

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2025-298-12-28-37>

УДК 004.45: 004.38

СИСТЕМНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОС UBUNTU ДЛЯ СТВОРЕННЯ НАВЧАЛЬНИХ СТЕНДІВ RASPBERRY PI

Могильний Г.А., Смагіна О.О., Донченко В.Ю.,
Швец І.М., Донченко С.М., Чамара Д.І.

UBUNTU SYSTEM SOFTWARE FOR CREATING RASPBERRY PI EDUCATIONAL STANDS

Mohylnyi H.A., Smahina O.O., Donchenko V.U.,
Shvets I.M., Donchenko S.M., Chamara D.I.

У статті розглядається актуальна проблема модернізації апаратно-програмного забезпечення навчальних комп'ютерних лабораторій закладів вищої освіти в умовах стрімкого розвитку технологій «Інтернету речей» (IoT) та вбудованих систем. Цей фактор є критично важливим для забезпечення безперервності та якості практичної підготовки інженерних кадрів у сучасних реаліях, зокрема в умовах воєнного стану, коли безпека учасників освітнього процесу виходить на перший план.

Дослідження спрямовано на розробку та практичну реалізацію комплексної методики розгортання уніфікованого програмного середовища на базі операційної системи Ubuntu для навчальних стендів, побудованих на мікрокомп'ютерах Raspberry PI 4 Model B. Акцент робиться на створенні масштабованого, ефективного рішення, яке дозволяє інтегрувати компактні обчислювальні модулі в наявну корпоративну інфраструктуру, забезпечуючи при цьому повноцінний віддалений доступ для студентів та викладачів без втрати функціональності.

У роботі детально описано алгоритм налаштування системи, який складається з послідовних кроків (етапів). Ці етапи передбачають конфігурування мережесих інтерфейсів: налаштування статичної IP-адресації та DNS-серверів для коректної ідентифікації в мережі; інтеграцію в корпоративну мережу шляхом встановлення необхідних пакетів (realmd, sssd, adcli), редагування конфігураційних файлів та безпосереднє введення пристрою в домен Active Directory; налаштування підсистеми аутентифікації PAM для автоматичного створення домашніх директорій доменних користувачів (mkhomedir).

У ході дослідження було виявлено та вирішено низку технічних проблем, зокрема, питання сумісності стенду з клієнтом RDP. Вирішено питання додаткових налаштувань: доступ до зовнішніх портів, автоматичне завантаження камери для перегляду результатів роботи стенду, автоматичне перезавантаження стенду при завершенні роботи зі стендом, обмеження кількості одночасних підключень. Також опрацьовано загальні механізми підключення пристроїв-стендів у корпоративну мережу та розглянуто шляхи налаштування безпечної зупинки роботи стенду у випадку відключення світла.

Реалізована схема дозволяє студентам підключатися до реального обладнання з будь-якої точки світу, використовуючи свої університетські доменні облікові записи, та виконувати лабораторні роботи, що вимагають прямої взаємодії з сенсорами, виконавчими механізмами та іншою периферією, які неможливо повноцінно відтворити в умовах віртуальної симуляції.

Ключові слова: операційна система, домен Microsoft, Ubuntu, віддалений доступ, навчальний стенд, Raspberry PI, навчальна комп'ютерна лабораторія, заклад освіти.

Вступ. Ринок вбудованих систем та мікроконтролерів демонструє експоненціальне зростання, що, своєю чергою, формує гострий попит на кваліфікованих фахівців, здатних не лише програмувати готові рішення, але й проектувати складні апаратно-програмні комплекси, налаштовувати взаємодію сенсорів

та володіти основами використання IoT (Інтернет речей, Internet of Things).

У цьому контексті система вищої освіти стикається з серйозним викликом: як забезпечити якісну практичну підготовку інженерів в умовах динамічних змін технологічного стека та, що особливо актуально для сьогодення, в умовах воєнного стану та обмеженого доступу до фізичних аудиторій. Традиційна модель організації навчальних комп'ютерних лабораторій, що передбачає виключно очну присутність студентів біля апаратних стендів, стає недостатньо гнучкою.

Проте вивчення мікроконтролерів та IoT має свою специфіку, яку неможливо повністю компенсувати віртуальними симуляторами (на кшталт Proteus, Tinkercad чи Cisco Packet Tracer). Симулятори, попри свою зручність, працюють в ідеалізованих умовах і не відтворюють реальних фізичних процесів, затримок у мережі, апаратних збоїв та нюансів роботи з реальними електричними сигналами. Тому виникає нагальна потреба в організації навчальних комп'ютерних лабораторій нового типу, які поєднують фізичне обладнання з технологіями віддаленого доступу, дозволяючи студентам писати код, завантажувати його в реальний мікроконтролер та спостерігати за результатом роботи (через веб-камери) з будь-якої точки світу.

Мета роботи – на засадах комплексного аналізу системного програмного забезпечення ОС Ubuntu розробити підходи до створення навчальних стендів Raspberry PI.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розвиток одноплатних комп'ютерів, зокрема серії Raspberry PI, спричинив появу розгалуженої екосистеми операційних систем, адаптованих під специфічні потреби користувачів: від початкового навчання програмуванню до професійного розгортання промислових рішень Internet of Things (IoT). Вибір програмної платформи сьогодні є визначальним фактором, що окреслює межі продуктивності та безпеки обчислювальної системи.

Огляд досліджень на тему використання Ubuntu як системного ПЗ для навчальних стендів на базі Raspberry PI демонструє перехід від простих експериментів до створення складних кластерних та IoT-систем. Одним із найпопулярніших напрямків є використання Ubuntu для навчання паралельним обчисленням. У роботі «High-Performance Computing with Raspberry PI» розглядається налаштування Ubuntu Server на Raspberry PI для створення

недорогих суперкомп'ютерів. Автори S. Taneja, J. Humphrey [1] підкреслюють, що системне ПЗ Ubuntu дозволяє перетворити Raspberry PI на повноцінний навчальний стенд для вивчення архітектури високопродуктивних систем.

У своєму дослідженні M. S. Mahdavinejad (та інші) [2] використовували Raspberry PI під керуванням Ubuntu Core як «edge» пристрої (периферійні вузли). Вони акцентували увагу на ізоляції процесів, що дозволяє студентам безпечно тестувати код без ризику «зламати» всю операційну систему стенда.

Дослідник C. J. Wright у своїй публікації [3] описує використання Ubuntu як базової ОС для розгортання вразливих контейнерів Docker на Raspberry PI. Дослідження показує, що 64-бітна Ubuntu на RPi 4 працює значно стабільніше, ніж стандартна Raspberry PI OS при роботі з інструментами аналізу трафіку та віртуалізацією.

Деякі дослідники зосереджені саме на порівнянні Ubuntu з іншими дистрибутивами, а саме дослідник Rahman у публікації «Performance Analysis of Raspberry PI OS vs. Ubuntu for IoT Edge Computing» [4] провів порівняльний аналіз споживання ресурсів (CPU, RAM). Дослідження показало, що хоча Ubuntu споживає більше пам'яті, її системна архітектура краще підходить для навчання сучасним DevOps-технологіям (Kubernetes, Docker), ніж полегшена Raspberry PI OS.

Сучасний ринок ОС для Raspberry PI можна класифікувати за кількома ключовими напрямками:

Універсальні та освітні ОС: офіційна Raspberry PI OS (колишня Raspbian) залишається стандартом де-факто завдяки своїй легкості, стабільності та інтегрованим інструментам для навчання, як-от Python та Scratch. Поруч із нею більшої популярності набуває Ubuntu, що пропонує повноцінний робочий стіл та сучасне 64-бітне середовище для професійної розробки;

Спеціалізовані інженерні платформи: для завдань кібербезпеки та пентестингу виділяється Kali Linux, а для створення вузлів розумного будинку — Home Assistant OS (HAOS), яка працює за принципом «чорної скриньки», максимально спрощуючи автоматизацію;

Специфічні та ретро-системи: окремий сегмент займають мультимедійні оболонки LibreELEC та для ретро-ігор (наприклад, RetroPie) та системи з унікальною архітектурою, як-от RISC OS, що наразі мають переважно історичну або вузькопрофільну цінність.

Таблиця 1

Зведена інформація операційних систем для Raspberry Pi

Назва ОС	Особливості ОС	Актуальність	Зручність для навчання	Коментар
Raspberry Pi OS	Офіційна, стабільна, легка	+++++++	Висока (вбудовані Python, Scratch)	Найкращий вибір для старту
Ubuntu	Сучасна, популярна, 64-біт	+++++++	Висока (для студентів IT/CS)	Чудова для сервера або як заміна ПК
DietPi / Home Assistant OS	Для специфічного керування	+++++	Тільки профільна (Автоматизація)	Стандарт індустрії DIY-автоматизації
RetroPie / LibreELEC	Ігровий комбайн (емулятори)	+++++	Низька (розваги)	Найкраще для ретро-ігор
Kali Linux	Інструменти для хакерів/безпеки	+++++	Тільки профільна (Кібербезпека)	Звичайному користувачеві не потрібна
Arch Linux ARM	Конструктор для профі	+++	Тільки для поглибленого вивчення Linux	Складно, для досвідчених користувачів.
Windows 10 IoT	Урізана Windows без робочого столу			Проект закритий, не має сенсу
RISC OS	Дуже стара ОС.	Не актуальна	Ні	Тільки як музейний експонат
Slackware / SARPi	Найстаріший Linux, складний			Занадто складно

В цілому, комплексна оцінка різноманітних ОС наведена у таблиці 1.

Як базову ОС навчальних стендів обрано Ubuntu для Raspberry Pi (особливо для моделей 4, 400 та 5) – це не просто «альтернатива», а стандарт для багатьох розробників: має один із найбільших репозиторіїв ПЗ, підтримку контейнерів, адаптована під 64-бітну архітектуру ARM для Raspberry Pi. Повноцінний Desktop надає сучасний інтерфейс (GNOME), який виглядає і працює як повноцінний персональний комп'ютер (ПК). Це найкращий вибір для навчання програмуванню або веб-редагуванню. Нова версія Ubuntu 24.04.3 LTS для настільних ПК, ноутбуків та Raspberry Pi має довгострокову підтримку, що означає п'ять років безкоштовних оновлень безпеки та обслуговування, продовжених до 12 років з Ubuntu Pro. Існує найновіша версія операційної системи Ubuntu 25.10, яка постачається з дев'ятьма місяцями оновлень безпеки та обслуговування, до липня 2026 року.

Відомо, щоб дистанційно керувати Raspberry Pi з іншого пристрою у локальній мережі, необхідно скористатися типовою системною службою SSH, яка легко встановлюється за допомогою команди `sudo apt-get install ssh` та необхідна для додаткового керування або адміністрування. Більш ґрунтовний аналіз наукової літератури та

інтернет-джерел [5-11] дозволив знайти інші додаткові програмні засоби: Xrdp, NoMachine, X2go. Ці додаткові програмні засоби мають різноманітні особливості та потребують встановлення додаткових пакетів. Тому прийнято рішення, в межах цієї роботи розглянути тільки Gnome-remote, який стандартно є в налаштуваннях Ubuntu, можливості інших програмних засобів буде розглянуто в межах наступного дослідження.

В цілому створення навчального стенду, з отриманням віддаленого режиму використання, можна звести до наступних кроків. Попередньо рекомендується оновити систему за допомогою команд:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
```

Крок 1. Налаштовуємо статичну IP адресу та DNS. Обов'язково, в якості DNS серверу вказуємо адресу контролеру домену Microsoft AD. Виконуємо ці налаштування за допомогою додатку «Settings» меню «Network». Крім того, рекомендується відредагувати файли: `/etc/systemd/resolve.conf` – додати поля DNS и domains, а також файл `/etc/hosts` – додати основні ресурси вашої мережі (рис. 1).

```
127.0.0.1 localhost
192.168.100.1 serv2.ifmit.local serv2
192.168.100.28 ns.ifmit.local ns
192.168.100.28 servad1.ifmit.local servad1
192.168.100.8 servad.ifmit.local servad
192.168.100.29 conn1.ifmit.local conn1
192.168.100.24 vcent1.ifmit.local vcent1
::1 localhost ip6-localhost ip6-loopback
ff02::1 ip6-allnodes
ff02::2 ip6-allrouters
```

Рис. 1. Налаштування DNS для основних ресурсів

Крок 2. Приєднання до домену Microsoft AD з метою інтеграції списку користувачів. Встановлюємо додаткові пакети sssd, realmd, adcli та інші за допомогою команди

```
sudo apt-get install sssd, realmd, adcli
```

Перевіряємо доступність домену Microsoft AD (рис.2):

```
sudo realm -v discover
<ім'я домену>
```

```
ubuntu2@ubuntu02:~$ sudo realm -v discover ifmit.local
[sudo] password for ubuntu2:
* Resolving: ldap._tcp.ifmit.local
* Performing LDAP DSE lookup on: 192.168.100.28
* Successfully discovered: ifmit.local
ifmit.local
type: kerberos
realm-name: IFMIT.LOCAL
domain-name: ifmit.local
configured: kerberos-member
server-software: active-directory
client-software: sssd
required-package: sssd-tools
required-package: sssd
required-package: libnss-sss
required-package: libpam-sss
required-package: adcli
required-package: samba-common-bin
login-formats: %U@ifmit.local
login-policy: allow-realm-logins
ubuntu2@ubuntu02:~$
```

Рис. 2. Перевірка налаштувань для підключення до домену

Звертаємо увагу на необхідні додаткові пакети, що будуть перелічені в кінці команди та, за необхідністю, встановлюємо ці пакети.

Приєднуємося до домену.

```
sudo realm join -v -U
<ім'я адмін домену> \
<ім'я домену>
```

```
PAM configuration
Pluggable Authentication Modules (PAM) determine how authentication, authorization, and password check
additional actions to take when starting user sessions.
Some PAM module packages provide profiles that can be used to automatically adjust the behavior of
behaviors you wish to enable.
PAM profiles to enable:
[+] Regularly password strength checking
[+] SSS required smart card authentication
[+] SSS optional smart card authentication
[ ] Fingerprint authentication
[+] Unix authentication
[+] SSS authentication
[+] Register user sessions in the systemd control group hierarchy
[+] Create home directory on login
[+] GNOME Keyring Daemon - Login keyring management
[+] Inheritable Capabilities Management
<Ok>
```

Рис. 3. PAM configurator

Надаємо право на створення домашньої папки у додатку (рис. 3):

```
sudo pam-auth-update
```

Крок 3. Активуємо службу Gnome-remote. Виконуємо ці налаштування за допомогою додатку «Settings» меню «System» – «Remote Desktop», далі закладка «Remote login». Встановлюємо ім'я користувача та пароль (рис. 4). Цього користувача не повинно бути у системі. Використовуючи ці параметри (ім'я користувача та пароль) ми вже маємо можливість приєднатися до Raspberry PI за допомогою додатку «Віддалений робочий стіл». Після підключення буде видано перелік користувачів, які останнім часом використовували цю Raspberry PI.

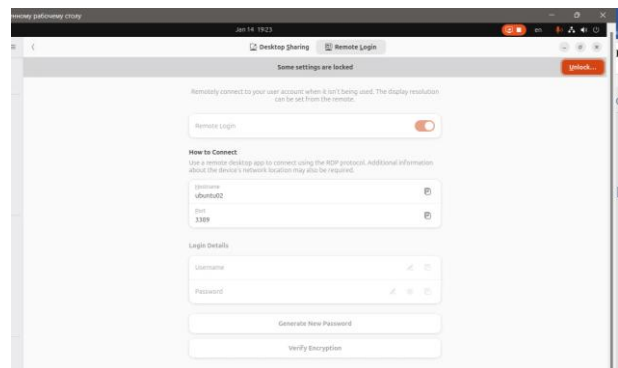


Рис. 4. Закладка Remote Login

В процесі використання клієнту «Віддалений робочий стіл» у ОС Windows встановлені певні особливості його налаштування:

1. У закладці «Екран» треба ретельно підбирати параметри роздільної здатності екрану. В деяких випадках, а особливо у режимі «На весь екран» підключення не відбувається.

2. Бажано відредагувати службовий файл, що створюється за допомогою кнопки «Зберегти» знайти рядок: use redirection server name:i:0 та змінити на use redirection server name:i:1 (рис. 5).

За умови особистого використання Raspberry PI цих кроків буде достатньо. Однак для застосування Raspberry PI у якості навчального стенду необхідно виконати додаткові налаштування.

```

redirectprinters:i:0
redirectcomports:i:0
redirectsmartcards:i:0
redirectctlpboards:i:1
redirectpsdevices:i:0
autoreconnection enabled:i:0
authentication level:i:2
prompt for credentials:i:1
negotiate security layer:i:1
remoteapplicationmode:i:0
alternate shells:
shell working directory:s
gatewayhostname:s
gatewayusagemethod:i:4
gatewaycredentialssource:i:4
gatewayprofileusagemethod:i:0
promptcredentialonce:i:0
gatewaybrokerintype:i:0
use redirection server name:i:1
rdgiskdcproxy:i:0
kdcproxyname:s
driestoredirect:s
redirectionauthn:i:0

```

Рис. 5. Зміна параметрів підключення

Крок 4. У процесі використання віддаленого доступу з'ясувалося, що користувачі не мають права використовувати зовнішні порти. Встановлено, що є можливість скористатися спеціальним керуванням за допомогою компоненту UDEV [12]. За допомогою спеціальних файлів (розширення .rules) є можливість призначити певний доступ до зовнішніх приладів/портів. Правила udev зберігаються в папці /etc/udev/rules.d. для своїх правил краще створити окремий файл та додати наступні стоки, для використання зовнішньої камери та USB порту (рис. 6, 7) :

```

KERNEL=="video[0-9]*", MODE=="0666"
KERNEL=="ttyACM0", MODE=="0666"

```

Рис. 6. Перелік правил UDEV

Рис. 7. Приклад правил UDEV

Крок 5. Крім того з'ясувалося, що користувачі повинні бачити результати роботи з навчальним стендом. Для цього необхідно налаштувати автоматичне завантаження

додатку для перегляду камери, наприклад cheese. Зробити це можна за допомогою спеціального файлу cheese.desktop у каталозі /etc/xdg/autostart/ та надати право «читання» цього файлу. Структура цього файлу аналогічна іншим файлам *.desktop (рис. 8).

Рис. 8. Налаштування додатку для підтримки камери

Крок 6. Додатково з'ясувалося, що є необхідність обов'язкового перезавантаження системи та обмеження часу роботи зі стендом для кожного користувача (студента), наприклад, 90 хвилин, щоб інші користувачі могли скористатися цим навчальним стендом. Перезавантаження системи необхідно робити, щоб видалити всі налаштування портів та додаткових приладів, які зробив користувач – студент. Один з варіантів – скористатися командою: `sudo shutdown -r +90` (або командою `sleep 5400 && sudo reboot`). Цю команду необхідно активувати при вході користувача у систему. Зробити це можна також за допомогою додаткового спеціального файлу *.desktop у каталозі /etc/xdg/autostart, надати право «читання» цього файлу, однак встановити параметр `Exec=sudo shutdown -r +90`. Слід відзначити, що такий варіант використання дозволяє користувачам відмінити перезавантаження, що є суттєвим недоліком.

Для використання цієї команди необхідно мати права SUDO.

З іншого боку, з'ясувалося, що обмеження часу використання не достатньо у випадку, коли користувач сам, достроково завершує роботу зі стендом. Для цього необхідно автоматизувати перевантаження системи при виході користувача із системи.

Один з можливих кроків це відредагувати файл /etc/gdm3/PostSession/Default — це системний скрипт очищення, який виконується диспетчером входу (GDM) в

останній момент існування сесії користувача. Для цього, необхідно вставити умову перед рядком `exit 0`. Наприклад:

```
TARGET_GROUP=" IOT  USERS@MYDOMAIN
"
if id -nG "$USER" | grep -Fq \
"$TARGET_GROUP"; then
    sleep 10
    /sbin/reboot
fi
```

Особливу увагу треба надати параметру `TARGET_GROUP`, що має значення групи користувачів для яких застосовано це правило. В певних випадках ім'я групи може мати інший синтаксис написання.

Крок 7. В деяких випадках необхідно надати право виконання певних команд `SUDO`. Для цього скористайтесь додатковим налаштуванням файлу `/etc/sudoers` та додайте необхідні строки для виконання цих команд без необхідності введення пароля `SUDO`. Наприклад, для групи «`IOT USERS@MYDOMAIN`»:

```
%"IOT\ USERS"@MYDOMAIN ALL=(ALL)
NOPASSWD: /sbin/reboot
%"IOT\ USERS"@MYDOMAIN ALL=(ALL)
NOPASSWD: /sbin/ shutdown
```

Врахуйте також, що в певних релізах операційної системи можливі деякі особливості у використанні імен груп з домену Microsoft.

Крок 8. Додаткові системні обмеження. В процесі використання віддаленого доступу встановлено, що необхідно обмежити кількість одночасних підключень та автоматизувати завершення сесій, що не коректно були завершені або випадково обірвані. Встановлено, що пакет `Gnome-remote` не має варіантів налаштувань для обмеження кількості одночасних підключень, що безумовно є **суттєвим недоліком**. Одним з можливих шляхів може бути використання пакету `iptables` та служби `iptables-persistent`, які складні в налаштуванні, мають особливості у різних версіях ОС, конфліктують з брандмауером (`ufw`, треба зупинити – `sudo ufw disable`) та можуть блокувати всю систему в цілому. Наприклад, є можливість обмежити кількість підключень по протоколу `TCP port 3389 (RDP)` та скористатися командою аналогічною наступній:

```
sudo iptables -I INPUT -p tcp \
-dport 3389 -m connlimit \
--connlimit-above 1 \
--connlimit-mask 0 -j REJECT
```

де `INPUT` — ланцюжок правил для вхідних пакетів;

```
-p tcp - protocol TCP;
--dport 3389 - Destination Port - порт
призначення;
--connlimit-above 1 - умова
спрацювання: «Якщо кількість
з'єднань БІЛЬШЕ 1»;
--connlimit-mask 0 - маска
групування;
-j REJECT - відхилити та надіслати
повідомлення про помилку
```

Крім того, з'ясувалось, що періодично, за певним розкладом необхідно перезавантажувати систему навчального стенду та повідомити цей графік всім користувачам. В іншому випадку може бути перевантаження процесору або недостатньо оперативної пам'яті. Для цього існує можливість скористатися системною службою `cron` та за допомогою команди `sudo crontab -e` додати в розклад перезавантаження системи. Наприклад, `0 14 * * * /sbin/shutdown -r now -` перезавантажувати систему у 0 хвилин, 14 годин, кожного дня, кожного місяця, кожного дня тижня. Треба також врахувати, що графік служби `cron` повинен працювати від користувача `root`, щоб звичайні користувачі – студенти не мали можливості його змінити.

Крок 9. Підключення зовнішніх користувачів через мережу Інтернет. У процесі використання віддаленого доступу встановлено, що необхідно виконати додаткове налаштування мережевої інфраструктури для забезпечення роботи навчальної лабораторії під час виконання лабораторних робіт студентами при змішаній формі навчання. Основна мета цих налаштувань – забезпечення зовнішнього доступу до лабораторних стендів.

Аналіз різноманітних варіантів дозволив виділити основні наступні шляхи (рис. 9):

1. Організація доступу до локальної мережі шляхом використання `VPN` підключення на мережевому, пороговому роутері та використання додаткового командного файлу.

2. Використання додатково `RDP` підключення на засадах ОС `Microsoft Windows Server` та використання того ж додаткового командного файлу.

3. Прокидання певних портів на IP адреси навчальних стендів лабораторії та створення модифікації додаткового командного файлу.

Аналіз деяких варіантів підключення [13-15] свідчить, що найбільш ефективним засобом є створення VPN з'єднання. Але, в умовах навчального процесу, треба врахувати певні особливості налаштувань, додатково провести інтеграцію VPN зі службою Microsoft AD, що не включено до цього дослідження.



Рис. 9. Віддалене підключення через Інтернет

Крок 10. Підтримка системи живлення. В умовах відкритої збройної агресії та постійних перерв у системі електроживлення треба додатково налаштувати автоматичне завершення роботи навчальних стендів при відключенні світла. Безумовно існує багато шляхів вирішення цього питання, але, в межах цієї роботи, розглянемо тільки один варіант.

Встановлено, що стенди на засадах Raspberry PI мають невелику потужність (5-15 Вт) та можуть бути всі приєднані до однієї UPS не значної потужності, наприклад 600 VA. Таким чином, головна проблема – створення централізованого програмно-апаратного середовища для одночасного завершення роботи всіх навчальних стендів. Сучасні smart UPS мають можливості віддаленого керування пристроями за рахунок використання протоколу ssh. Однак вартість таких UPS є дуже значною та не завжди економічно доцільна для навчальних завдань. Одним з можливих шляхів є автоматизація на засадах роутеру Mikrotik з ОС Route OS 6.49. Цей прилад має безліч можливостей, однак, в межах цієї роботи, розглянемо тільки загальні кроки одного з варіантів використання.

1. У мережевій інфраструктурі обираємо якийсь не важливий прилад, наприклад гостьовий Wi-Fi (192.168.102.4), який не підтримано додатковим UPS.

2. Створюємо у Mikrotik підтримку netwatch у меню Tools-> netwatch – моніторинг цієї адреси та налаштуємо інтервал опитування та час очікування.

3. Імпортуємо сертифікати користувача (root). Слід врахувати, що клієнт ssh на Mikrotik може приєднатися до стендів без введення паролю тільки за умови використання сертифікатів. Цей пункт має певні нюанси, тому що Mikrotik з ОС Route OS 6.49 не підтримує сучасних типів ключів та потребує окремого огляду.

4. У вкладці Down додаємо команди приєднання до всіх стендів за допомогою протоколу ssh з командою завершення роботи /system ssh user=root_stend address=<IP_addr> command="/usr/sbin/shutdown -h now"

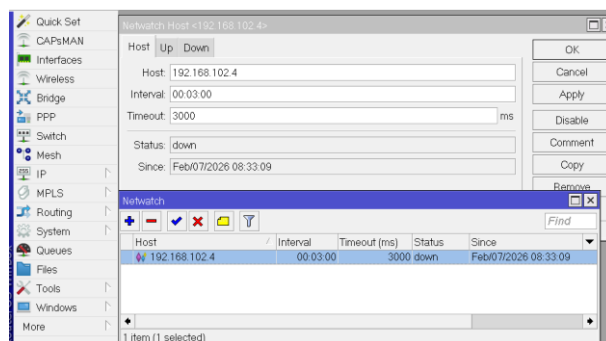


Рис. 10. Налаштування Mikrotik

Висновки. На основі проведеного дослідження можна зробити висновок, що організація навчальних лабораторій нового типу на базі Raspberry PI дозволяє поєднати фізичне обладнання з технологіями віддаленого доступу, що є критично важливим для підготовки інженерів в умовах обмеженого доступу до аудиторій. Вибір ОС Ubuntu версії 24.04 LTS або 25.10 як базової платформи є одним з можливих рішень, що надає сучасний інтерфейс GNOME, має тривалу підтримку та є фактичним стандартом для розробників IoT.

Для ефективного керування стендом Raspberry PI було успішно реалізовано інтеграцію системи з доменом Microsoft AD за допомогою пакетів sssd, realmd та adcli, що дозволяє централізовано керувати доступом користувачів. Використання стандартного компонента Gnome-remote забезпечує віддалене підключення, хоча воно й потребує ретельного

налаштування параметрів роздільної здатності екрана та прав доступу до зовнішніх пристроїв через правила UDEV.

Для ефективної роботи стенду запропоновано метод автоматичного завантаження додатків, наприклад камери – для віддаленого перегляду результатів роботи зі стендом. Важливим аспектом є забезпечення автономності роботи стенда, що досягається шляхами обмеження часу використання та автоматичного перезавантаження системи після закінчення сесії користувача, а також за допомогою служби cron для запобігання перевантаженню апаратних ресурсів.

Попри певні недоліки Gnome-remote, як-от відсутність вбудованого ліміту одночасних підключень, це питання вирішується застосуванням правил iptables для обмеження з'єднань по порту 3389. Таким чином, запропонований комплексний підхід дозволяє створити середовище для проведення лабораторних занять у дистанційному режимі з використанням реального обладнання.

Слід відзначити, що в межах цього дослідження не розглянуто альтернативних засобів, таких як Xrdp, NoMachine або X2go, які мають дещо інші функціональні можливості для навчальних цілей. Крім того, для ефективного використання запропонованого стенду необхідно врахувати особливості налаштувань мережевої інфраструктури, надання доступу користувачів через мережу Інтернет та підтримки системи електроживлення, що потребує окремої уваги з точки зору безпеки та зручності використання.

Література

1. Humphrey J., Taneja S. Scalable parallel computing on Raspberry Pi clusters: An educational perspective. 2019 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW). IEEE, 2019. P. 562–569. URL: <https://doi.org/10.1109/IPDPSW.2019.00101>.
2. Internet of Things and Big Data analytics in smart cities: A survey / M. S. Mahdavinejad, M. Rezvan, M. Berekatain et al. Computer Networks. 2018. Vol. 129. P. 213–240. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2017.10.002>.
3. Wright C. J. Low-cost cyber range environments for education: Using Raspberry Pi and Ubuntu to simulate network attacks. International Journal of Computer Science Education. 2020. Vol. 15, No. 2. P. 88–104.
4. Rahman M. A., Mansoor A. M., Alam F., Bashir A. K. Performance analysis of Raspberry Pi OS vs. Ubuntu for IoT edge computing. Proceedings of the

2021 International Conference on Cloud Computing and IoT (CCIoT). IEEE, 2021. P. 45–52.

5. Raspberry Pi software. URL: <https://www.raspberrypi.com/software/> (дата звернення: 18.12.2025).
6. Ubuntu on a Raspberry Pi. URL: <https://ubuntu.com/download/raspberry-pi> (дата звернення: 18.12.2025).
7. LibreELEC Raspberry. URL: <https://libreelec.tv/downloads/raspberry> (дата звернення: 18.12.2025).
8. DietPi download. URL: <https://dietpi.com/#download> (дата звернення: 18.12.2025).
9. Kali Linux. URL: <https://www.kali.org/> (дата звернення: 18.12.2025).
10. RetroPie. URL: <https://retropie.org.uk/> (дата звернення: 18.12.2025).
11. RDP file setting: "use redirection server name.] URL: <https://serverfault.com/questions/963651/rdp-file-setting-use-redirection-server-name> (дата звернення: 18.12.2025).
12. An introduction to Udev: The Linux subsystem for managing device events. URL: <https://opensource.com/article/18/11/udev11> (дата звернення: 18.12.2025).
13. Могильний Г. Аналіз програмно-апаратних засобів створення системи з віддаленим доступом до навчальних комп'ютерних лабораторій закладів середньої освіти. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2023. № 1(277). С. 5–19. URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-5-19>
14. Могильний Г., Донченко В., Донченко С. Огляд та аналіз інструментів створення корпоративного середовища. Інформаційні технології та суспільство. 2024. № 4 (15). С. 99–107. URL: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2024.4.16>
15. Могильний Г., Семенов М., Кіреєв І. Впровадження системи віддаленого доступу до інформаційних ресурсів комп'ютерних лабораторій. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2022. № 2 (272). С. 7–14. URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-272-2-7-14>.

References

1. Humphrey J., Taneja S. Scalable parallel computing on Raspberry Pi clusters: An educational perspective. 2019 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW). IEEE, 2019. P. 562–569. URL: <https://doi.org/10.1109/IPDPSW.2019.00101>.
2. Internet of Things and Big Data analytics in smart cities: A survey / M. S. Mahdavinejad, M. Rezvan, M. Berekatain et al. Computer Networks. 2018.

- Vol. 129. P. 213–240. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2017.10.002>.
3. Wright C. J. Low-cost cyber range environments for education: Using Raspberry Pi and Ubuntu to simulate network attacks. *International Journal of Computer Science Education*. 2020. Vol. 15, No. 2. P. 88–104.
 4. Rahman M. A., Mansoor A. M., Alam F., Bashir A. K. Performance analysis of Raspberry Pi OS vs. Ubuntu for IoT edge computing. *Proceedings of the 2021 International Conference on Cloud Computing and IoT (CCIoT)*. IEEE, 2021. P. 45–52.
 5. Raspberry Pi software. URL: <https://www.raspberrypi.com/software/> (Accessed: 18.12.2025).
 6. Ubuntu on a Raspberry Pi. URL: <https://ubuntu.com/download/raspberry-pi> (Accessed: 18.12.2025).
 7. LibreELEC Raspberry. URL: <https://libreelec.tv/downloads/raspberry> (Accessed: 18.12.2025).
 8. DietPi download. URL: <https://dietpi.com/#download> (Accessed: 18.12.2025)
 9. Kali Linux. URL: <https://www.kali.org/> (Accessed: 18.12.2025)
 10. RetroPie. URL: <https://retropie.org.uk/> (Accessed: 18.12.2025)
 11. RDP file setting: "use redirection server name. URL: <https://serverfault.com/questions/963651/rdp-file-setting-use-redirection-server-name> (Accessed: 18.12.2025)
 12. An introduction to Udev: The Linux subsystem for managing device events. URL: <https://opensource.com/article/18/11/udev11> (Accessed: 18.12.2025).
 13. Mohylnyi H. Analiz prohramno-aparatnykh zasobiv stvorennia systemy z viddalenyim dostupom do navchalnykh kompiuternykh laboratorii zakladiv serednoi osvity. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*. 2023. № 1(277). S. 5–19. URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2019-256-8-5-19>
 14. Mohylnyi H., Donchenko V., Donchenko S. Ohliad ta analiz instrumentiv stvorennia korporatyvnoho sere dovnyshcha. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo*. 2024. № 4 (15). S. 99–107. URL: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2024.4.16>
 15. Mohylnyi H., Semenov M., Kirieiev I. Vprovadzhennia systemy viddaleno ho dostupu do informatsiinykh resursiv kompiuternykh laboratorii. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*. 2022. № 2 (272). S. 7–14. URL: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2022-272-2-7-14>.

Mohylnyi H.A., Smahina O.O., Donchenko V.U., Shvets I. M., Donchenko S.M., Chamara D. I. Ubuntu system software for creating Raspberry PI educational stands.

The article considers the current problem of modernization of hardware and software of educational computer laboratories of higher education institutions in the conditions of rapid development of Internet of Things (IoT) technologies and embedded systems. Special emphasis is placed on the urgent need to adapt the educational process to the conditions of blended learning and limited access to physical classrooms and equipment. This factor is critically important for ensuring the continuity and quality of practical training of engineering personnel in modern realities, in particular in conditions of martial law, when the safety of participants in the educational process comes to the fore.

The research is aimed at developing and practical implementation of a comprehensive methodology for deploying a unified software environment based on the Ubuntu operating system for educational stands built on Raspberry Pi 4 Model B microcomputers. The emphasis is on creating a scalable, effective solution that allows integrating compact computing modules into the existing corporate infrastructure, while providing full remote access for students and teachers without loss of functionality.

The work describes in detail the system configuration algorithm, which consists of sequential steps (stages). These stages include configuring network interfaces, setting up static IP addressing and DNS servers, as well as changing the host name for correct identification in the network; integration into the corporate network by installing the necessary packages (realmd, sssd, adcli), editing configuration files and directly entering the device into the Active Directory domain; configuring the PAM authentication subsystem for automatic creation of home directories of domain users (mkhomedir).

During the study, a number of technical problems were identified and resolved. In particular, the issues of compatibility of graphical shells with the RDP client, which allowed stabilizing the work of clients, characteristic of remote work mode. The issues of additional settings were resolved: access to external ports, automatic loading of the camera to view the results of the stand, automatic reboot of the stand upon completion of work with the stand, limitation of the number of simultaneous connections. The mechanisms for connecting stand devices to the corporate network were also worked out and ways of configuring a safe shutdown of the stand in the event of a power outage were considered.

The obtained research results have high practical value, as they offer a ready-made algorithm for creating a reference software image. This image can be quickly replicated on an unlimited number of devices, which significantly reduces the time of laboratory administration and reduces the load on technical

personnel. The implemented scheme allows students to connect to real equipment from anywhere in the world, using their university domain accounts, and perform laboratory work that requires direct interaction with sensors, actuators and other peripherals, which cannot be fully reproduced in virtual simulation. The proposed solution is universal and recommended for implementation in technical institutions of higher education.

Keywords: *operating system, Microsoft domain, Ubuntu, remote access, training stand, Raspberry PI, training computer laboratory, educational institution.*

Могильний Геннадій Анатолійович – к. т. н., доцент, директор Навчально-наукового інституту математики та інформаційних технологій Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, g.mogilniy@gmail.com

Смагіна Ольга Олександрівна – к.п.н., доцент кафедри інформаційних технологій та систем Навчально-наукового інституту математики та інформаційних технологій Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, smagina1804@gmail.com

Донченко Володимир Юрійович – старший викладач кафедри інформаційних технологій та систем Навчально-наукового інституту математики та інформаційних технологій Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, ifmit.s.2014@gmail.com

Швець Ірина Михайлівна – асистент кафедри математики та інформатики Навчально-наукового інституту математики та інформаційних технологій Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, irinachipenko00@gmail.com

Донченко Світлана Миколаївна – асистент кафедри інформаційних технологій та систем Навчально-наукового інституту математики та інформаційних технологій Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, donchenko.lana77@gmail.com

Чамара Дмитро Іванович – магістрант Навчально-наукового інституту математики та інформаційних технологій Луганського національного університету імені Тараса Шевченка, dim4am@gmail.com

Стаття подана 17.11.2025.