<i>Ammyu Admin</i>
Швидкість роботи	висока	середня	дуже висока	надвисока
Якість зображення	висока	середня	висока	надвисока
Багатоплатформність	так	ні	так	так
Вартість	безкоштовна та платна версії	безкоштовна	безкоштовна та платна версії	безкоштовна та платна версії
Безпека	висока	середня	висока	середня
Підтримка	платна	спільнота	безкоштовна і платна	платна

Для навчальних закладів краще підходить *TeamViewer* або *AnyDesk* завдяки простоті використання, кросплатформності та наявності безкоштовних версій.

- низькі системні вимоги.



Рис. 4. Вікно Ammyu Admin

Ammyu Admin широко застосовується ІТ-фахівцями та службами техпідтримки для віддаленого адміністрування, налаштування та пошуку несправностей комп’ютерів і мереж користувачів.

Також це ПЗ можна використовувати для надання віддаленого доступу до фізичного обладнання, приладів та установок, зокрема в навчальних цілях.

Отже, залежно від конкретних вимог будь-яке з розглянутих рішень може бути ефективним для організації віддаленого доступу до обладнання та установок.

Опис апаратно-програмного комплексу дистанційного керування обладнанням

Щодо апаратно-програмного комплексу керування обладнанням можливе кілька основних варіантів реалізації.

1. Використання програмованого логічного контролера (ПЛК) – пристрою на базі мікропроцесора для керування виробничим устаткуванням. Він має модулі введення / виведення для зв'язку з датчиками та виконавчими пристроями, а також засоби під'єднання до мережі та інших систем [9].

ПЛК містить такі ключові компоненти:

- центральний процесор (*CPU*);
- пам'ять для зберігання програм і даних;
- модулі введення / виведення для під'єднання датчиків і виконавчих механізмів;
- комунікаційні інтерфейси для зв'язку з іншими пристроями та системами [10].

Програмування ПЛК зазвичай виконується за допомогою спеціалізованих мов, визначених стандартом *IEC 61131-3*, таких як:

- структурна схема (*LD*);
- функціональна блок-схема (*FBD*);
- структурований текст (*ST*);
- список інструкцій (*IL*);
- послідовна функціональна схема (*SFC*).

Основною перевагою ПЛК є їх значна надійність у промислових обставинах. ПЛК призначені для роботи в жорстких умовах з високим рівнем електромагнітних перешкод, вібрації та екстремальних температур. Вони також мають вбудовані функції діагностики та захисту від несправностей [11].

Однак ПЛК досить дорогі й мають фіксований набір функцій. Вартість ПЛК може варіюватися від декількох сотень до десятків тисяч доларів залежно від потужності та функціональності. Крім того, розширення функціональності ПЛК часто потребує придбання додаткових модулів або навіть заміни всього пристрою.

Незважаючи на ці обмеження, ПЛК залишаються популярним вибором для багатьох промислових застосувань завдяки своїй надійності, довговічності та спеціалізованому характеру. Вони широко використовуються в таких галузях, як автомобільна, нафтогазова промисловість, харчова та багато інших [12].

2. Використання платформи *Arduino* чи мікрокомп'ютера *Raspberry Pi* з модулями введення / виведення. *Arduino* – популярна *open-source*-платформа для побудови систем автоматки та робототехніки. Вона проста в застосуванні та не дорога. *Raspberry Pi* – це фактично повноцінний мініатюрний комп'ютер, на якому може виконуватися будь-яке програмне забезпечення під управлінням ОС *Linux* [13].

Такі рішення надають високу гнучкість та є зручними для навчального процесу.

Для реалізації системи віддаленого доступу до навчального обладнання найбільш перспективним є використання саме платформ на кшталт *Arduino* чи *Raspberry Pi*.

Їх переваги порівняно з ПЛК [14]:

- низька вартість; *Arduino Uno* коштує менше ніж 10\$, *Raspberry Pi* – від 35\$ за модель 3B+, а вартість промислових ПЛК починається від сотень доларів;
- відкритість і гнучкість; на відміну від ПЛК, для *Arduino* чи *Raspberry Pi* можна розробляти будь-які алгоритми керування, реалізовувати збір і оброблення показників із датчиків;
- спрощене прототипування систем автоматки; платформи *Arduino* і *Raspberry Pi* дають змогу швидко й дешево створювати дослідні зразки таких систем;
- зручність для навчання; програмування мікроконтролерів і мінікомп'ютерів розвиває цінні практичні навички з електроніки, мережних технологій, розроблення ПЗ.

Отже, застосування *Arduino* або *Raspberry Pi* є оптимальним рішенням для побудови апаратно-програмного комплексу керування обладнанням у складі системи його віддаленого доступу.

Докладніше розглянемо можливості платформи *Raspberry Pi* для побудови систем керування обладнанням.

Raspberry Pi – це одноплатний мініатюрний комп'ютер розміром з кредитну картку. Він містить всі ключові компоненти ПК:

- процесор *ARM 1,2–1,5 ГГц* (моделі 3B/4B);
- від 1 до 8 Гб оперативної пам'яті;
- слот для мікро-SD-карти як накопичувача;
- інтерфейси: *USB, Ethernet, WiFi, Bluetooth, HDMI* тощо;
- 40 *GPIO* пінів для під'єднання зовнішніх пристроїв.

На *Raspberry Pi* може працювати операційна система *Linux* та виконуватися програми мовами *Python, Java, C/C++, JavaScript* та багатьма іншими [15].

Тому ця платформа дає змогу реалізувати:

- збір і оброблення інформації з різноманітних датчиків;
- генерацію керуючих сигналів та управління виконавчими пристроями;
- візуалізацію процесів і створення інтерфейсів користувача;

– мережну взаємодію, передачу даних та медіапотоків;

– інтеграцію в хмарні та мобільні застосунки.

Отже, *Raspberry Pi* є повноцінним комп'ютером у мініатюрному виконанні за дуже привабливою ціною (від 35\$ за модель 3B+) [16].

Ця платформа активно використовується для створення Інтернету речей, розумних пристроїв, мобільних роботів тощо. Зокрема, на базі *Raspberry Pi* реалізовано такі цікаві проекти:

– метеостанція з відтворенням показників у реальному часі;

– безпілотний автомобіль із функцією автономної навігації;

– портативний ігровий *emulator* класичних відеоігор;

– музичний центр із підтримкою голосового управління;

– система розпізнавання образів на *Python* з використанням *OpenCV*.

З огляду на гнучкі можливості та активну підтримку з боку розробників *open-source*-спільноти, *Raspberry Pi* є ідеальною платформою для побудови системи віддаленого доступу до навчального обладнання. Це дасть змогу ефективно та з мінімальними витратами реалізувати необхідні функції збору інформації, керування пристроями, візуалізації та зв'язку.

Крім вбудованої периферії, *Raspberry Pi* уможливорює під'єднання зовнішніх модулів для розширення функціональності. Зокрема актуальними є такі додаткові пристрої:

– *GPIO Extension Board* – розширює кількість портів введення / виведення загального призначення для під'єднання різноманітних датчиків і виконавчих механізмів;

– *Sense HAT* – містить датчики температури, вологості, атмосферного тиску; акселерометр, магнітометр, гіроскоп; світлодіодну матрицю 8x8, може застосовуватися в освітніх проектах з метеорології, астрономії, геології та інших галузей наук;

– *Camera Module* – дає змогу під'єднати цифрову камеру високої чіткості для захоплення фото та відео, корисно в задачах комп'ютерного зору та наочної візуалізації даних;

– *LCD Display* – алфавітно-цифровий екран для текстового відтворення інформації та створення інтерфейсу користувача.

Застосування таких додаткових модулів значно розширює функціонал і сфери використання *Raspberry Pi*, зокрема в навчальних та наукових цілях.

Отже, аналіз наявних методів організації віддаленого доступу до лабораторного обладнання доводить, що найбільш перспективним є підхід на основі технологій віддаленого робочого столу [17].

Ключовими технологіями для побудови такої системи визначено:

– *Raspberry Pi* – апаратну платформу для збору даних, керування обладнанням та візуалізації;

– програмне забезпечення класу "віддалений робочий стіл" (*TeamViewer*, *TightVNC*, *UltraVNC*) для організації доступу [18].

Застосування зазначених технологій дасть змогу ефективно та з мінімальними витратами створити систему віддаленого доступу студентів до лабораторного обладнання. Це особливо актуально в умовах карантинних обмежень та поширення дистанційних форм навчання.

Розроблення системи віддаленого моніторингу температури та вологості

Система моніторингу температури та вологості призначена для безперервного контролю мікроклімату у виробничих цехах, складських приміщеннях, серверних залах та інших критично важливих об'єктах (рис. 5). Підтримання необхідних діапазонів цих параметрів є вкрай важливим для забезпечення належного зберігання вантажів, роботи обладнання та комфортних умов праці персоналу.

Ефективний контроль температури та вологості відіграє ключову роль у багатьох галузях промисловості та бізнесу. Наприклад, у харчовій сфері точний контроль цих параметрів необхідний для запобігання розмноженню бактерій і забезпечення безпеки продукції. У фармацевтичній промисловості стабільні умови зберігання мають вирішальне значення для захисту ефективності ліків. У текстильній галузі контроль вологості необхідний для дотримання якості тканини та запобігання виникненню статичної електрики.

Для серверних кімнат контроль температури та вологості є особливо важливим. Перегрів може призвести до збоїв у роботі обладнання та втрати показників, тоді як надмірна вологість може спричинити корозію компонентів. Оптимальна температура для серверних приміщень зазвичай коливається в межах 18–27°C, а відносна вологість – від 45 до 55%.

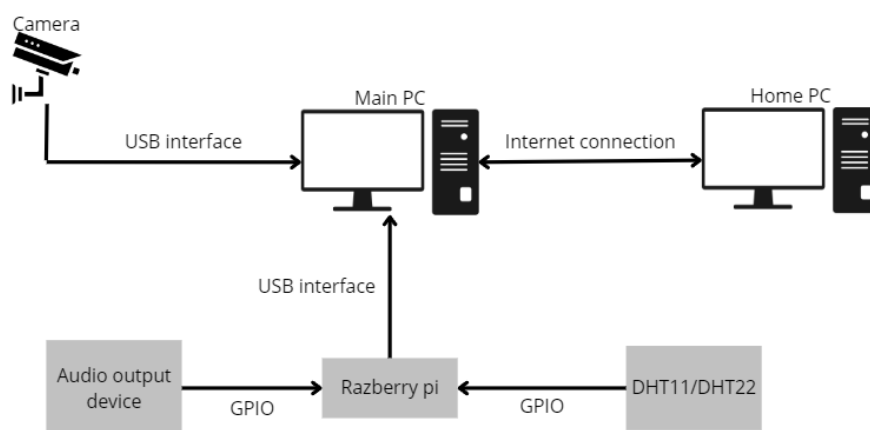


Рис. 5. Архітектура системи віддаленого моніторингу

На складах підтримання правильного мікроклімату допомагає запобігти псуванню товарів (наприклад, електроніка, деревина, папір або продукти харчування), особливо чутливих до змін температури та вологості. Крім того, стабільні умови зберігання дають змогу значно подовжити термін придатності багатьох продуктів.

Для персоналу комфортні умови праці не лише підвищують продуктивність, але й знижують ризик захворювань, пов'язаних з роботою в несприятливих обставинах. Відповідно до досліджень оптимальна температура для роботи в офісі становить 20–26°C, а відносна вологість – від 30 до 60%.

Сучасні системи моніторингу температури та вологості часто інтегровані із системами автоматизації будівель (BMS), що дає змогу не тільки контролювати, а й автоматично регулювати параметри мікроклімату. Це забезпечує енергоефективність та оптимальне використання ресурсів.

Центральним вузлом системи є одноплатний комп'ютер *Raspberry Pi 3 Model B+*. Він зчитує показники температури та відносної вологості повітря з під'єданого високоточного цифрового датчика *DHT22* в режимі реального часу. Показники з датчика надходять на *Raspberry Pi* через виводи загального призначення *GPIO*. Архітектура системи віддаленого моніторингу показана на рис. 5.

Зібрана інформація про поточний стан мікроклімату передається та безперервно оновлюється на основному персональному комп'ютері, розташованому в тій самій локальній мережі. Зв'язок між *Raspberry Pi* та ПК здійснюється за допомогою USB-інтерфейсу.

На основному ПК працює спеціалізоване програмне забезпечення, що візуалізує результати

моніторингу в зручному для користувача форматі – у вигляді графіків, діаграм, таблиць у режимі реального часу. Тут також реалізована функція задання порогових значень температури та вологості відповідно до норм для кожного конкретного об'єкта.

Якщо параметри мікроклімату відхиляються від заданих меж у той чи інший бік, система автоматично генерує звуковий сигнал-сирену для оперативного сповіщення обслуговувального персоналу. Для цього на одному з *GPIO*-виводів *Raspberry Pi* під'єднаний активний п'єзодинамік. Його гучний різкий звук миттєво привертає увагу працівників до критичної ситуації.

Крім локального моніторингу, система також забезпечує віддалений доступ до даних через інтернет за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення *TeamViewer* або *AnyDesk*. Це дає змогу авторизованим користувачам отримувати актуальну інформацію про стан об'єкта та контролювати його мікроклімат із будь-якої точки світу.

Структура системи:

- *Raspberry Pi 3 Model B+* – центральний вузол для збору даних;
- датчик температури та вологості *DHT22* – під'єднаний до *GPIO Raspberry Pi*;
- активний п'єзодинамік – для звукового сигналу, під'єднаний до *GPIO*;
- основний ПК в лабораторії – отримує інформацію через USB-з'єднання;
- домашній ПК – для віддаленого доступу через *TeamViewer* або *VNC*.

Код на *Python* для реалізації системи моніторингу з використанням бібліотеки *Adafruit_DHT*:


```

import Adafruit_DHT
import time
import RPi.GPIO as GPIO

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

sensor = Adafruit_DHT.DHT22
pin = 4

temp_max = 30 # °C
temp_min = 10 # °C
hum_max = 70 # %
hum_min = 30 # %

while True:
    humidity, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(sensor, pin)
    if humidity is not None and temperature is not None:
        print(f"Temperature: {temperature:.1f}C, Humidity: {humidity:.1f}%")

        if temperature > temp_max or temperature < temp_min or humidity > hum_max or humidity < hum_min:
            GPIO.output(18, True)
        else:
            GPIO.output(18, False)

    else:
        print("Failed to get reading. Try again!")

    time.sleep(10)

```

Пояснення коду:

- імпортуються необхідні бібліотеки;
- ініціалізується *GPIO Raspberry Pi* та призначається вивід 18 для керування сиреною;
- налаштовується датчик *DHT22* на *GPIO 4*;
- задаються допустимі межі температури та вологості;
- у нескінченному циклі зчитуються показники з датчика за допомогою *read_retry()*;
- якщо показники успішно зчитані, вони виводяться на екран і перевіряються з пороговими значеннями;
- у разі виходу температури чи вологості за межі вмикається сирена на виводі 18 *GPIO*;
- якщо параметри в нормі, сирена вимикається;
- цикл повторюється кожні 10 секунд для постійного моніторингу.

Отже, описана система на базі *Raspberry Pi* здатна постійно відстежувати температуру та вологість повітря, передавати інформацію на сервер для аналізу

та візуалізації, а також сповіщати про критичні ситуації звуковим сигналом. Система може бути корисною для промислових підприємств, складів і будь-яких об'єктів, де необхідний контроль мікроклімату.

Висновки

У статті запропонована система організації віддаленого доступу до навчального обладнання на основі програмного забезпечення *Raspberry Pi* та *AnyDesk*. Аналіз методів показав, що найбільш ефективним є використання віддаленого робочого столу, оскільки він поєднує в собі простоту реалізації та взаємодії з реальним обладнанням.

Наукова новизна дослідження полягає в розробленні комплексного підходу до організації дистанційного доступу до лабораторного обладнання, що передбачає:

- створення архітектури системи віддаленого моніторингу, що поєднує *Raspberry Pi*, *AnyDesk*

і спеціалізоване програмне забезпечення для керування обладнанням;

– адаптацію та інтеграцію різних типів лабораторного обладнання в єдину систему віддаленого доступу.

На відміну від ПЛК, *Raspberry Pi* дає змогу легко реалізувати необхідну логіку управління та інтерфейси для обладнання. Користувач з ПК через *AnyDesk* може керувати приводами й аналізувати показники датчиків і відео в режимі реального часу.

Запропонований підхід може бути впроваджений навчальними закладами для організації дистанційних лабораторних робіт з інженерних дисциплін в умовах карантину та воєнного стану.

Для подальших досліджень пропонується:

– розширити функціональні можливості системи за допомогою інтеграції елементів штучного інтелекту для автоматизації процесів управління та аналізу даних;

– розширити сферу застосування системи віддаленого моніторингу додаванням функцій керування роботизованим обладнанням виробничого та спеціального призначення;

– дослідити можливості масштабування системи для одночасної роботи великої кількості користувачів;

– розробити методи оцінювання ефективності навчання із застосуванням запропонованої системи порівняно з традиційними методами лабораторних робіт.

Список літератури

- Smith J. Using Remote Desktop Software in Engineering Labs, *International Online Engineering Journal*, 2021, No. 17(4), P. 12–21.
- Williams A. and Brown T. Remote systems based on PLC for training, *Procedia Manufacturing*, 2020, No. 45, P. 36–40.
- Atzori L., Iera A. and Morabito G. The internet of things: A survey, *Computer networks*, No. 54 (15), 2010. P. 2787–2805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Farhangi H. The path of the smart grid, *IEEE power and energy magazine*, No. 8(1), 2010. P. 18–28. DOI: <https://doi.org/10.1109/MPE.2009.934876>
- Marescaux J. and Rubino F. Telesurgery, telerobotics, virtual surgery, and telerobotics, *Current urology reports*, No. 4(2), 2003. P. 109–113.
- Taylor, M. and Wilson, J. (2011) "Virtual laboratory exercises with MATLAB", *European Journal of Engineering Education*, No. 36(6), P. 613–626.
- Cooper M. and Ferreira J.M. Remote laboratories expanding access to science and engineering curriculum, *IEEE Transactions on Learning Technologies*, No. 2(4), 2009. P. 342–353. DOI: <https://doi.org/10.1109/TLT.2009.43>
- Potkonjak V., Gardner M., Callaghan V., Mattila P., Guetl C., Petrović V.M. and Jovanović K. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review", *Computers & Education*, No. 95, 2016. P. 309–327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>
- Uran S., Hercog D. and Jezernik K. Remote control laboratory with Moodle booking system", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, No. 54(6), 2007. P. 3057–3068. DOI:10.1109/ISIE.2007.4375089
- Petruzella F.D. *Programmable logic controllers*, 5th edn. McGraw-Hill Education, New York, 2016. 414 p.
- Alphonsus E.R. and Abdullah M.O. A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs), *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 60, 2016. P. 1185–1205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.025>
- Rehg J.A. and Sartori G.J. *Programmable logic controllers*, 3rd edn. Pearson, London, 2019. 565p.
- Guimarães E., Maffei A., Pereira J., Russo B., Cardozo E., Bergerman M. and Magalhães M.F. REAL: A virtual laboratory for mobile robot experiments, *IEEE Transactions on Education*, No. 46 (1), 2003. P. 37–42. DOI:10.1109/TE.2002.804404
- Howard S.K. and Gigliotti A. Having a go: Looking at teachers' experience of risk-taking in technology integration, *Education and Information Technologies*, 2016. No. 21(5), P. 1351–1366. DOI:10.1007/s10639-015-9386-4
- Andujar J.M., Mejías A. and Márquez M.A. Augmented reality for the improvement of remote laboratories: an augmented remote laboratory, *IEEE Transactions on Education*, No. 54(3), 2011. P. 492–500. DOI: <https://doi.org/10.1109/TE.2010.2085047>
- Maksimovic M., Vujovic V., Perisic B. and Milosevic V. Developing a fuzzy logic based system for monitoring and early detection of residential fire based on thermistor sensors, *Computer Science and Information Systems*, No. 11(2), 2014. P. 665–681. DOI:10.2298/CSIS140330090M

17. García-Zubía J., Cuadros J., Romero S., Hernández-Jayo U., Orduña P., Guenaga M., Gonzalez-Sabate L. and Gustavsson I. Empirical analysis of the use of the VISIR remote lab in teaching analog electronics", *IEEE Transactions on Education*, No. 60(2), 2017. P. 149–156. DOI: <https://doi.org/10.1109/TE.2016.2608790>
18. Heradio R., de la Torre L., Galan D., Cabrerizo F.J., Herrera-Viedma E. and Dormido S. Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis, *Computers & Education*, No. 98, 2016. P. 14–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.010>

References

1. Smith, J. (2021), "Using Remote Desktop Software in Engineering Labs", *International Online Engineering Journal*, No. 17(4), P. 12–21.
2. Williams, A. and Brown, T. (2020), "Remote systems based on PLC for training", *Procedia Manufacturing*, No. 45, P. 36–40.
3. Atzori, L., Iera, A. and Morabito, G. (2010), "The internet of things: A survey", *Computer networks*, No. 54(15), P. 2787–2805. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
4. Farhangi, H. (2010), "The path of the smart grid", *IEEE power and energy magazine*, No. 8(1), P. 18–28. DOI: <https://doi.org/10.1109/MPE.2009.934876>
5. Marescaux, J. and Rubino, F. (2003), "Telesurgery, telerobotics, virtual surgery, and telerobotics", *Current urology reports*, No. 4(2), P. 109–113.
6. Taylor, M. and Wilson, J. (2011), "Virtual laboratory exercises with MATLAB", *European Journal of Engineering Education*, No. 36(6), P. 613–626.
7. Cooper, M. and Ferreira, J.M. (2009), "Remote laboratories expanding access to science and engineering curriculum", *IEEE Transactions on Learning Technologies*, No. 2(4), P. 342–353. DOI: <https://doi.org/10.1109/TLT.2009.43>
8. Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V.M. and Jovanović, K. (2016), "Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review", *Computers & Education*, No. 95, P. 309–327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>
9. Uran, S., Hercog, D. and Jezernik, K. (2007), "Remote control laboratory with Moodle booking system", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, No. 54(6), P. 3057–3068. DOI: [10.1109/ISIE.2007.4375089](https://doi.org/10.1109/ISIE.2007.4375089)
10. Petruzella, F.D. (2016), *Programmable logic controllers*, 5th edn. McGraw-Hill Education, New York, 414 p.
11. Alphonsus, E.R. and Abdullah, M.O. (2016), "A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs)", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 60, P. 1185–1205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.025>
12. Rehg J.A. and Sartori G.J. *Programmable logic controllers*, 3rd edn. Pearson, London, 2019. 565 p.
13. Guimarães, E., Maffei, A., Pereira, J., Russo, B., Cardozo, E., Bergerman, M. and Magalhães, M.F. (2003), "REAL: A virtual laboratory for mobile robot experiments", *IEEE Transactions on Education*, No. 46(1), P. 37–42. DOI: [10.1109/TE.2002.804404](https://doi.org/10.1109/TE.2002.804404)
14. Howard, S.K. and Gigliotti, A. (2016), "Having a go: Looking at teachers' experience of risk-taking in technology integration", *Education and Information Technologies*, No. 21(5), P. 1351–1366. DOI: [10.1007/s10639-015-9386-4](https://doi.org/10.1007/s10639-015-9386-4)
15. Andujar, J.M., Mejías, A. and Márquez, M.A. (2011), "Augmented reality for the improvement of remote laboratories: an augmented remote laboratory", *IEEE Transactions on Education*, No. 54(3), P. 492–500. DOI: <https://doi.org/10.1109/TE.2010.2085047>
16. Maksimovic, M., Vujovic, V., Perisic, B. and Milosevic, V. (2014), "Developing a fuzzy logic based system for monitoring and early detection of residential fire based on thermistor sensors", *Computer Science and Information Systems*, No. 11(2), P. 665–681. DOI: [10.2298/CSIS140330090M](https://doi.org/10.2298/CSIS140330090M)
17. García-Zubía J., Cuadros J., Romero S., Hernández-Jayo U., Orduña P., Guenaga M., Gonzalez-Sabate L. and Gustavsson, I. (2017), "Empirical analysis of the use of the VISIR remote lab in teaching analog electronics", *IEEE Transactions on Education*, No. 60(2), P. 149–156. DOI: <https://doi.org/10.1109/TE.2016.2608790>
18. Heradio, R., de la Torre, L., Galan, D., Cabrerizo, F.J., Herrera-Viedma, E. and Dormido, S. (2016), "Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis", *Computers & Education*, No. 98, P. 14–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.010>

Відомості про авторів / About the Authors

Посашков Олег Юрійович – Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харків, Україна; e-mail: oleh.posashkov@nure.ua; ORCID ID: 0000-0002-9262-6259

Цимбал Олександр Михайлович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки, Харків, Україна; e-mail: oleksandr.tsymbal@nure.ua; ORCID ID: 0000-0002-4947-7446

Posashkov Oleh – Kharkiv National University of Radio Electronics, PhD student at the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

Tsymbal Oleksandr – Doctor of Science (Engineering), Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor at the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation and Mechatronics, Kharkiv, Ukraine.

DEVELOPMENT OF THE ARCHITECTURE OF THE REMOTE ACCESS SYSTEM TO EDUCATIONAL LABORATORY EQUIPMENT USING AUTOMATED SOLUTIONS

The **subject of the study** is remote access to Raspberry Pi-based training equipment and remote desktop software. The **purpose** of the work is to analyze the means of remote control of equipment and develop the architecture of the system of remote access of students to laboratory equipment for the implementation of distance learning. The following tasks are solved in the article: the branches in which application of means of remote access is the most critical are analyzed, among which the special place is occupied by the educational branch; analysis of existing methods of organization of remote access to training equipment was carried out, advantages and disadvantages of each method were allocated; justification is being made for choosing a Raspberry Pi minicomputer as a hardware platform for building remote access systems; describes the architecture of a complex of technical solutions based on Raspberry Pi for remote control of educational laboratory equipment; implementation of applied system of temperature and humidity monitoring using developed approach is described. **Research methods** include comparative analysis of existing remote control technologies, prototyping and experimental testing of the developed system. The following **results** were obtained: the feasibility of using the remote desktop approach and AnyDesk software for organizing access was substantiated, a system based on the Raspberry Pi minicomputer for managing equipment and visualizing data was developed, an applied system for monitoring temperature and humidity using Raspberry Pi and AnyDesk was implemented. **Conclusions:** The proposed approach of using Raspberry Pi and remote desktop software allows students to effectively organize remote access to laboratory equipment from engineering disciplines during distance learning. This solution combines ease of implementation, interaction with real physical equipment and low cost compared to the use of industrial PLCs.

Keywords: Raspberry Pi; remote access; equipment control; graphical user interface.

Бібліографічні описи / Bibliographic descriptions

Посашков О. Ю., Цимбал О. М. Розроблення архітектури системи віддаленого доступу до навчального лабораторного обладнання з використанням автоматизованих рішень. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2024. № 3 (29). С. 64–75. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2024.3.064>

Posashkov, O., Tsymbal, O. (2024), "Development of the architecture of the remote access system to educational laboratory equipment using automated solutions", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, No. 3 (29), P. 64–75. DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2024.3.064>