



## РОЗРОБКА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА КЕРУВАННЯ ІНТЕРНЕТОМ РЕЧЕЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТФОРМИ HOME ASSISTANT

М. Бешлей [ORCID: 0000-0002-7122-2319], Ю. Шкоропад, Г. Бешлей [ORCID: 0000-0001-5392-3499]

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Відповідальний за рукопис: М. Бешлей (e-mail: mykola.i.beshlei@lpnu.ua)

(Подано 15 березня 2024 р.)

У роботі представлено розробку кіберфізичної системи на основі платформи HomeAssistant для ефективної автоматизації та управління пристроями Інтернету речей (IoT). Розглянуто архітектурні особливості, технічну реалізацію та перспективи розвитку системи з акцентом на здатність інтегрувати широкий спектр сенсорів та IoT-пристроїв в одну мережу для створення адаптивних та інтелектуальних рішень. Основну увагу приділено реалізації сценаріїв автоматизації для контролю внутрішнього клімату, які оптимізують життєві умови залежно від внутрішніх потреб користувачів та зовнішніх погодних умов, значно підвищуючи ефективність енерговикористання та загальний комфорт. Детально описано стратегії збереження та аналізу даних, зокрема застосування NAS-серверів для резервного копіювання, використання бази даних MariaDB для зберігання та InfluxDB та Grafana для аналітики та візуалізації, забезпечуючи високий рівень надійності та доступності інформації. Проведено тестування, що оцінює затримки сповіщень, переданих через Telegram та внутрішню мережу кіберфізичної системи. Отримані результати підтверджують високу ефективність реалізованої кіберфізичної системи у забезпеченні миттєвої доставки сповіщень, що є ключовим аспектом для швидкого реагування на критичні ситуації в динамічному середовищі. Встановлено, що платформа Home Assistant має широкі можливості для підтримки сервісів штучного інтелекту. Вона інтегрується з різноманітними сервісами, як-от: Google Assistant, TensorFlow, DeepStack, Amazon Alexa, і дозволяє легко розширювати свою функціональність за допомогою додаткових компонентів та плагінів. Завдяки інтелектуальним алгоритмам та аналізу даних, система може самостійно вирішувати, як оптимально використовувати ресурси, контролювати пристрої відповідно до змінних умов і потреб користувачів, а також реагувати на небезпечні або непередбачувані ситуації.

**Ключові слова:** кіберфізична система, сенсори, платформа home assistant, telegram, raspberry pi, influxdb, grafana, docker, штучний інтелект.

УДК: 621.391

### 1. Вступ

У сучасному світі Інтернет речей (IoT) займає важливе місце у різноманітних сферах, від домашньої автоматизації до промислового виробництва [1]. З кожним днем зростає кількість під'єднаних пристроїв та систем, що вимагає надійного контролю та ефективного управління [2].

Через це розробка системи для керування, моніторингу та автоматизації IoT стає актуальною задачею, спрямованою на оптимізацію роботи та забезпечення надійності під'єднаних пристроїв та систем. Багато виробників пропонують власні рішення із сенсорами, які можуть вимірювати різні параметри, як-от: температура, вологість, освітлення, рух та інші. Кожен виробник може використовувати власні протоколи зв'язку, формати даних та методи взаємодії, що ускладнює процес їхньої інтеграції та спільної роботи [3].

У цій статті ми розробляємо кіберфізичну систему, яка дає змогу об'єднати від різних виробників розумні пристрої для створення єдиної екосистеми, її архітектуру та ключові компоненти, а також демонструємо практичні можливості її впровадження.

## 2. Розгортання кіберфізичної системи на базі Home Assistant

Кіберфізичні системи представляють собою інтеграцію обчислювальних ресурсів з фізичними процесами. У контексті IoT це означає можливість збору даних із фізичного світу за допомогою датчиків, обробку цих даних та виконання певних дій через актуатори (наприклад, включення освітлення, регулювання температури тощо) [4]. Однією з найбільш популярних у сучасному світі систем для інтеграції та автоматизації IoT є відкрита платформа Home Assistant [5]. Станом на лютий 2024 року, ця платформа підтримує понад 2700 інтеграцій із різними виробниками та пристроями. Цю систему легко встановити, оскільки її можна розгорнути за допомогою віртуальної машини (VM) або як віртуальний ізольований контейнер (Docker). Проте для забезпечення найбільш розширеного функціоналу й підтримки максимальної кількості інтерфейсів рекомендовано встановлювати систему як операційну систему (HA OS). У цьому випадку буде доступно найширше коло можливостей. Платформа Home Assistant, порівняно з іншими, не вимагає значних обчислювальних ресурсів (1.2 GHz, 2 GB RAM, 6 GB дискового простору), тому її можна встановити на міні-ПК (наприклад, Intel N100) чи одноплатному комп'ютері (наприклад Raspberry Pi). Для цієї статті систему було встановлено на Raspberry Pi 3 з ОС HA. Після успішного встановлення необхідно під'єднати сенсори, додати інтеграції та інші пристрої до системи. Вона автоматично розпізнає деякі пристрої, які під'єднано до тієї ж мережі (рис. 1). Якщо від одного виробника є декілька пристроїв чи сенсорів, достатньо додати одну інтеграцію і всі пристрої та сенсори будуть автоматично додані до системи (рис. 2). Один фізичний сенсор чи пристрій може мати кілька сутностей, наприклад, датчик температури й вологості може мати сутності, як-от: температура, вологість та рівень заряду батареї.

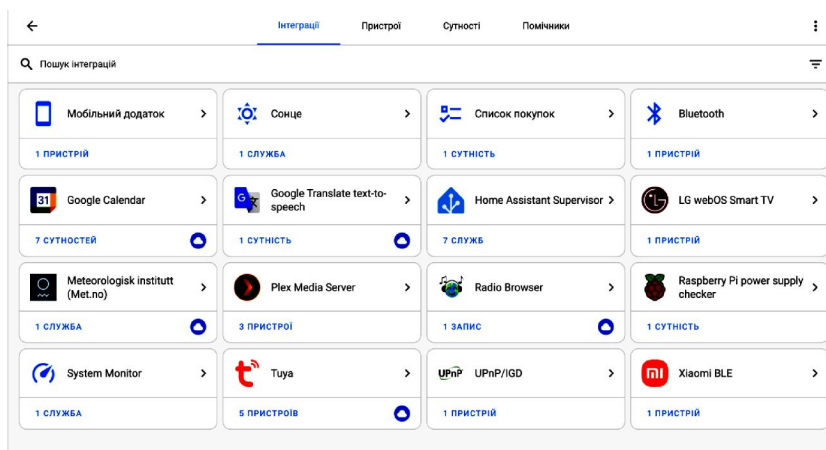


Рис. 1. Додані інтеграції у Home Assistant

Головною сторінкою в Home Assistant є інформаційна панель, яку можна налаштувати як за допомогою візуального редактора в браузері, так і за допомогою коду – YAML шаблонів. Більше рекомендується другий спосіб. Саме в цьому випадку доступно більше функцій, шаблони для перевикористання, контроль версій, гнучкість та швидкість редагування.

←	Інтеграції	Пристрої	Сутності	Помітки	⋮
🔍	Пошук сутностей				204 сутності приховано <b>ОЧИСТИТИ</b>
<input type="checkbox"/>	↑ Назва	ID сутності	Інтеграція	Приміщення	Стат...
<input type="checkbox"/>	[LG] webOS TV UP75003LF	media_player.lg_webos_tv_up75003lf	LG webOS Smart TV	Кухня	—
<input type="checkbox"/>	Датчик температури в кімнаті Вологість	sensor.indoor_temperature_sensor_humidity	Туя	—	—
<input type="checkbox"/>	Датчик температури в кімнаті Стан акумулято...	sensor.indoor_temperature_sensor_battery_state	Туя	—	—
<input type="checkbox"/>	Датчик температури в кімнаті Температура	sensor.indoor_temperature_sensor_temperature	Туя	—	—
<input type="checkbox"/>	Датчик температури за вікном Вологість	sensor.outdoor_temperature_sensor_humidity	Туя	—	—
<input type="checkbox"/>	Датчик температури за вікном Стан акумулят...	sensor.outdoor_temperature_sensor_battery_st...	Туя	—	—
<input type="checkbox"/>	Датчик температури за вікном Температура	sensor.outdoor_temperature_sensor_temperature	Туя	—	—
<input type="checkbox"/>	Приймач Розетка 1	switch.prika_socket.1	Туя	—	—
<input type="checkbox"/>	Сенга в Україні	calendar.ovista_v_ukrayini	Google Calendar	—	—
<input type="checkbox"/>	Список покупок	todo.shopping_list	Список покупок	—	—
<input type="checkbox"/>	Холодильник Розетка 1	switch.kholodilnik_socket.1	Туя	—	—
<input type="checkbox"/>	Advanced SSH & Web Terminal Update	update.advanced_ssh_web_terminal.update	Home Assistant Supervisor	—	—

Рис. 2. Список сутностей всіх пристроїв

Однак цей спосіб не дуже зручний; краще використовувати зручний для користувача IDE. Один зі способів під'єднання до віддалених файлів через мережу – це SMB (Server Message Block) протокол (рис. 3). Один зі способів редагування конфігураційних файлів – через доповнення File Editor показано на рис. 4.

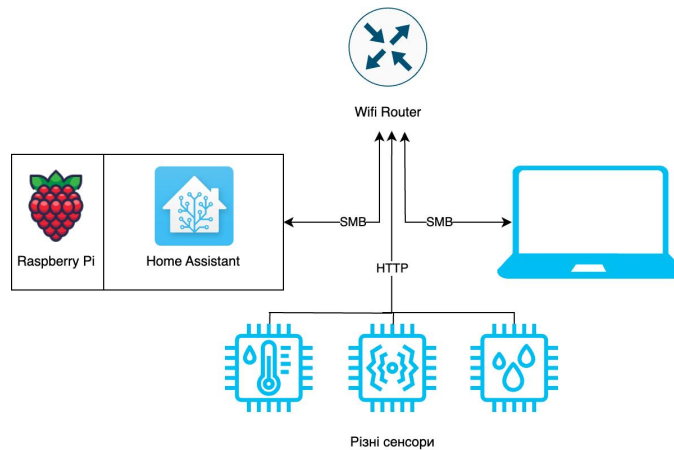


Рис. 3. Доступ до файлів HomeAssistant через SMB протокол

```

File editor
Trigger platform
Select trigger platform
Events
*
Search entity
sensor.example
Entities
[LG] webOS TV UP75003LF (media_p...
Conditions
Services
alarm_control_panel alarm_arm_away

/homeassistant/automatons.yaml
1 id: daily_backup
2 alias: Daily backup
3 description: Daily backup at 21:00
4 trigger:
5 - platform: time
6   at: '21:00:00'
7 condition: []
8 action:
9 - service: hassio.backup_full
10  metadata: {}
11
12   compressed: true
13   homeassistant_exclude_database: false
14   location: Backup
15   service: persistent_notification.create
16   metadata: {}
17   data:
18     message: "\U0001F4BE Backup at {{ now().strftime('%m %d %Y, %H:%M:%S')}} successfully
19     created\n"
20   service: notify.telegram_gregory
21   metadata: {}
22   data:
23     message: "\U0001F4BE Backup at {{ now().strftime('%m %d %Y, %H:%M:%S')}} successfully
24     created\n"
25 mode: single
26 alias: Daily Home Temperature notification
27 description: Daily Home Temperature notification at 8:00
28 id: daily_home_temperature_notification
29 trigger:
30 - platform: time
31   at: '08:00:00'
32 action:
33 - service: notify.telegram_gregory
34   data:
35     message: >
36     % from 'shared_jinja' import daily_home_temperature %}
37     {{ daily_home_temperature() }}
38 - alias: Daily Sun notification
39 description: Daily Sun notification at 8:01

```

Рис. 4. Доповнення File Editor

Після того, як було налаштовано зручний спосіб налаштування конфігурації Home Assistant, можна налаштувати інформаційну панель у зручному редакторі. Приклад налаштування головної панелі через YAML-шаблони показано на рис. 5. У результаті інформаційна панель (головна сторінка системи) має вигляд, який показано на рис. 6.

```

1 views:
2 - title: Home1
3 cards:
4
5 - type: entities
6   entities:
7     - entity: sensor.indoor_temperature_sensor_temperature
8       name: Температура вдома
9     - entity: sensor.indoor_temperature_sensor_humidity
10      name: Вологість вдома
11     - entity: sensor.indoor_temperature_sensor_battery_state
12      name: Стан батареї датчика вдома
13     - entity: sensor.outdoor_temperature_sensor_temperature
14      name: Температура за вікном
15     - entity: sensor.outdoor_temperature_sensor_humidity
16      name: Вологість за вікном
17     - entity: sensor.outdoor_temperature_sensor_battery_state
18      name: Стан батареї датчика за вікном
19   title: Температура
20 - type: entities
21   entities:
22     - entity: sensor.sun_sunset_setting
23       name: Закід Сонця
24       format: time
25     - entity: sensor.sun_sunset_rising
26       name: Схід Сонця
27       format: time
28   title: Закід і Схід Сонця
29   show_current: true
30   show_forecast: true
31   type: weather-forecast
32   entity: weather-forecast_lviv
33   forecast_type: daily
34   name: Хмарно
35   title: WiFi Router
36   type: entities
37   entities:
38     - entity: sensor.wifi_router_data_received
39       name: Отримано
40     - entity: sensor.wifi_router_data_sent
41       name: Надіслано
42     - entity: sensor.wifi_router_download_speed
43       name: Швидкість скачування
44     - entity: sensor.wifi_router_upload_speed
45       name: Швидкість завантаження
46   title: Raspberry PI Статус

```

Рис. 5. Налаштування головної панелі через YAML шаблони

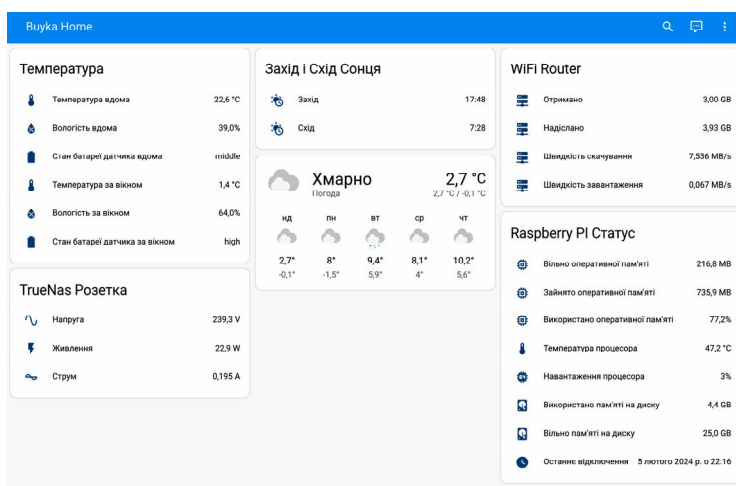


Рис. 6. Налаштована інформаційна панель головної сторінки

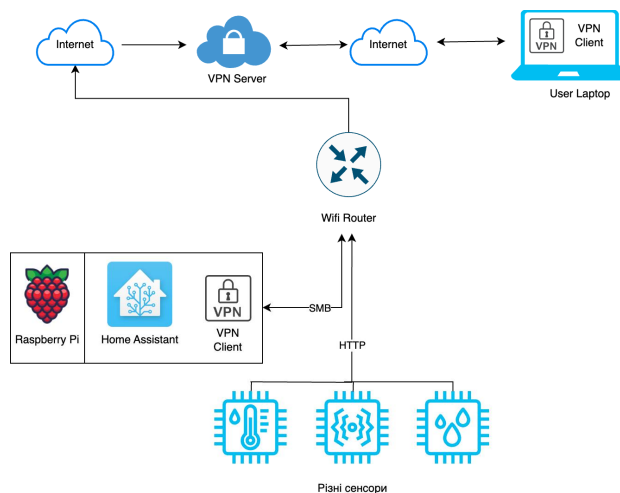


Рис. 7. Схема під'єднання до кіберфізичної системи через VPN

Зробивши базові налаштування системи, необхідно забезпечити віддалений доступ до системи. Архітектурну схему з віддаленим доступом до кіберфізичної системи показано на рис. 7.

Серед основних способів віддаленого доступу (з мережі Інтернет) є такі:

- Хмарні сервіси – у цьому способі необхідно всі дані транслювати у хмарні сервіси, котрі постійно будуть синхронізовані з системою. Серед основних переваг, що такий спосіб є найпростішим, є найбільш захищеним (бо в інтернеті доступна тільки копія системи) та найменші затримки. Недоліком такого способу є те, що вказаний спосіб буде коштувати за надані послуги хмарним сервісом.

- VPN – дає змогу через віртуальну приватну мережу захищено доступитись до системи з Інтернету. Цей спосіб вимагає додаткових налаштувань, як-от встановлення VPN клієнта на системі та пристроях, котрим необхідний доступ до системи, а також або використання сторонніх VPN серверів, або створення власного. Більшість VPN серверів надають свої послуги безкоштовно, тому цей спосіб є умовно-безкоштовним.

- Port Forwarding – надає можливість перенаправляти зовнішній інтернет трафік через роутер до певного порта (а саме порта, на котрому працює система). Цей спосіб відносно простий порівняно з VPN, проте робить системою вразливою для атак, бо будь-хто з Інтернету має доступ. Також варто врахувати, що часто інтернет-провайдери надають динамічну ір-адресу, а за статичну – стягують додаткову плату.

Враховавши всі плюси і недоліки кожного зі способів, було обрано другий спосіб, а саме доступ через VPN із використанням програмного забезпечення Tailscale, адже воно безкоштовне та просте у налаштуванні.

### 3. Реалізація сценаріїв автоматизації в кіберфізичній системі

Одна з ключових переваг і унікальних особливостей системи полягає у здатності організовувати складні автоматизовані процеси, використовуючи широкий спектр інтеграцій і об'єктів, включно з продуктами різних виробників, які працюють на різноманітних комунікаційних протоколах. Для створення автоматизацій можна використовувати як веб-інтерфейс, так і шаблони YAML. Кожна автоматизація складається з тригера-події, після якої спрацьовує автоматизація. Приклади тригерів:

- Зміна стану пристрою. Тригер може бути активований при зміні стану певного пристрою або давача. Наприклад, увімкнення світла при відчиненні дверей або вимикання кондиціонера при відчиненому вікні.

- Графік часу. Тригер може бути активований в певний час або за графіком. Наприклад, увімкнення підсвічування в певний час доби або увімкнення системи опалення за розкладом.


- Події користувача. Тригер може бути активований за певних дій користувача. Наприклад, відправлення сповіщення на мобільний телефон при відчиненні дверей, коли ви відсутні вдома.

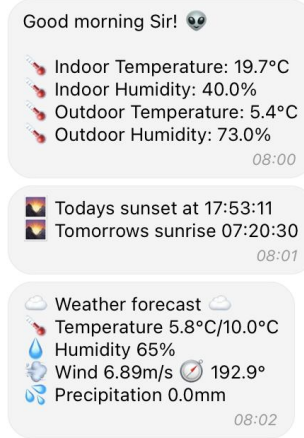
- Геолокація. Тригер може бути активований при в'їзді чи виїзді з певної області. Наприклад, увімкнення системи безпеки при віддаленому відході від дому або увімкнення світла при під'їзді до будинку.

- Погодні умови. Тригер може бути активований за певних погодніх умов. Наприклад, увімкнення системи затемнення вікон при сильному сонці або увімкнення вентиляції у разі високої температури.

Другий етап автоматизації складається з умов. Умову (Condition) у системі використовують для визначення додаткових критеріїв, які повинні бути виконані перед активацією автоматизованого тригера або виконанням дії. Умови допомагають більш точно керувати тим, коли автоматизовані сценарії або інші дії будуть активовані, що дає змогу забезпечити більш гнучке управління. Умова може бути побудована на основі різних факторів, як-от стан пристроїв, час, погодні умови, геолокація тощо. Наприклад, можна налаштувати умову, яка вимагає, щоб температура в приміщенні була нижчою за певний рівень, перш ніж буде увімкнено опалення. Або

ж ви можете налаштувати умову, що вимагає наявності вашого телефону в домашній Wi-Fi мережі перед тим, як вимкнути систему безпеки в домі. Приклад як виглядають автоматизації у системі за допомогою YAML шаблонів показано на рис. 8а. Оскільки система дозволяє інтегрувати як фізичні пристрої, так і зовнішні цифрові та хмарні сервіси, було створено зручні автоматизації, які щоранку надсилають сповіщення з прогнозом погоди, часом сходу та заходу сонця, показниками з датчиків температури та вологості. Також система інтегрована з Google Calendars для отримання нагадувань про дні народження. Усі ці сповіщення надходять через месенджер Telegram (рис. 8б).





а б  
Рис. 8. YAML шаблон для автоматизації (а) та сповіщення від системи у Telegram (б)

Після інтеграції з Telegram, погодним сервісом та Google Calendar, архітектуру системи представлено на рис. 9.

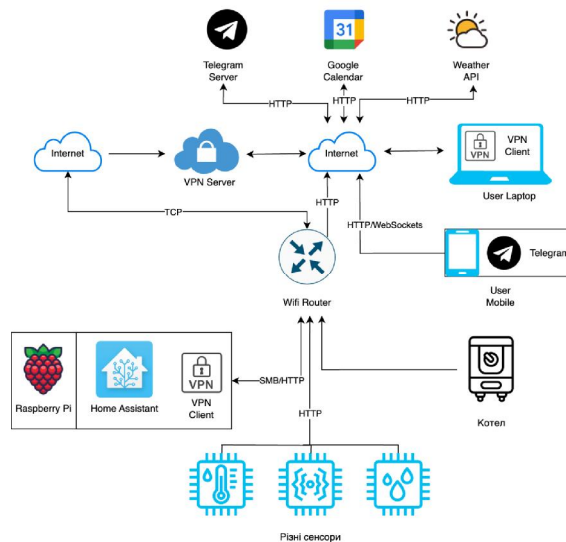
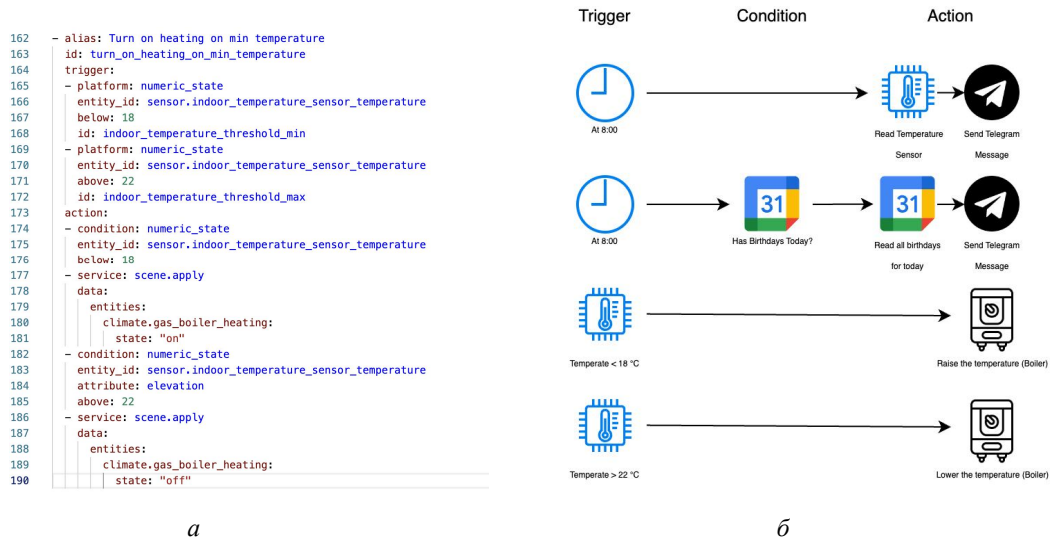


Рис. 9. Архітектура кіберфізичної системи з різними інтеграціями для автоматизації

На базі розгорнутої кіберфізичної системи реалізовано сценарій автоматизації, що полягає в автоматичному налаштуванні газового бойлера відповідно до показників температури в

приміщенні. На рис. 10а показано програмний код, що автоматизує процес увімкнення та вимкнення бойлера залежно від того, чи температура повітря від сенсора вища або нижча за задані показники (рис. 10б).



а

б

Рис. 10. Автоматизація включення/виключення газового бойлера (а) та приклади автоматизацій (б)

Запропонований підхід забезпечує оптимальний мікроклімат усередині приміщень, а також забезпечує більш ефективне використання енергетичних ресурсів. Це своєю чергою не лише створює комфортніші умови для перебування в приміщенні, але й сприяє значному зниженню витрат на енергію.

#### 4. Реалізація методів збору, обробки, аналізу та збереження даних для кіберфізичної системи

Система автоматизації та керування IoT охоплює широкий спектр пристроїв, які контролюють освітлення, опалення, безпеку, електропостачання та інші показники. Зберігання даних, отриманих від цих пристроїв, є критично важливим для забезпечення правильної роботи системи та задоволення потреб користувачів. Важливим є також надійне збереження налаштувань системи для швидкого відновлення у випадку її збою або помилкового налаштування, щоб можна було повернутися до останніх коректних налаштувань.

Система містить вбудований сервіс для створення резервних копій. Це дозволяє автоматизувати процес, наприклад, створюючи повну резервну копію щовечора о 22:00. За замовчуванням, резервні копії зберігаються на тому ж пристрої, де встановлена система, наприклад на Raspberry Pi. Основним носієм даних є карти пам'яті microSD, які можуть зношуватися з часом, тому у випадку їхньої втрати відновлення системи з резервної копії буде неможливим. Безпечніше зберігати резервні копії на більш надійних носіях.

Одним з надійних методів зберігання даних є використання систем NAS (мережевих накопичувачів). NAS – це тип пристрою для зберігання даних, що під'єднується до локальної мережі, забезпечуючи централізований доступ до файлів для різних пристроїв і користувачів. Зазвичай NAS використовують для зберігання файлів, резервного копіювання та обміну даними, а також для виконання інших завдань, пов'язаних зі зберіганням даних. NAS дозволяє робити копії даних на додатковий диск для забезпечення додаткового рівня безпеки та надійності інформації, що стає додатковим захистом від втрати даних через нещасні випадки, пошкодження диску або інші непередбачені обставини.

Оскільки NAS не вимагає значних обчислювальних ресурсів, його можна запустити на міні-ПК. Для цієї мети було обрано міні-ПК на базі процесора Intel N100 (приблизно \$130 за версію з 16

ГБ оперативної пам'яті). Для зберігання даних використовувалися два HDD диски з об'ємом 1 терабайт кожен, що дозволяє зберігати копії на другому диску у випадку втрати даних з першого. У ролі програмного забезпечення було обрано TrueNAS Scale, яке є безкоштовним і доступним із широким спектром функцій.

Після налаштування надійного файлового сховища, в системі Home Assistant було сконфігуровано автоматизацію для створення резервних копій системи щоденно. Ці резервні копії зберігаються на фізичному диску за допомогою протоколу SMB із дублюванням даних на додатковий диск, приєднаний до NAS. Оскільки резервні копії створюються щодня, також було налаштовано CRON JOB – задачу, яка виконується щоденно і видаляє резервні копії, старіші за 7 днів. На рис. 11 показано список резервних копій, збережених на NAS-диску.

Для підвищення надійності та стабільності роботи системи необхідно замінити стандартну базу даних. За замовчуванням, Home Assistant використовує SQLite – реляційну базу даних, яка добре підходить для невеликих обсягів даних і нетривалого використання. Проте для кращого масштабування та стабільнішої роботи рекомендовано перехід, наприклад, на MariaDB. MariaDB розроблена для роботи з великими обсягами даних і високошвидкісними застосунками. Вона підтримує багато користувачів, розподілені бази даних і реплікацію, що робить її ідеальним варіантом для систем, які вимагають масштабованості. Оскільки Home Assistant запущено на Raspberry Pi, що використовує SD-карту для зберігання, що не рекомендовано для постійного запису даних, як це потрібно для збереження станів всіх під'єднаних сенсорів та пристроїв.

Враховуючи наявність NAS-сервера з встановленою операційною системою TrueNAS Scale, яка дає можливість встановлювати різноманітні додатки за допомогою Docker для віртуалізації, для забезпечення надійності та масштабованості системи MariaDB було встановлено саме на TrueNAS. Далі в системі Home Assistant потрібно налаштувати сервіс Recorder (відповідає за збереження даних у базі даних) для зберігання всіх записів у віддаленій базі даних MariaDB.

Зі зростанням кількості під'єднаних пристроїв у системах Інтернету речей збільшується обсяг даних, що генеруються цими системами. Від температури та освітлення до безпеки та розумного управління електроприладами – кожен аспект роботи системи залежить від збору та аналізу великих обсягів даних. Збір та аналіз цих даних стають критично важливими для ефективності роботи системи. Наприклад, аналіз даних про споживання електроенергії може допомогти виявити шляхи зниження витрат та підвищення енергоефективності, що своєю чергою сприятиме зменшенню навантаження на електромережу та зниженню екологічного впливу.

Існуюча база даних MariaDB чудово підходить для стабільної роботи Home Assistant. Однак із збільшенням числа під'єднаних пристроїв та сенсорів обсяг бази даних швидко зростає, особливо якщо політика збору даних не передбачає видалення інформації рідше ніж кожні 30 днів. У такому випадку кращою альтернативою для збереження даних з метою аналізу є використання InfluxDB. Зокрема, InfluxDB відома своєю високою ефективністю в обробці та аналізі даних, що структуровані у форматі часових рядів.. Ця база даних спеціально розроблена для зберігання та маніпулювання великими обсягами часових даних, які часто трапляються у сферах моніторингу, IoT, фінансах та інших. Однією з ключових переваг InfluxDB є її оптимізована архітектура для роботи з часовими рядами, що дозволяє швидко зберігати, запитувати та аналізувати дані з часовим компонентом.

У Home Assistant існує доповнення для збереження даних з сенсорів і пристроїв у InfluxDB, яке було встановлено на сервері TrueNAS. Після інтеграції InfluxDB з Home Assistant дані тепер також дублюються в InfluxDB, забезпечуючи додаткові можливості для їхнього аналізу.

Для візуалізації збережених даних використовується Grafana, потужний інструмент для створення інтерактивних дашбордів, що дозволяє аналізувати різноманітні дані. Grafana підтримує

```
admin@truenas[~/mnt/PersonalMedia/Stuff/HomeAssistant]$ ls -l
total 113044
-rwxrwxr-x+ 1 buyka buyka 16568320 Feb 19 21:00 03b59b5e.tar
-rwxrwxr-x+ 1 buyka buyka 16568320 Feb 21 21:00 3af2083d.tar
-rwxrwxr-x+ 1 buyka buyka 16568320 Feb 20 21:00 504415af.tar
-rwxrwxr-x+ 1 buyka buyka 16568320 Feb 25 13:11 69c01004.tar
-rwxrwxr-x+ 1 buyka buyka 16588800 Feb 24 21:00 7501c295.tar
-rwxrwxr-x+ 1 buyka buyka 16588800 Feb 23 21:00 9586c621.tar
-rwxrwxr-x+ 1 buyka buyka 16588800 Feb 22 21:00 a8729aab.tar
admin@truenas[~/mnt/PersonalMedia/Stuff/HomeAssistant]$ █
```

Рис. 11. Збереженні резервні копії для системи у NAS сервері



велику кількість джерел даних, включаючи бази даних, сервери метрик, часові ряди, API та інше, дозволяючи інтегрувати різноманітні джерела даних у єдиний інтерфейс.

Комбінація Grafana та InfluxDB становить надзвичайно потужний інструмент для візуалізації та аналізу часових даних, забезпечуючи розробникам та аналітикам можливість створювати ефективні та привабливі візуальні представлення для різних типів даних часових рядів, збережених в InfluxDB.

Grafana була встановлена на сервері TrueNAS за допомогою Docker. Після встановлення вказаних програм, архітектуру системи зображено на рис. 12. Для використання даних у Grafana необхідно додати їх як джерело даних (data source) і налаштувати декілька простих запитів за допомогою мови запитів Flux, що дає змогу створювати різноманітні графіки та інформаційні панелі (рис. 13).

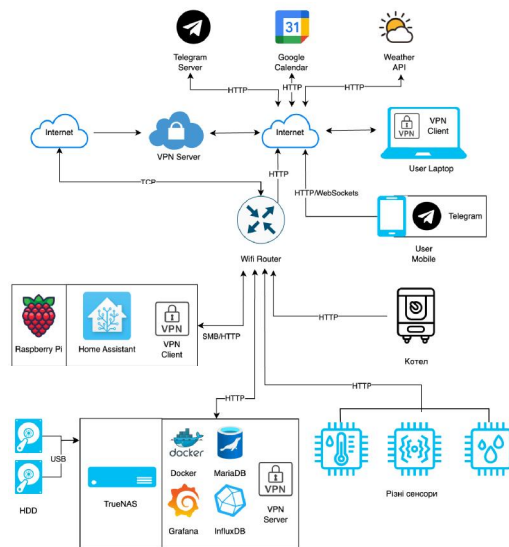


Рис. 12. Архітектура кіберфізичної системи із сервісами збору, обробки, аналізу та зберігання даних

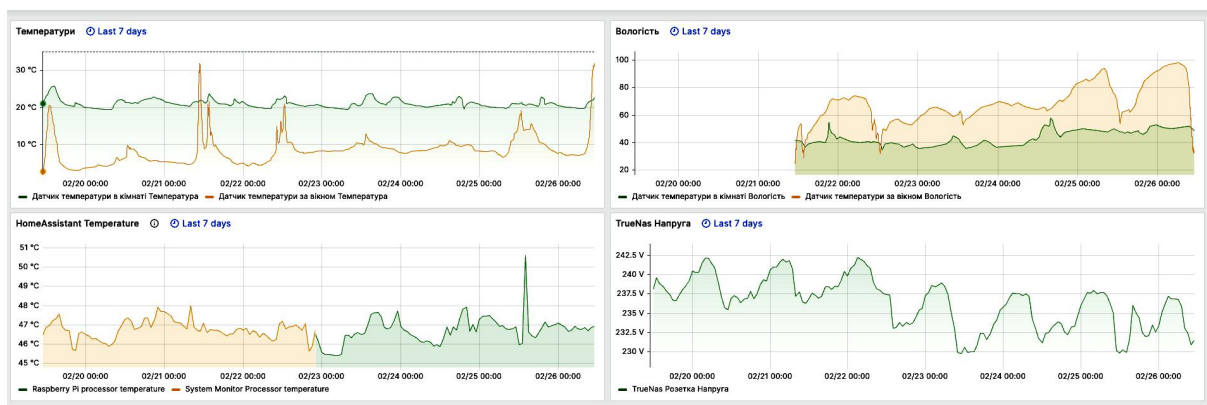


Рис. 13. Отримані графіки з сенсорів та пристроїв у Grafana

Для оцінки ефективності розробленої кіберфізичної системи реалізовано можливість відправки повідомлень через Telegram та використання внутрішніх сповіщень. Сенсори, розташовані у мережі, генерують внутрішні повідомлення, які потім надсилаються користувачам через роутер і можуть бути переглянуті у веб-інтерфейсі або через мобільний застосунок. Паралельно сповіщення в Telegram відправляються через мережу Інтернет. Проведено аналіз тривалості доставки обох типів повідомлень, згідно з яким затримка локальних сповіщень становила всього 10–50 мілісекунд, що є майже непомітним на графіку порівняно з Telegram-сповіщеннями із затримкою в 500–800 мілісекунд.

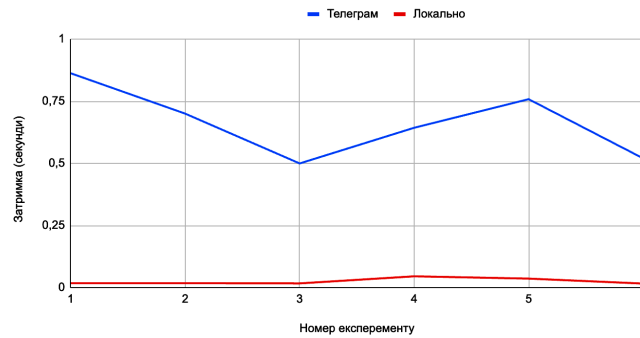


Рис. 14. Порівняння затримок сповіщень через Telegram і локальну мережу кіберфізичної системи

Для подальшого аналізу даних рекомендовано використовувати алгоритми штучного інтелекту, які можуть допомогти в аналізі даних про споживання електроенергії, температуру та інші параметри, навчившись передбачати пікові навантаження та рекомендувати оптимальний розклад використання побутових пристроїв для зниження енерговитрат. За допомогою аналізу даних про рух та взаємодію з різними пристроями в домашньому середовищі штучний інтелект може навчитися розпізнавати звички користувачів та автоматично пристосовувати налаштування системи до їхніх потреб. Наприклад, вмикати світло та налаштовувати температуру за певним графіком або під час активності користувача. Крім того, за допомогою аналізу здоров'я та активності штучний інтелект може створювати персоналізовані рекомендації щодо здорового способу життя та активності, наприклад, надавати поради щодо фізичних вправ, рекомендувати оптимальний режим сну або навіть слідкувати за показниками здоров'я та сповіщати про потенційні проблеми. Отже, кіберфізичну систему побудовано на основі платформи Home Assistant у поєднанні зі штучним інтелектом може надати значний потенціал для аналізу даних та автоматизації різних аспектів домашнього середовища, що сприяє зручності, ефективності та комфорту користувачів.

## Висновки

У роботі розроблено кіберфізичну систему автоматизації та керування Інтернетом речей (IoT) на основі популярної платформи HomeAssistant. Представлено детальний огляд архітектури цієї системи, її реалізації та перспектив використання. Передусім зазначено, що платформа HomeAssistant надає широкі можливості для інтеграції сенсорів різних виробників та додатків різних типів, дозволяючи користувачам створювати комплексні системи моніторингу та керування, що об'єднують різні пристрої в єдину інтелектуальну мережу. Детально розглянуто реалізацію сценаріїв автоматизації для контролю клімату в приміщенні. Завдяки можливостям HomeAssistant, створено комплексні автоматизації, які забезпечують оптимальне управління температурою та вологістю, реагуючи на зміни погодних умов та переваги користувачів. HomeAssistant пропонує зручні інструменти для налаштування умовних дій та реакцій на певні події в системі, що сприяє автоматизації рутинних процесів та оптимізації роботи IoT пристроїв. Для забезпечення надійності та доступності даних реалізовано можливість створення резервних копій на окремому NAS сервері. Для збереження даних використовується окрема база даних MariaDB, а для аналізу та візуалізації даних застосовуються InfluxDB та Grafana відповідно. Окрім цього, проведено аналіз затримок сповіщень через Telegram і локальну мережу кіберфізичної системи, встановивши, що обидва методи забезпечують швидке отримання інформації. Описано, як застосування Home Assistant разом із штучним інтелектом підвищує зручність, продуктивність та рівень комфорту у домашніх умовах завдяки інтелектуальній автоматизації.

## Подяка

Наведену статтю підготовлено завдяки грантової підтримки Національного Фонду Досліджень України, реєстраційний номер проєкту 2022.01/0009 «Оцінювання та прогнозування загроз відбудові та сталому функціонуванню об'єктів критичної інфраструктури» за конкурсом «Наука для відбудови України у воєнний та повоєнний періоди».

### Список використаних літературних джерел

- [1] A. Luntovskyy, M. Beshley, D. Guetter ma H. Beshley, "Technologies and Solutions for Smart Home and Smart Office", у *Studies in Systems, Decision and Control*. Cham: Springer Nat. Switz., 2023, pp. 189–225, [https://doi.org/10.1007/978-3-031-40997-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-40997-4_13)
- [2] M. Beshley, N. Kryvinska, H. Beshley, O. Kochan ma L. Barolli, "Measuring End-to-End Delay in Low Energy SDN IoT Platform", *Comput., Mater. & Continua*, m. 70, № 1, pp. 19–41, 2022, <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.018579>
- [3] H. Varshney, A. S. Allahloh and M. Sarfraz, "IoT Based eHealth Management System Using Arduino and Google Cloud Firestore," 2019 International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON), Aligarh, India, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/UPCON47278.2019.8980238.
- [4] Y. Zhou, F. R. Yu, J. Chen and Y. Kuo, "Cyber-Physical-Social Systems: A State-of-the-Art Survey, Challenges and Opportunities," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, no. 1, pp. 389-425, Firstquarter 2020, doi: 10.1109/COMST.2019.2959013.
- [5] M. T. Islam, M. S. Azad, M. S. Ahammed, M. W. Rahman, M. M. Azad, and M. K. Nasir, "IoT enabled virtual home assistant using raspberry pi," in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, Singapore: Springer Nature Singapore, 2022, pp. 559–570, [https://doi.org/10.1007/978-981-19-2281-7\\_52](https://doi.org/10.1007/978-981-19-2281-7_52)

## DEVELOPMENT OF A CYBER-PHYSICAL SYSTEM FOR AUTOMATION AND CONTROL OF THE INTERNET OF THINGS USING THE HOME ASSISTANT PLATFORM

M. Beshley, Y. Shkoropad, H. Beshley

*Lviv Polytechnic National University, S. Bandery Str., 12, 79013, Lviv, Ukraine*

The paper presents the development of a cyber-physical system based on the HomeAssistant platform for efficient automation and control of Internet of Things (IoT) devices. The architectural features, technical implementation and prospects for the development of the system are considered, with an emphasis on the ability to integrate a wide range of sensors and IoT devices into a single network to create adaptive and intelligent solutions. The main focus is on the implementation of automation scenarios for indoor climate control, which optimise living conditions depending on the internal needs of users and external weather conditions, significantly increasing energy efficiency and overall comfort. Data storage and analysis strategies are described in detail, including the use of NAS servers for backup, the use of MariaDB for storage and InfluxDB and Grafana for analytics and visualisation, ensuring a high level of reliability and availability of information. Testing was conducted to assess the delay of notifications transmitted via Telegram and the internal network of the cyber-physical system. The obtained results confirm the high efficiency of the implemented cyber-physical system in ensuring instant delivery of notifications, which is a key aspect for rapid response to critical situations in a dynamic environment. The Home Assistant platform has been found to have extensive capabilities to support artificial intelligence services. It integrates with a variety of services such as Google Assistant, TensorFlow, DeepStack, Amazon Alexa, and allows you to easily expand its functionality with additional components and plug-ins. Using intelligent algorithms and data analysis, the system can independently make decisions on the optimal use of resources, monitor devices in accordance with changing conditions and user needs, and respond to dangerous or unpredictable situations.

**Keywords:** *cyber physical system, sensors, home assistant platform, telegram, raspberry pi, influxdb, grafana, docker, artificial intelligence.*