

ІНТЕГРАЦІЯ NODE-RED ТА OPENAI API ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ АНАЛІТИКИ

В.О. Щербинін¹

¹ Automation and Telecommunications Department, Donetsk National Technical University, Drohobych, Ukraine

E-mail: vladyslav.shcherbynin@donntu.edu.ua

Отримано 24.12.2024

Прийнято до публікації 28.12.2024

Опубліковано 31.12.2024

АНОТАЦІЯ

Мета цієї роботи визначається необхідністю створення доступної та функціональної інтелектуальної аналітичної системи для автоматизації процесів збору, обробки та аналізу даних. Запропонована система базується на інтеграції платформи Node-RED, OpenAI API та міні комп'ютера Raspberry Pi. Такий підхід дозволяє ефективно вирішувати задачі моніторингу, прогнозування та оптимізації у різних галузях, забезпечуючи гнучкість та економічну доступність.

У роботі проаналізовано переваги та обмеження використання low-code платформ для створення потоків обробки даних, що значно спрощує інтеграцію систем автоматизації. Node-RED забезпечує можливість швидкої побудови робочих процесів, тоді як OpenAI API додає інструменти для глибокого аналізу даних за допомогою моделей штучного інтелекту. Raspberry Pi виступає як економічна апаратна база, що підходить для малого та середнього бізнесу.

Проведені експерименти дозволили визначити ключові фактори продуктивності та стабільності системи. Результати тестування показали, що система здатна обробляти великі обсяги даних у реальному часі, виявляти аномалії та забезпечувати оперативне інформування операторів про можливі відхилення. Особливу увагу приділено аналізу економічної ефективності, що підтверджує значну перевагу над традиційними рішеннями, які потребують високих витрат на впровадження.

Враховуючи можливість широкого використання розробленої системи, у роботі також запропоновано рекомендації щодо її масштабування, інтеграції з хмарними сервісами та застосування для розв'язання специфічних задач у різних галузях. Такий підхід забезпечує підприємствам можливість швидкої адаптації до змін у технологічних умовах, знижуючи залежність від дорогих та складних рішень.

Розробка цієї системи є важливим кроком у напрямку забезпечення доступності сучасних технологій для підприємств різного масштабу. Запропоноване рішення спрямоване на підвищення ефективності виробничих процесів та створення економічно вигідних інструментів автоматизації, що відповідають сучасним вимогам ринку.

Ключові слова: Node-RED, OpenAI API, Raspberry Pi, автоматизація, low-code, моніторинг, прогнозування.

ВСТУП

У сучасних умовах цифрової трансформації важливим завданням для багатьох підприємств є впровадження автоматизованих систем збору, обробки та аналізу даних. Ці системи дозволяють підвищити ефективність виробничих процесів, знизити витрати на обслуговування обладнання та забезпечити високу точність прогнозування відмов або аномалій у роботі технічних систем.

Однак більшість традиційних рішень у цій галузі є високоартісними та складними у впровадженні, що значно обмежує їх доступність для малих і середніх підприємств. Саме тому виникає необхідність у розробці економічно доступних та функціонально ефективних систем, які базуються на сучасних технологіях і забезпечують гнучкість у налаштуванні під потреби користувачів.

У цій роботі запропоновано використання платформи Node-RED у поєднанні з OpenAI API для створення інтелектуальної аналітичної системи. Node-RED забезпечує low-code підхід до побудови потоків обробки даних, що знижує вимоги до програмування, а OpenAI API додає розширені можливості аналізу даних за допомогою штучного інтелекту.

Для розробки системи використано Raspberry Pi, бюджетний та універсальний міні комп'ютер, який дозволяє інтегрувати сенсори, обробляти інформацію та виконувати складні аналітичні задачі. Такий підхід забезпечує низькі витрати на впровадження, простоту у використанні та високу адаптивність системи до різних умов.

Метою дослідження є створення економічно вигідної системи збору та аналізу даних, яка може бути впроваджена на підприємствах різного масштабу. У роботі розглядаються ключові аспекти розробки, аналізуються переваги та недоліки запропонованого підходу, а також демонструється практичне застосування системи на прикладі автоматизації процесів моніторингу обладнання.

Таким чином, результати цього дослідження спрямовані на розв'язання проблеми доступності сучасних технологій для автоматизації виробництва та управління даними, а також на підвищення їх ефективності й зниження витрат на впровадження.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У сучасній науковій літературі значна увага приділяється автоматизації процесів збору та аналізу даних. Використання технологій штучного інтелекту (ШІ) для обробки великих обсягів інформації стало ключовою темою численних досліджень. Однак більшість існуючих підходів орієнтовані на висококоштовні та складні у впровадженні рішення, які можуть бути недоступними для малих і середніх підприємств через їхню високу вартість або складність інтеграції.

Інтеграція low-code у промисловості демонструє переваги платформ, таких як Node-RED, для швидкої інтеграції систем збору даних [1]. Node-RED дозволяє розробникам створювати ефективні робочі потоки без необхідності в глибоких знаннях програмування, що значно скорочує час і витрати на впровадження [2]. Платформа є універсальною і може застосовуватися як у промисловості, так і в комерційних проектах.

Роль штучного інтелекту у промислових системах висвітлює використання ШІ для виявлення аномалій у промислових процесах. Можна підкреслити те, що інтеграція моделей ШІ, таких як OpenAI API, дозволяє значно покращити точність аналізу та прогнозування [3]. Це є особливо корисним для попередження аварій, оптимізації використання обладнання та планування технічного обслуговування.

Економічні рішення для збору даних можна описати перевагами використання економічних пристроїв, таких як Raspberry Pi, для розробки систем моніторингу. Raspberry Pi поєднує низьку вартість із високою функціональністю, що робить його ідеальним вибором для малих і середніх підприємств [4]. Пристрій підтримує платформи, такі як Node-RED, що дозволяє легко інтегрувати його в існуючі системи збору даних.

Аналізуючи практичне використання моделей ШІ, які представлені в наукових дослідженнях раніше можна зазначити, що моделі OpenAI API успішно застосовуються для аналізу текстових і числових даних. Інтеграція таких моделей у системи автоматизації дозволяє автоматично виявляти аномалії, класифікувати інформацію та прогнозувати майбутні події з високою точністю.

Постановка проблеми. На основі аналізу літератури можна виділити кілька ключових проблем і задач для розв'язання:

1. *Висока вартість традиційних систем.* Традиційні рішення для автоматизації й аналітики є дорогими у впровадженні та обслуговуванні, що ускладнює їхнє використання малими підприємствами.

2. *Складність інтеграції.* Більшість сучасних систем потребують значних зусиль для впровадження, включаючи спеціалізовані знання, обладнання та програмне забезпечення.

3. *Обмежений доступ до технологій ШІ.* Складні у використанні та висококоштовні системи, засновані на ШІ, залишаються недоступними для багатьох компаній.

4. *Потреба в універсальності та гнучкості.* Відсутність платформ, які б одночасно були економічними, масштабованими та простими у використанні.

Таким чином, виникає необхідність розробки економічно доступної та функціонально ефективної системи, яка могла б автоматизувати збір, обробку та аналіз даних. Запропоноване дослідження спрямоване на подолання цих обмежень шляхом інтеграції Node-RED, OpenAI API та Raspberry Pi. Така інтеграція дозволяє створювати інтелектуальні аналітичні системи, які є економічно вигідними, простими у впровадженні та масштабованими для використання в різних галузях

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботі використано метод візуального програмування. В ході роботи досліджено наукові праці та методичну літературу з використанням інформаційно-аналітичного підходу, також розглянуто онлайн ресурси та спеціалізовані сайти виробників обладнання, яке розглянуто у роботі для отримання матеріалів та інформації за тематикою статті.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для кращого розуміння запропонованої системи на Рис. 1 представлено блок-схему, яка демонструє поетапний процес її роботи. Як приклад розглянуто підприємство, на якому є обладнання з підключеними сенсорами. Ці сенсори реєструють ключові параметри роботи, зокрема:

- температура електронних компонентів;
- тиск у системі;
- напруга (постійного або змінного струму);
- швидкість обертання або інші технологічні показники.

Зібрані дані надходять до центрального блоку обробки, який розроблено на базі Raspberry Pi. Raspberry Pi, завдяки своїй низькій вартості та універсальності, виступає ідеальним пристроєм для таких задач, особливо у поєднанні з платформою Node-RED.

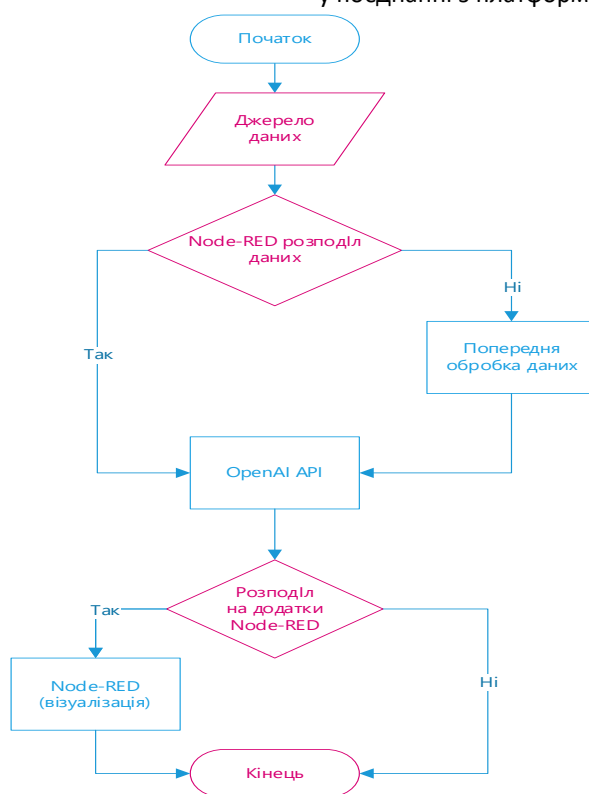


Рис. 1. Блок-схема роботи системи інтелектуальної аналітики

ЕТАПИ РОБОТИ СИСТЕМИ

На першому етапі сенсори, підключені до обладнання, передають дані через протоколи MQTT або HTTP до Raspberry Pi. Завдяки Node-RED система приймає ці дані у вигляді JSON-об'єктів, що спрощує їх подальшу обробку. Рис. 2. Обробка даних у Node-RED виконується таким чином, що створюються потоки, які дозволяють виконувати операції:

- *фільтрація* – видалення зайвих або некоректних даних.
- *нормалізація* – приведення значень до єдиного формату.
- *розрахунки* – обчислення технологічних показників, таких як середнє значення, відхилення від норми тощо [5].

Приклад фрагменту коду для фільтрації:

```
if (msg.payload.value > 0) {
    return msg;
} else {
    return null;
}
```

Наступним етапом є передача оброблених даних до OpenAI API. Node-RED підтримує інтеграцію з OpenAI API через спеціальні бібліотеки. Залежно від потреб, можна обрати одну з таких бібліотек:

- @inductiv/node-red-openai-api – базова бібліотека для роботи з OpenAI[6].
- node-red-contrib-openai – розширений модуль із додатковими функціями.

Незалежно від обраної бібліотеки, принцип роботи залишається незмінним: дані передаються через HTTP-запит, а відповідь API містить аналітичну інформацію, наприклад, прогноз або текстову рекомендацію.

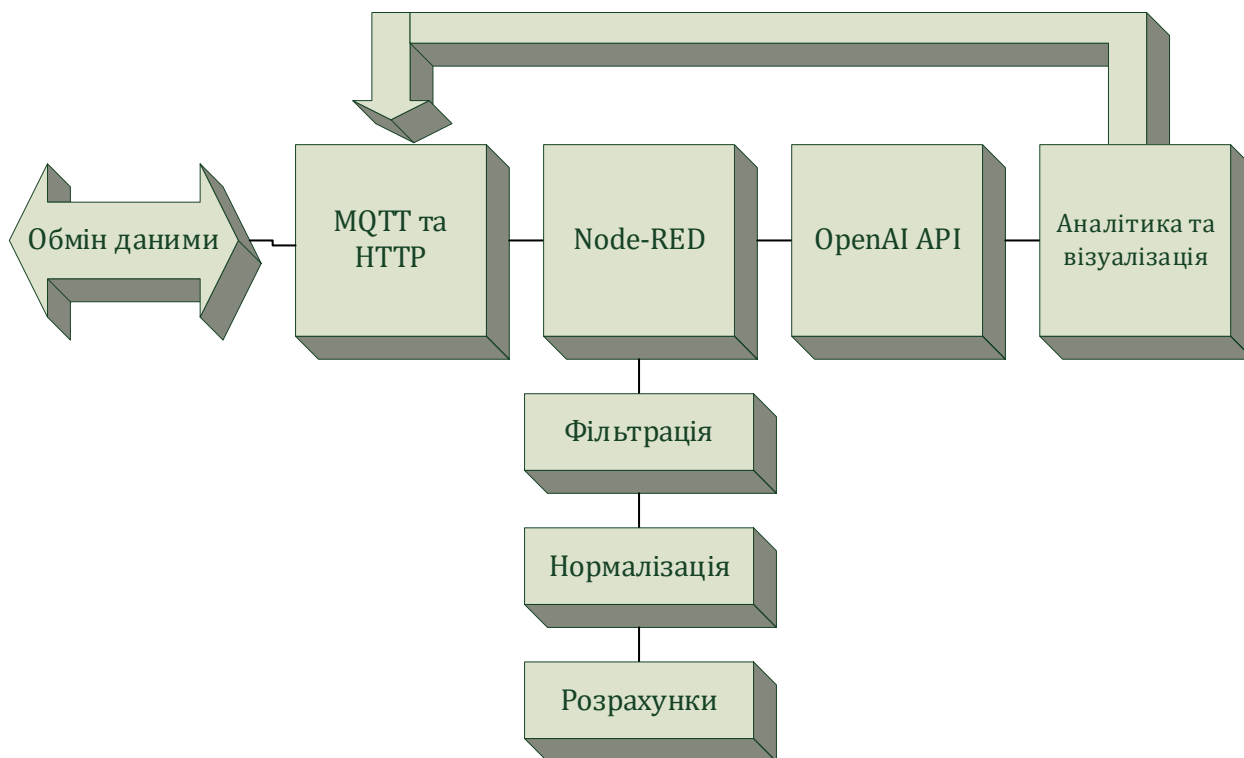


Рис. 2. Структура процесу обробки та аналізу даних у Node-RED

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ ТА АНАЛІТИКИ

Отримані результати передаються назад у Node-RED для подальшої візуалізації. Використовується Node-RED Dashboard, який надає можливість створювати графіки, таблиці та текстові сповіщення. Наприклад, динаміка температури може бути представлена у вигляді лінійного графіка, а виявлені аномалії – у вигляді текстових сповіщень. Node-RED є потужним середовищем програмування з великим функціоналом та численними

бібліотеками. Окрім інтеграції з OpenAI API, платформа дозволяє:

- підключати інші сервіси для зберігання даних, наприклад, MongoDB або InfluxDB;
- використовувати блоки для роботи з зовнішніми API, такими як Google Sheets чи Slack;
- налаштовувати інтерактивні елементи інтерфейсу для користувачів.

Важливість автоматизації з використанням доступних low-code інструментів підтверджується в дослідних роботах [4], де зазначено, що такі підходи дозволяють значно скоротити витрати на впровадження технологій автоматизації, особливо для малих і середніх підприємств. Також підкреслюється, що Raspberry Pi є ідеальним пристроєм для реалізації систем збору та обробки даних через його доступність та енергозбереження.

Окремо слід зазначити різницю між бібліотеками для роботи з OpenAI API. Деякі з них мають більшу кількість підключених сервісів, наприклад, можливість роботи з декількома моделями ШІ одночасно. Інші спеціалізуються на певних завданнях, таких як генерація текстів чи аналітика числових даних. Проте незалежно від обраної бібліотеки, структура запитів до OpenAI API залишається сталою. Це забезпечує універсальність системи, яка може бути адаптована до будь-яких потреб підприємства Рис .3.

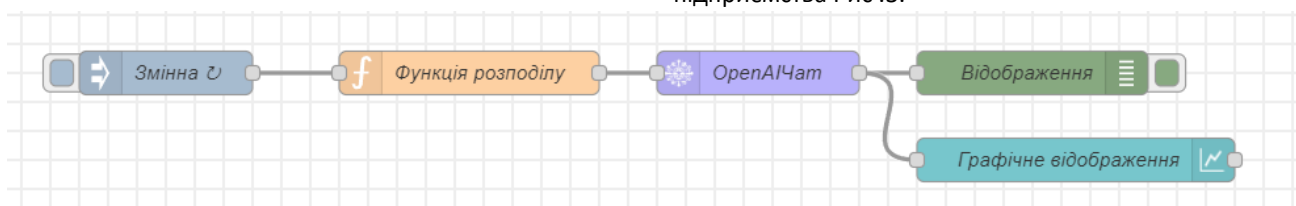


Рис. 3. Схема Node-RED з блоками OpenAI API та візуальним відображенням

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ТЕСТУВАННЯ

Для оцінки ефективності розробленої системи було проведено експериментальне тестування із використанням даних платформи Smart MAIC. Цей сервіс надає доступ до демо-версії, що містить показники роботи різних технологічних процесів у реальному часі. Даний сервіс пропонує зручний інтерфейс для моніторингу багатьох параметрів: температура компонентів обладнання, тиск у системах, рівень енергоспоживання, витрати ресурсів (газ, вода тощо).

Smart MAIC – це інтелектуальна платформа для моніторингу та управління виробничими процесами. Вона дозволяє підприємствам контролювати стан обладнання в реальному часі, аналізувати показники та виявляти аномалії [7].

Для експерименту було обрано масив даних із платформи, що охоплював показники температури, тиску та витрат енергії за 24 години. Дані були експортовані у форматі CSV і імпортовані в Node-RED для подальшої обробки.

Потоки Node-RED включали такі етапи:

1. Обробка даних в яку входить фільтрація некоректних значень та нормалізація даних для уніфікації одиниць вимірювання.

2. Аналіз із використанням OpenAI API, а саме генерація текстових рекомендацій на основі вхідних показників та виявлення аномалій у даних, таких як різкі зміни температури або перевищення допустимого рівня енергоспоживання.

3. Візуалізація результатів. Отримані результати передавалися в Node-RED Dashboard Рис. 4, де дані

відображалися у вигляді динамічних графіків і таблиць із аномаліями.

Результати експерименту показали, що система працює в нормальному режимі. Певних аномалій в масиві даних виявлено не було зокрема одного значення коли показник тиску став меншим на 30%. Такий показник був один раз і нажаль неможливо сказати, була це фізична проблема в обладнанні чи помилка десь в передачі даних або програмі.

Важливо пам'ятати про можливість штучного інтелекту прогнозувати майбутні відхилення. OpenAI API, аналізує тренди у даних, після чого прогнозує можливе перевищення енергоспоживання в пікові години. Це дозволяє підприємству заздалегідь оптимізувати роботу обладнання.

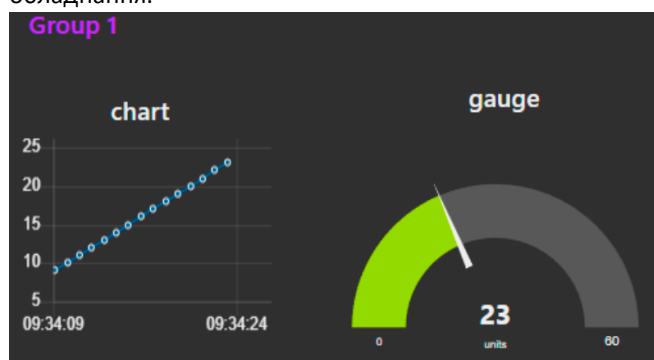


Рис. 4. Візуалізація даних у Node-RED Dashboard

Якщо розглядати переваги використання Node-RED та OpenAI API. Для аналізу можна виділити гнучкість у роботі з даними. Платформа Node-RED дозволяє легко адаптувати потоки обробки під різні формати даних. OpenAI API надає розширені можливості для аналізу

даних, які виходять за межі стандартних математичних розрахунків. Значним фактором є економія часу. Завдяки автоматизації обробки великих масивів даних підприємства можуть швидко отримувати ключові інсайти без потреби в додатковому обладнанні чи програмуванні.

МОДИФІКАЦІЇ СИСТЕМИ ДЛЯ РІЗНИХ ПОТРЕБ

Однією з ключових переваг розробленої системи є її гнучкість і можливість адаптації до різних умов та завдань. Розглянуто кілька прикладів модифікації системи для специфічних сценаріїв, наприклад моніторинг енергоспоживання.

В якості прикладу це можна розглянути як ситуацію на підприємстві. На певне обладнання інтегрували сенсори напруги та струму для аналізу енергоспоживання. В такому випадку людина може піти різними напрямками, наприклад можна скористатися блоком обчислення потужності, де буде використовуватися формула для розрахунку поточної споживаної потужності. Після цього потрібно виставити порогові значення через інші блоки або розширювати формули задані у блоках раніше. Надалі додається блок OpenAI API який зможе прогнозувати подальшу роботу пристрою з якого знімаються дані. Однак це можна також скоротити якщо самі розрахунки також буде виконувати OpenAI API.

Завдяки системі розглянутій в роботі з'являється можливість оптимізувати планування технічного обслуговування обладнання. Модель штучного інтелекту аналізує тенденції у даних і рекомендує проведення технічного обслуговування, мінімізувавши простої у виробничому процесі [8].

ПРОТОКОЛ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

В роботі при експериментальному дослідженні використовувався протокол передачі даних MQTT. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) – це легкий протокол обміну повідомленнями, який використовується для передачі даних між пристроями в мережах IoT (Інтернет речей). Він створений для забезпечення ефективного обміну інформацією в умовах обмежених ресурсів, таких як низька пропускна здатність мережі або обмежена обчислювальна потужність пристроїв.

MQTT базується на моделі "публікація/підписки", яка включає три основні компоненти:

1. *Клієнт* – пристрій, який підключається до брокера для надсилання (публікації) або отримання (підписки) повідомлень.

2. *Брокер* – центральний сервер, який управляє передачами повідомлень між клієнтами.

3. *Тему (Topics)* – ієрархічні канали, через які передаються повідомлення.

Сам процес передачі даних через MQTT проходить так, що клієнт встановлює з'єднання з брокером через протокол TCP/IP, використовуючи мінімальні параметри конфігурації (адресу брокера, порт, ідентифікатор клієнта). Надалі клієнт надсилає повідомлення на певну тему. Наприклад, сенсор температури може надсилати дані на тему `sensors/temperature`. Інші клієнти підписуються на конкретну тему, щоб отримувати всі повідомлення, які публікуються на ній. Наприклад, клієнт, який виконує моніторинг температури, підписується на `sensors/temperature`. Доставка повідомлень виконується брокером. Він пересилає отримані повідомлення від клієнта, який публікує всім підписникам відповідної теми[9].

До Node-RED вбудовані блоки для роботи з MQTT, які дозволяють легко інтегрувати цей протокол у систему. (MQTT In (вхідний блок): Використовується для отримання повідомлень із тем. MQTT Out (вихідний блок): Використовується для публікації повідомлень у теми.) Приклад потоку: Сенсор температури надсилає дані через MQTT Out на тему `home/sensors/temperature`. Клієнт у Node-RED підписується на дану тему через MQTT In. Після чого дані можна обробляти та візуалізувати.

Виходячи з усього сказаного виділяються певні переваги, такі як ефективність, а саме мінімальна втрата ресурсів. Даний протокол ідеально відходить для пристроїв із низьким енергоспоживанням. Протокол має широкий спектр сценаріїв, від домашньої автоматизації до промислового моніторингу невеликих компаній. Вбудована система якості обслуговування (QoS) забезпечує надійну доставку повідомлень навіть у ненадійних мережах.

Однак важливо пам'ятати про недоліки. Залежність від брокера, що означає у разі виходу з ладу брокера передача повідомлень припиняється. Також відсутність стандартного шифрування. Для безпечного з'єднання потрібно додатково налаштувати протоколи, так як TLS.

ОСНОВНІ НЕДОЛІКИ СИСТЕМИ

Незважаючи на переваги розробленої системи, слід враховувати низку недоліків, які можуть впливати на її ефективність та застосування. Суть даної системи полягає в постійному підключенні до мережі інтернету. У віддалених регіонах або в умовах нестабільного з'єднання можливі перебої у функціонуванні. Звісно це

можливо вирішити за допомогою використання локальної моделі штучного інтелекту як альтернатива OpenAI API. Однак це вимагає додаткових ресурсів для їх розгортання.

Розглядаючи Raspberry Pi, то можна виділити проблему обмеженої обчислювальної потужності. Це може створити затримки при роботі з великими обсягами даних або високою кількістю підключених сенсорів. Для масштабних проектів варто використовувати більш потужні апаратні рішення, такі як промислові міні-комп'ютери.

Як вже було сказано, відсутність механізму шифрування протоколів обміну даними. Рішенням є впровадження додаткових рівнів безпеки для захисту переданих даних.

Можливо найбільшою проблемою системи, що розглядається є затримки у роботі з OpenAI API може перевищувати 3–4 секунди при піковому навантаженні, що може бути критичним у реальних умовах із високими вимогами до швидкодії. Рішенням може виступати кешування результатів аналізу для повторюваних сценаріїв, а також можна окремо придбати розширений пакет послуги у OpenAI для ліпшої підтримки зі сторони штучного інтелекту.

Сценарій використання системи має великий спектр використання, однак дана система орієнтована на аналіз даних і виявлення аномалій, але не передбачає розширених функцій, таких як автоматичне управління обладнанням [10].

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Результати проведених досліджень демонструють, що запропонована система, побудована на базі Node-RED, OpenAI API та Raspberry Pi, є ефективним, економічно доступним та гнучким інструментом для автоматизації збору, обробки та аналізу даних. Нижче наведено ключові аспекти обговорення отриманих результатів:

– Технічна ефективність розробленої система підтвердила свою здатність обробляти дані в режимі реального часу та забезпечувати їх точний аналіз. Зокрема Node-RED ефективно виконує завдання фільтрації, нормалізації та попередньої обробки даних. OpenAI API забезпечує непогані показники і розпізнавання аномалій, що є критично важливим для попередження відмов обладнання. З більшим об'ємом даних і вхідними правильно заданими параметрами штучний інтелект з часом буде працювати ефективніше.

– Використання Raspberry Pi як центрального обчислювального вузла показало, що навіть недорогі апаратні рішення здатні підтримувати складні аналітичні

задачі. Система демонструє значну перевагу у зниженні вартості впровадження у порівнянні з традиційними підходами. Використання доступних апаратних та програмних платформ забезпечує: мінімальні витрати на обладнання, скорочення потреби у спеціалізованих технічних знаннях, завдяки low-code підходу Node-RED.

– Запропонована система легко адаптується до різних потреб підприємств. Її можна інтегрувати з додатковими сенсорами, базами даних або сервісами. Система дозволяє швидко змінювати алгоритми обробки даних чи прогнози відповідно до нових вимог бізнесу. Ефективність використання у виробничих умовах, експериментальне тестування показало, що система справляється з реальними даними, такими як показники температури, тиску та енергоспоживання. Хоча виявлення одного аномального показника (різке зниження тиску) не дало змоги точно ідентифікувати причину, однак все ж система виявила свою здатність фіксувати подібні події.

– Система має великий потенціал для подальшого розвитку. Інтеграція нових протоколів передачі даних (наприклад, LoRa або Zigbee) може розширити її застосування у віддалених або складних умовах. Використання додаткових моделей ШІ для обробки інших типів даних, таких як зображення чи звук, може підвищити універсальність системи.

– Обмеження системи в залежність від стабільного інтернет-з'єднання для використання OpenAI API може бути проблемою для віддалених підприємств. Для коректної роботи системи необхідне налаштування специфічних параметрів, що потребує початкового залучення технічного персоналу.

Однак насамперед, важливим є внесок у розвиток технологій для малих і середніх підприємств в майбутньому. Результати дослідження підтверджують, що інтеграція доступних технологій, таких як Raspberry Pi і Node-RED, із сучасними інструментами штучного інтелекту може суттєво розширити доступність автоматизації. Це створює нові можливості для цифрової трансформації малих і середніх підприємств.

ВИСНОВКИ

Дослідження продемонструвало ефективність використання low-code платформ, таких як Node-RED, у поєднанні з OpenAI API та недорогим обладнанням, наприклад, Raspberry Pi, для створення систем автоматизації збору, обробки та аналізу даних. Запропонований підхід дозволяє забезпечити гнучкість, масштабованість і доступність, особливо для малих та середніх підприємств, які стикаються з фінансовими або технічними обмеженнями.

Розроблена система надає можливість інтеграції сенсорів для моніторингу технічних параметрів, таких як температура, тиск, напруга, чи інші показники, із подальшою обробкою даних за допомогою Node-RED. Використання OpenAI API додає потужні аналітичні інструменти, здатні автоматично виявляти аномалії, прогнозувати майбутні показники та надавати текстові рекомендації для оптимізації роботи.

Експериментальне тестування із застосуванням платформи Smart MAIC підтвердило працездатність системи, а також продемонструвало можливість її адаптації під специфічні потреби, наприклад, аналіз енергоспоживання або планування технічного обслуговування. Важливу роль у функціонуванні системи відіграє протокол MQTT, що забезпечує ефективний і надійний обмін даними між пристроями.

Завдяки запропонованому підходу вирішуються ключові проблеми традиційних систем автоматизації:

- *Економічна доступність* – використання Raspberry Pi та безкоштовних бібліотек Node-RED знижує витрати на впровадження.

- *Простота впровадження low-code* – методологія зменшує потребу у висококваліфікованих програмістах.

- *Гнучкість і масштабованість* – система легко адаптується до різних завдань завдяки модульній архітектурі Node-RED.

- *Інтеграція ШІ* – OpenAI API забезпечує інтелектуальний аналіз, розширюючи функціональність традиційних систем.

Отримані результати свідчать про перспективність застосування розробленої системи у промисловості, комерційній сфері та для моніторингу критично важливих процесів. Її впровадження може значно підвищити ефективність виробничих операцій, мінімізувати витрати та забезпечити високий рівень автоматизації за доступною ціною.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Node-RED Documentation. [Онлайн] URL: <https://nodered.org/>. Дата звернення: 20.12.2024.
- [2] Embracing AI and Low-Code Solutions: Navigating Challenges and Opportunities in Manufacturing. [Онлайн] URL: [AI and Low-Code in Manufacturing: Challenges and Opportunities](#). Дата звернення: 20.12.2024.
- [3] S. Givnan, C. Chalmers, P. Fergus, S. Ortega, and T. Whalley, "Real-Time Predictive Maintenance using Autoencoder Reconstruction and Anomaly Detection", 2021. [Онлайн] URL: <https://arxiv.org/abs/2110.01447>. Дата звернення: 20.12.2024.
- [4] Huu-Quoc Nguyen, Ton Thi Kim Loan, Bui Dinh Mao, and Eui-Nam Huh, "Low Cost Real-Time System Monitoring Using Raspberry Pi," 2015, doi: 10.1109/ICUFN.2015.7182665. [Онлайн] URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7182665>. Дата звернення: 20.12.2024.
- [5] Official OpenAI API Documentation. [Онлайн] URL: <https://platform.openai.com/docs/api-reference/introduction>. Дата звернення: 24.12.2024.
- [6] @inductiv/node-red-openai-api GitHub Repository. [Онлайн] URL: <https://github.com/allanbunch/node-red-openai-api>. Дата звернення: 20.12.2024.
- [7] Smart MAIC Dashboard. [Онлайн] URL: <https://dash.smart-maic.com/demo>. Дата звернення: 24.12.2024.
- [8] D. Zhang, P. Shi, Q. G. Wang, and L. Yu, "Analysis and synthesis of networked control systems: A survey of recent advances and challenges", 2017. [Онлайн] URL: <http://surl.li/nlxqif>. Дата звернення: 24.12.2024.
- [9] J. Dizdarevic, M. Michalke, and A. Jukan, "Engineering and Experimentally Benchmarking Open Source MQTT Broker Implementations", 2023. [Онлайн] URL: <https://arxiv.org/abs/2305.13893>. Дата звернення: 20.12.2024.
- [10] QualiGPT GitHub Repository. [Онлайн] URL: <https://github.com/KindOPSTAR/QualiGPT>. Дата звернення: 20.12.2024.

INTEGRATION OF NODE-RED AND OPENAI API FOR INTELLIGENT ANALYTICS

Vladyslav Shcherbynin

The purpose of this work is determined by the need to create an affordable and functional intelligent analytical system for automating the processes of data collection, processing and analysis. The proposed system is based on the integration of the Node-RED platform, the OpenAI API, and the Raspberry Pi minicomputer. This approach allows to effectively solve the tasks of monitoring, forecasting and optimisation in various industries, providing flexibility and affordability.

The paper analyses the advantages and limitations of using low-code platforms to create data processing flows, which greatly simplifies the integration of automation systems. Node-RED provides the ability to quickly build workflows, while the OpenAI API adds tools for deep data analysis using artificial intelligence models. The Raspberry Pi is a cost-effective hardware base suitable for small and medium-sized businesses.

The experiments allowed us to identify the key factors of system performance and stability. The test results showed that the system is capable of processing large amounts of data in real time, detecting anomalies and providing operators with prompt information about possible deviations. Particular attention was paid to the

cost-effectiveness analysis, which confirmed a significant advantage over traditional solutions that require high implementation costs.

Taking into account the possibility of widespread use of the developed system, the paper also offers recommendations for its scaling, integration with cloud services and application to solve specific problems in various industries. This approach provides enterprises with the ability to quickly adapt to changes in technological conditions, reducing dependence on expensive and complex solutions.

The development of this system is an important step towards making modern technologies accessible to enterprises of all sizes. The proposed solution is aimed at improving the efficiency of production processes and creating cost-effective automation tools that meet modern market requirements.

Keywords: *Node-RED, OpenAI API, Raspberry Pi, automation, low-code, monitoring, forecasting.*

REFERENCES

- [1] Node-RED Documentation. [Online] URL: <https://nodered.org/>. Accessed: 20.12.2024.
- [2] Embracing AI and Low-Code Solutions: Navigating Challenges and Opportunities in Manufacturing. [Online] URL: [AI and Low-Code in Manufacturing: Challenges and Opportunities](#). Accessed: 20.12.2024.
- [3] S. Givnan, C. Chalmers, P. Fergus, S. Ortega, and T. Whalley, "Real-Time Predictive Maintenance using Autoencoder Reconstruction and Anomaly Detection", 2021. [Online] URL: <https://arxiv.org/abs/2110.01447>. Accessed: 20.12.2024.
- [4] Huu-Quoc Nguyen, Ton Thi Kim Loan, Bui Dinh Mao, and Eui-Nam Huh, "Low Cost Real-Time System Monitoring Using Raspberry Pi," 2015, doi: 10.1109/ICUFN.2015.7182665. [Online] URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7182665>. Accessed: 20.12.2024.
- [5] Official OpenAI API Documentation. [Online] URL: <https://platform.openai.com/docs/api-reference/introduction> Accessed: 24.12.2024.
- [6] @inductiv/node-red-openai-api GitHub Repository. [Online] URL: <https://github.com/allanbunch/node-red-openai-api>. Accessed: 20.12.2024.
- [7] Smart MAIC Dashboard. [Online] URL: <https://dash.smart-maic.com/demo>. Accessed: 24.12.2024.
- [8] D. Zhang, P. Shi, Q. G. Wang, and L. Yu, "Analysis and synthesis of networked control systems: A survey of recent advances and challenges", 2017. [Online] URL: <http://surl.li/nlxqif>. Accessed: 24.12.2024.
- [9] J. Dizdarevic, M. Michalke, and A. Jukan, "Engineering and Experimentally Benchmarking Open Source MQTT Broker Implementations", 2023. [Online] URL: <https://arxiv.org/abs/2305.13893>. Accessed: 20.12.2024.
- [10] QualiGPT GitHub Repository. [Online] URL: <https://github.com/KindOPSTAR/QualiGPT>. Accessed: 20.12.2024.