

analyze microservice architecture to solve these challenges, exploring its historical development, current trends, practical implementation aspects, and comparison with alternative architectural styles such as modolith architecture.

The study examines the limitations of monolithic architectures in handling growing complexity and scaling requirements. It explores the emergence of microservice architecture, highlighting core characteristics like independent services, decentralized data management, and autonomous deployment. The evolution influenced by agile methodologies and DevOps practices is discussed. A comparative analysis with other architectural styles—including monolithic, service-oriented, modular monolithic, and serverless architectures—identifies contexts where microservices are most beneficial. The research reviews essential tools and technologies for implementing microservices, such as Docker for containerization, Kubernetes for orchestration, and service meshes like Istio and Linkerd. Practical cases from industry leaders like Netflix and Amazon illustrate successful adoption and the challenges faced during implementation.

Findings indicate that while microservice architecture offers significant scalability, flexibility, and rapid deployment advantages, it also introduces complexities related to distributed system management and security. The study emphasizes the importance of adopting best practices and standards, such as those promoted by the Cloud Native Computing Foundation and utilizing modern tools to mitigate these challenges. For organizations where full microservices adoption may be impractical, modolith architecture is a viable alternative that combines modularity with deployment simplicity. The article concludes that the choice of architecture should be carefully aligned with the project's specific needs, resources, and long-term strategic goals.

**microservice architecture, containerization, scalability, orchestration, distributed systems, DevOps**

*Одержано (Received) 16.09..2024*

*Прорецензовано (Reviewed) 03.10.2024*

*Прийнято до друку (Approved) 28.10.2024*

**УДК 629.083**

**DOI:** [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.29-39](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.29-39)

**О.Л. Ляшук**, проф., д-р техн. наук, **В.А. Готович**, доц., канд. техн. наук, **В.О. Бонар**, асп.  
*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна*

*e-mail: oleglashuk@ukr.net*

**В.В. Аулін**, проф., д-р техн. наук, **А.В. Гриньків**, ст. дослідник, канд. техн. наук  
*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна*

*e-mail: AulinVV@gmail.com*

**Л.П. Матійчук**, доц., д-р екон. наук

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна*

## Концепція дистанційної діагностики технічного стану транспортних засобів в процесі їх експлуатації

У статті розглянуто концепцію дистанційної діагностики транспортних засобів в процесі їх експлуатації та основні аспекти автоматичного зчитування даних за допомогою протоколу OBD2 з ECU в режимі реального часу з подальшою їх передачею на загальний сервер. Продемонстровано як отримані дані тестуються на наявність в них аномалій за допомогою методів реконструкції та виявленням аномалій у групах даних з подальшим сповіщенням користувача. Представлено архітектуру комунікації мобільного та веб додатків з серверною частиною при діагностиці транспортних засобів.

**транспортний засіб, дистанційна діагностика, технічний стан, самодіагностика OBD2, код помилки, аномалія, в наборі даних**

© О.Л. Ляшук, В.А. Готович, В.О. Бонар, В.В. Аулін, А.В. Гриньків, Л.П. Матійчук, 2024

**Постановка проблеми.** На 2024 рік кількість автомобілів на планеті приблизно досягає 1.475 мільярдів [1], що є вражаючою цифрою. Стрімке зростання кількості транспортних засобів (ТЗ) зумовлює необхідність якісного контролю технічного стану в процесі їх експлуатації для раннього виявлення несправностей.

В даній статті пропонується концепція дистанційної діагностики ТЗ в процесі їх експлуатації, що передбачає автоматичний збір інформації про внутрішній стан різних компонентів автомобіля з подальшою можливістю його дистанційного моніторингу. Для комплексного аналізу потрібно враховувати специфіку автомобіля та його тип. Загалом, автомобілі можна поділити на наступні класи [2]:

- з бензиновим двигуном внутрішнього згоряння (англ., Internal petrol combustion engine (ESS));
- з дизельним двигуном внутрішнього згоряння (англ., Diesel internal combustion engine (DSL));
- м'який гібридний електромобіль (англ., Mild hybrid electric vehicle (MHEV));
- гібридний електромобіль (англ., Hybrid electric vehicle (HEV));
- гібридний електромобіль, що підключається (англ., Plug-in hybrid electric vehicle (PHEV));
- з двигуном, що працює на стисненому природному газі (англ., Compressed natural gas engine (CNG));
- з двигуном на зрідженому нафтовому газі (англ., Liquefied petroleum gas engine (LPG));
- електромобіль з акумулятором (англ., 100% electric motor (battery electric vehicle – BEV));
- електромобіль на паливних елементах (англ., Fuel cell electric vehicle (FCEV)).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Діагностика ТЗ є актуальною темою сьогодення, що підтверджується кількістю праць на дану тему. Дослідники Apostolos Giannoulidis, Anastasios Gounaris та Ioannis Constantinou пропонують алгоритм виявлення аномалій технічного стану автомобіля, базуючись на кореляції зібраних сигналів між двома періодами і динамічному створенні еталонних та не аномальних технічних станів. При проведенні експериментів, алгоритм виявився перспективним, показавши точність виявлення аномалій технічного стану у 78% [3]. Інша група дослідників адресує проблему безпеки протоколів збору даних, що базуються на старіших механізмах, які можуть мати певні вразливості. Метод полягає у знаходженні аномальних технічних станів автомобіля, використовуючи приховану марківську модель [4]. Для збору даних з датчиків ТЗ було проведено експеримент з використанням OBD2 сканера на базі мікроконтролера ELM327 [5].

**Постановка завдання.** Мета роботи полягає у представленні підходу до процесу автоматизованого збору інформації з технічного стану транспортного засобу і подальшого аналізу для сповіщення користувача про можливі технічні несправності. Завданням дослідження є розробка концепції дистанційної діагностики технічного стану транспортних засобів в процесі їх експлуатації.

**Виклад основного матеріалу.** Сучасні автомобілі складаються з багатьох різних комп'ютерних компонентів, які є електронними блоками керування (англ., Electronic Control Units (ECU)). Кожен з таких блоків відповідає за певну функцію [6,7]. Наприклад, блок керування двигуном, контролює різні функції двигуна, такі як, впорскування палива, запалювання, холостий хід, газорозподіл. Для повноцінного функціонування всі ECU з'єднанні в одну мережу для обміну даними, що має назву CAN (англ., Controller Area Network) [7,8].

CAN-bus – це набір із 2 електричних проводів (CAN\_Low і CAN\_High) в мережі автомобіля, де інформація може обмінюватися між ECU [9]. Мережа складається з

набору вузлів, що з'єднані між собою за допомогою CAN-bus. Кожен вузол містить ECU з контролером CAN і трансивером CAN, що відповідають за комунікацію. Загальна схема комунікації ECU зображена на рис. 1.

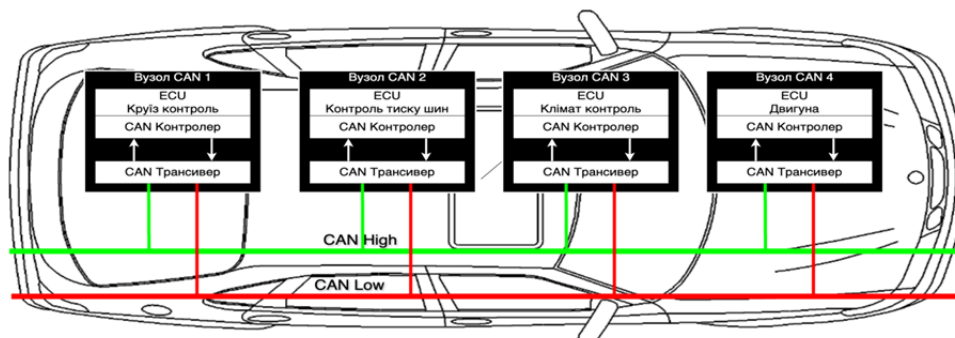


Рисунок 1 – Загальна схема комунікації CAN-мережі

Джерело: розроблено авторами

Реалізація CAN-мережі залежить від виробника ТЗ і є закритою імплементацією. Тому, отримання даних напряму з ECU через CAN-мережу є можливим лише, якщо знати протокол комунікації. Для цілей діагностики використовують іншу систему - OBD2 (англ., On-Board Diagnostics).

OBD2 – система самодіагностики технічного стану автомобіля. Система має стандартизований протокол, що не залежить від виробника ТЗ. OBD2 дозволяє отримувати діагностичні коди несправностей та інші дані в реальному часі через спеціальний конектор. Майже усі новітні автомобілі мають підтримку OBD2, що робить цю систему найкращою для діагностики технічного стану будь-якого автомобіля.

OBD2 – стандарт може реалізовуватися у 5 різних способів, які називаються протоколами: ISO 9141-2, KWP 2000-4, SAE J1850 PWM, SAE J1850 VPW, ISO 15765-4. Для підключення до OBD2 використовують J1962 конектор (рис. 2).

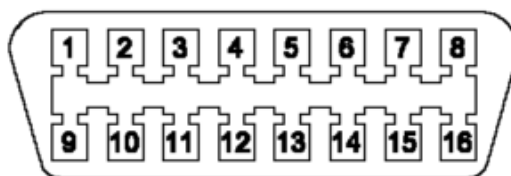


Рисунок 2 – J1962 конектор для підключення до OBD2

Джерело: на підставі [7]

Конектор має знаходитись не далі, ніж 1 метр до керма і зазвичай знаходиться від ним. По вигляду конектора можна дізнатися, який протокол імплементований у даному ТЗ. Піни 2 та 10 використовуються у обох J1850 (PWM та VPW) протоколах. Піни 7 та 15 – у протоколах ISO 9141-2 та KWP 2000. Піни 6 та 14 наявні у ISO 15765-4 протоколі. Пін 16 – напруга батареї, а піни 4 та 5 – заземлення. Відповідно, за наявністю тих чи інших пінів можна дізнатися, який протокол використовується для визначення технічного стану ТЗ.

Після під'єднання OBD2, використовуючи доступний протокол, можна розпочинати комунікацію. Повідомлення OBD2 складається з ідентифікатора (CAN ID), довжини даних і безпосередньо самих даних. Дані складаються з режиму, ідентифікатора параметра і масиву байт даних. Режим визначає тип запиту до OBD2. Існує 10 режимів, які визначаються наступними кодами:

1. Код 1 – Прочитати поточні дані (в реальному часі).

2. Код 2 – Отримати збережені дані на момент виникнення кодів несправностей.
3. Код 3 – Зчитування кодів несправностей.
4. Код 4 – Очистка кодів несправностей.
5. Код 5 – Зчитування датчиків кисню.
6. Код 6 – Зчитування останніх результатів діагностики.
7. Код 7 – Зчитування кодів несправностей, що очікують на розгляд.
8. Код 8 – Контроль роботи бортової системи.
9. Код 9 – Запит інформації про транспортний засіб (наприклад, VIN).
10. Код 10 – Постійні коди несправностей.

Для системи дистанційної діагностики технічного стану автомобіля пропонується використовувати OBD2 Bluetooth адаптер для зчитування даних з автомобіля і додаток Android/IOS для отримання даних, виведення їх на екран для користувача і подальшої їх передачі на загальний сервер для аналізу і доступу адміністратора (рис. 3).

Мобільний додаток є ключовим компонентом для передачі даних між OBD2 і сервером. Розробка додатку Android виконується з використанням середовища Android Studio та мови програмування Kotlin/Java. IOS додаток розробляється за допомогою середовища XCode та мови програмування Swift/Objective C. Вимоги до мобільного застосунку:

- періодичне зчитування даних ТЗ та помилок автомобіля;
- вивід помилок ТЗ на екран;
- передача даних і помилок на сервер з використанням мобільної мережі;
- отримання сповіщень про можливі помилки від сервера і нотифікації про них користувача.

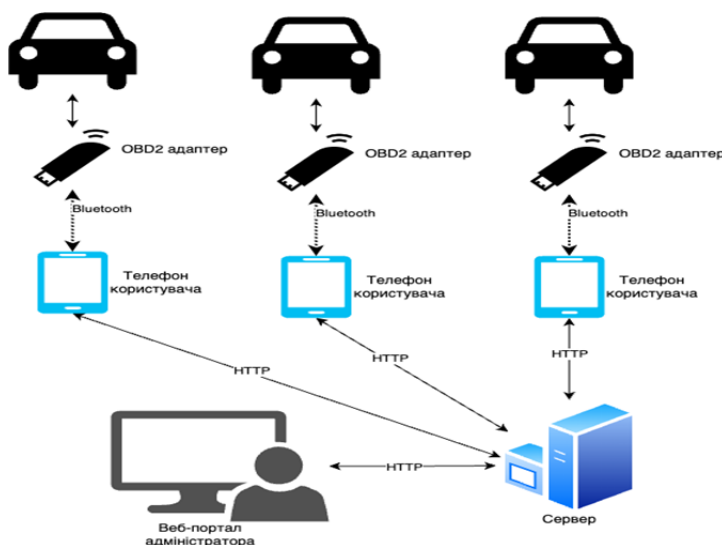


Рисунок 3 – Схема системи дистанційної діагностики технічного стану автомобіля  
Джерело: розроблено авторами

Додаток під'єднується до OBD2 адаптера з використанням Bluetooth. Здійснюється запит до OBD2 на отримання даних, зчитує їх. Далі відбувається запит на отримання кодів помилок і їх зчитування. Усі дані зберігаються в локальній базі даних MySQL. Користувач має можливість моніторити в реальному часі технічний стан автомобіля. Для економії мобільної мережі і зниження витрати енергії запит на оновлення даних OBD2 відправляються кожні 5 хвилин. Даний часовий інтервал має бути достатнім для аналізу справності роботи ТЗ. Усі дані надсилаються на сервер для подальшої їх обробки та аналізу за потреби (рис.4).

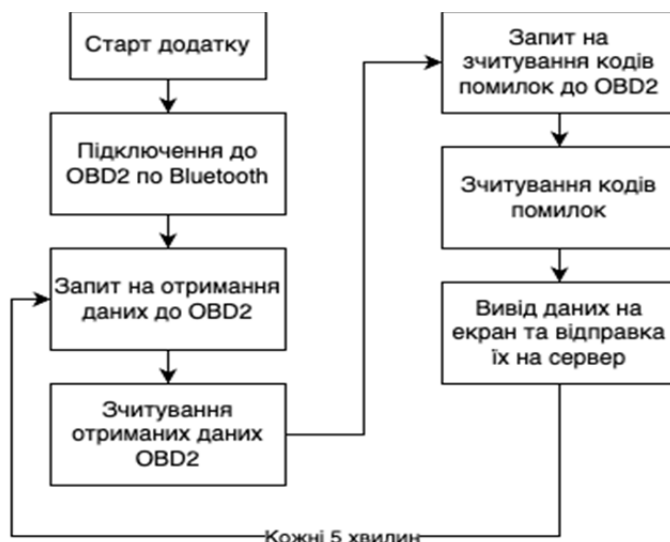


Рисунок 4 – Алгоритм роботи мобільного застосунку

Джерело: розроблено авторами

Сервер виконує роль зберігання даних, отриманих від додатку та їх аналізу. Він містить базу даних SQL для ефективної організації даних. Важливу роль у ефективності моніторингу технічного стану ТЗ відіграє структура організації даних. Для її ефективної побудови потрібно зрозуміти, що саме буде зберігатися і для яких цілей. OBD2 дані можна розділити на 2 категорії – коди помилок та власне дані поточного технічного стану ТЗ (швидкість, частота обертів двигуна, запас пального тощо).

В табл. 1 зображено орієнтовні діагностичні коди помилок (англ., Diagnostic Trouble Code (DTC)).

Таблиця 1 – Список кодів і опис помилок

Код помилки	Опис помилки
P0198	Низька температура моторної оливи
P0199	Висока температура моторної оливи
P0220	Перевищення швидкості двигуна
P1189	Температура моторної оливи поза межами діапазону самоперевірки
P1799	Несправність ланцюга напруги батареї
B1238	Помилка перегріву
B1342	ECU несправний
B1352	Несправність ланцюга ключа запалювання
B1384	Несправність ланцюга лампи рівня оливи
B1483	Несправність вхідного ланцюга педалі гальма
B1927	Несправність бічної подушки безпеки пасажира
B2472	Несправність перемикача протитуманних фар
B2595	Несправність ланцюга вхідного сигналу захисту від викрадення
C1117	Несправність вхідного ланцюга обертів
C1455	Несправність передньої схеми акселерометра
C1774	Температура охолоджуючої рідини поза діапазоном
C1839	Несправність витоку
C1284	Несправність реле тиску оливи
C1267	Функції ABS тимчасово вимкнено

Джерело: розроблено авторами на підставі [11]

Повний список помилок доступний за посиланням у списку джерел [11].

Коди помилок використовуються як основне джерело знаходження несправностей ТЗ. Для більш ефективного попередження несправностей необхідно проаналізувати поточний технічний стан автомобіля та його динаміку для знаходження аномалій. Аномалії – це точки даних у наборі даних, які відрізняються від нормального стану існування та суперечать очікуваній поведінці даних. Аномалії визначаються шляхом передбачення наступного стану системи, виходячи з попереднього. Якщо фактичний стан системи відрізняється від передбачуваного, враховуючи статистичну помилку, – то це можна вважати аномалією.

Такі технічні стани ТЗ гарно описують Марківські процеси – стохастичні процеси, в яких тільки поточний стан впливає на майбутні технічні стани. Розглянемо послідовність цих процесів у вигляді подій С1-С8 (рис. 5), які демонструють аномальну витрату палива, аналізуючи швидкість, передачу та власне витрату палива у ТЗ.

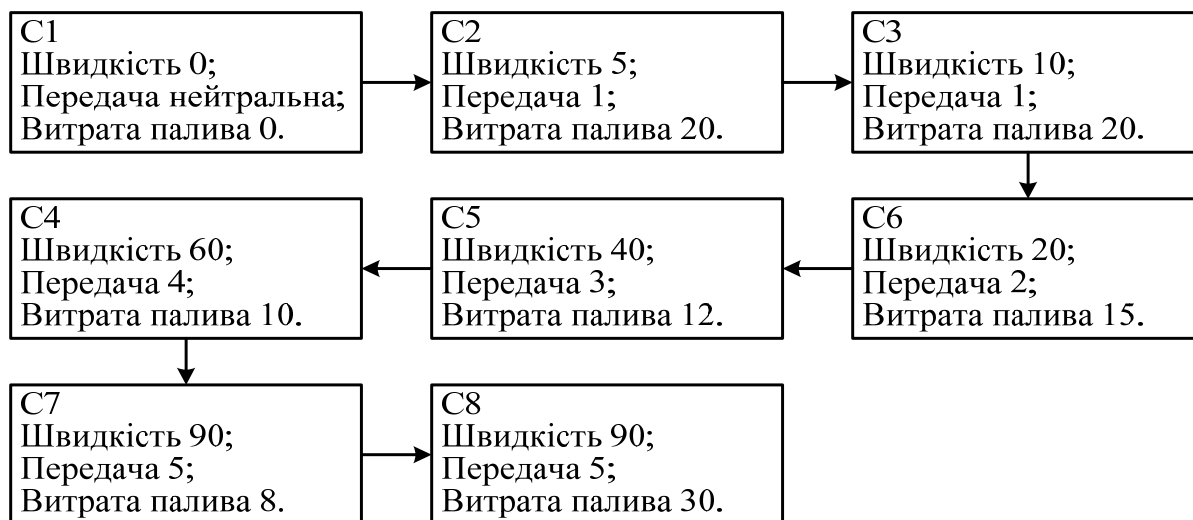


Рисунок 5 – Аномальна витрата палива з аналізом швидкості, передачі та власна витрата палива

Джерело: розроблено авторами

В початковому технічному стані С1 автомобіль стоїть на місці (швидкість – 0, передача – нейтральна, витрата палива – 0). В стані С2 автомобіль починає набирати швидкість, витрата палива є значною, що не є аномалією для початку руху (швидкість – 5, передача – 1, витрата палива – 20). ТЗ починає поступово збільшувати швидкість до стану С7, де витрата палива стабілізується (швидкість 90, передача 5, витрата палива 8). До цього моменту, ймовірність зміни технічного стану знаходиться в межах норми – автомобіль набрав швидкість. Аномалія відбувається при переході зі стану С7 в стан С8, де швидкість 90 і передача 5 залишаються такими ж, а витрата палива збільшується з 8 до 30. Така зміна є дуже малоімовірною і може свідчити про технічні проблеми ТЗ, які, якщо вчасно не виявити і не усунути, можуть призвести до більших економічних втрат, або ж навіть автомобільної катастрофи.

Перше, з чого потрібно розпочати аналіз даних на виявлення аномалій – це підготовка архітектури сервера. Пропонується визначити компонент, який буде містити логіку визначення специфічної однієї або декількох аномалій – предіктор. Зазначимо, що сервер містить в собі набір предікторів, які відповідальні за надання інформації про певну аномалію. Предіктор (рис. 6), в найпростішому розумінні, – це функція, яка приймає на вхід поточний технічний стан ( $S_c$ ) та новий технічний стан ( $S_e$ ) і повертає ймовірність цього переходу ( $P(S_c, S_e)$ ).

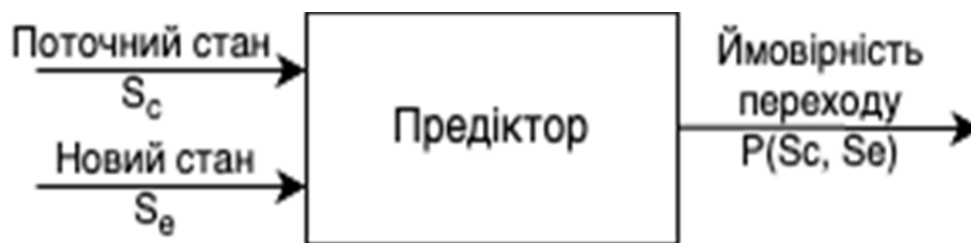


Рисунок 6 – Схема предиктора в наборі з серверу

Джерело: розроблено авторами

Дана архітектура забезпечує можливість легкого розширення і незалежної розробки різних предикторів.

Дуже важливо правильно визначити пороги відхилень технічних станів, при якому відхилення буде вважатися аномалією. Поріг визначається статистикою даних для певної моделі ТЗ. Дані для визначення беруть або шляхом збору даних з автомобіля безпосередньо, або шляхом опрацювання технічних характеристик ТЗ.

Далі застосовуються методи знаходження аномалій. Аномалії класифікують на точкові, контекстуальні та колективні. Для визначення аномалії певного набору даних (екземпляр), йому призначають мітку або оцінку. Методи виявлення аномалій можна класифікувати за кількома підходами – на основі глибини, відстані, щільності, кластеризації, статистики тощо.

Існують різні методи знаходження аномалій: виявлення аномалій на основі найближчої пари; виявлення аномалій на основі реконструкції; виявлення аномалій груп компонентів даних.

Виявлення аномалій на основі реконструкції передбачає розробку моделі за допомогою машинного навчання (англ. Deep Learning), яка тренована на завідомо нормальних даних для того, щоб правильно реконструювати вхідні дані.

Особливість тренування моделі полягає в тому, щоб вхідні дані в модель були рівні вихідним даним. Передбачається, що кінцева модель, натренована на нормальних (не аномальних) даних для вхідного значення  $X$  видасть вихідне значення  $Y$ , таке, що  $X=Y$ . Модель, яка навчена на нормальних даних, при використанні на реальних даних та вхідних аномальних даних, буде видавати значення  $Y$ , яке не буде дорівнювати вхідному значенню  $X$ . Різниця між  $X$  та  $Y$  є помилкою реконструкції (рис. 7).



Рисунок 7 – Блок-схема знаходження аномалій бази даних методом реконструкції

Джерело: розроблено авторами

В цьому алгоритмі помилка реконструкція використовується як оцінка аномалії і створюються сповіщення про аномалію. Вона перевищує певний поріг для кожного вхідного значення  $X_i$  та вихідного значення  $Y_i$ . Приклад реалізації моделі реконструкції наведений в електронному ресурсі [12].

Зазначимо, що виявлення аномалій груп компонентів даних базується на дослідженні не якогось окремого компоненту вхідних даних (наприклад, швидкості), а перевірки і аналізу груп таких компонентів [13]. Наприклад, є вхідні дані, де швидкість ТЗ 100 км/год і двері відкриті. Якщо розглядати ці компоненти окремо, то аномалія відсутня – ТЗ без проблем може їхати зі швидкістю 100 км/год і може мати відкриті двері. Якщо ж їх розглядати, як групу даних – то це виглядає незвично.

Даний метод – це рішення на основі обчислення і порівняння відстані оцінки аномалії в поєднанні зі статистичними тестами для прогнозування несправностей ТЗ. Метод базується на "мудрості натовпу". Для того, щоб виміряти показник відхилення даних ТЗ, вимірюється несхожість зразків за допомогою методів, заснованих на обчисленні відстані (наприклад, виявлення аномалії на основі найближчого сусіда). Така процедура потрібна щоб кількісно визначити аномальність даних по відношенню до нормальних даних цього або іншого ТЗ (рис. 8).

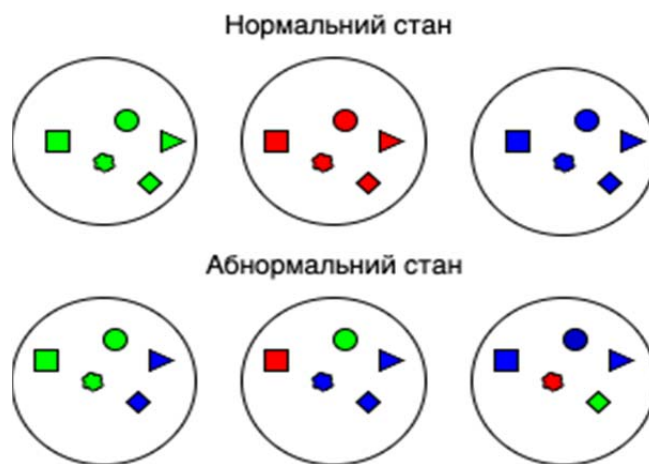


Рисунок 8 – Аномалії груп даних про технічний стан транспортних засобів

*Джерело: розроблено авторами*

Усі методи виявлення аномалій потребують наявності бази тестових даних у нормальному технічному стані. Варто зазначити, що різні ТЗ можуть мати різні норми для того чи іншого показника.

Система дистанційної діагностики має мати можливість сповіщати користувача про виявлені проблеми ТЗ. Для цього пропонується використати протокол MQTT (англ., Message Queue Telemetry Transport). MQTT протокол – простий і легкий протокол обміну повідомленнями (підписка та публікація), розроблений для пристроїв з обмеженими ресурсами і мереж із високою затримкою, низькою пропускну здатністю або ненадійних мереж. Важливим компонентом протоколу є брокер – програма, яка виконується на комп'ютері (в нашому випадку в хмарі). Брокер відповідає за відправку повідомлень від видавця (англ. publisher), в нашому випадку – сервер, до підписника (англ., subscriber) – в нашому випадку мобільний додаток Android/iOS (рис. 9).

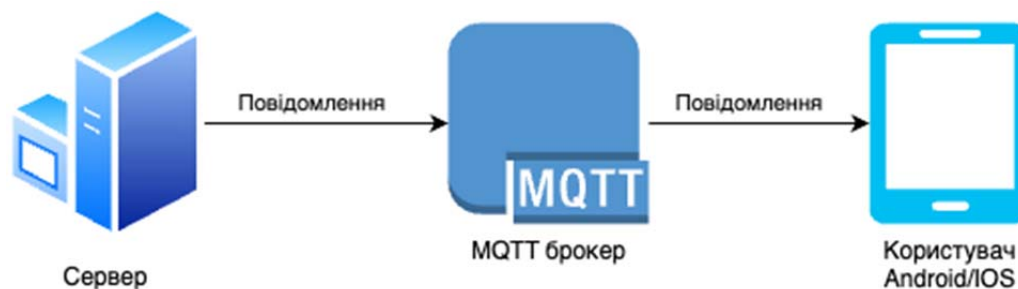


Рисунок 9 – MQTT сповіщення в системі дистанційної діагностики транспортних засобів

Джерело: розроблено авторами

За допомогою цього протоколу сервер має можливість сповістити водія транспортного засобу про знайдені проблеми, які потребують уваги.

Ще одним важливим компонентом системи дистанційної діагностики є портал адміністратора – веб-сайт, який має можливість авторизації з правами адміністратора для перегляду даних про технічний стан ТЗ (пошук по VIN коду) та подальшого їх аналізу і моніторингу. Дані можна поширити з механіком, який надасть консультацію. За допомогою того ж MQTT брокера забезпечується можливість скидання помилок, які виникли через OBD2.

**Висновки:** 1. З'ясовано можливу реалізацію дистанційної діагностики технічного стану транспортних засобів для попередження можливих несправностей шляхом використання мобільних, серверних та веб технологій.

2. Надано аналіз методів виявлення аномалій бази даних про технічний стан транспортних засобів, базуючись на їх поточному технічному стані.

3. Описано підхід автоматичного збору даних про технічний стан з транспортного засобу, використовуючи OBD2.

4. Дивлячись у майбутнє, транспортні засоби стають все більш технологічними і все більше вони мають вбудовану мобільну мережу від виробника. Це відкриває нові можливості у підході до вирішення проблем дистанційної діагностики.

## Список літератури

1. It's 2024, how many cars are there in the world? *WHICHCAR* : веб-сайт. URL: <https://www.whichcar.com.au/news/how-many-cars-are-there-in-the-world> (дата звернення 12.10.2024)
2. The different types of engine. *Febiac* : веб-сайт. URL: <https://www.febiac.be/en/article/the-different-types-of-engine> (дата звернення 12.10.2024)
3. Apostolos Giannoulidis, Anastasios Gounaris, Ioannis Constantinou. Exploring unsupervised anomaly detection for vehicle predictive maintenance with partial information. *Proceedings of the 27th International Conference on Extending Database Technology (EDBT)*. 2024.
4. Sandeep Nair Narayanan, Sudip Mittal & Anupam Joshi. *IEEE Workshop on Smart Service Systems*. May 2016.
5. Iskandar, Karto & Tambayong, Alfred & Mulya, Muhammad & Elfanlie, Steven & Herlina, Maria. Mobile-Based Car Diagnostic Application Using Onboard Diagnostic-II Scanner. *ComTech Computer Mathematics and Engineering Applications* 14(2):129-141. 2023. DOI: 10.21512/comtech.v14i2.9138
6. Аулін В.В., Панарін Д.Є. Комплексний підхід в оптимізації та плануванні процесів експлуатації ремонту автомобілів з використанням телеметричних систем дистанційної електронної діагностики. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки*. 2014. № 2. С. 29-32.
7. Аулін В.В., Панарін Д.Є. Удосконалення процесу технічного обслуговування автомобілів з використанням методів дистанційної електронної діагностики. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2014. № 4. С. 88-91.
8. Аулін В.В., Гриньків А.В., Надич Т.М., Яценко В.Ю. Застосуванні засобів дистанційної діагностики для підвищення ефективності технічної експлуатації мобільних машин. *Зб. тез*

- доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» 22-23 лют. 2024 р., м. Київ. - К. : Видавничий центр НУБіП України, 2024. С. 100-103.
9. What is Vehicle CAN bus and why do you need to care. Earth2 digital : веб-сайт. URL: <https://www.earth2.digital/blog/what-is-vehicle-can-bus-ecu-evoque-adam-ali.html> (дата звернення 13.10.2024).
  10. OBD II Protocols Explained. OBD Experts : веб-сайт. URL: <https://www.obdexperts.com/obd-ii-protocols-explained/> (дата звернення 13.10.2024)
  11. OBD2 Trouble Codes. OBD Codes : веб-сайт. URL: [https://www.obd-codes.com/trouble\\_codes/](https://www.obd-codes.com/trouble_codes/) (дата звернення 13.10.2024).
  12. Reconstruction based anomaly detection with Autoencoder. Github : веб-сайт. URL: <https://github.com/Zinwaiyan274/Reconstruction-based-anomaly-detection-with-Autoencoder> (дата звернення 15.10.2024).
  13. Chalapathy, Raghavendra & Toth, Edward & Chawla, Sanjay. Group Anomaly Detection Using Deep Generative Models: Recognizing Outstanding Ph.D. Research. *Energy Transfer Processes in Polynuclear Lanthanide Complexes (pp.173-189)*. 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-10925-7\_11.

## References

1. It's 2024, how many cars are there in the world? *WHICHCAR* : веб-сайт. URL: <https://www.whichcar.com.au/news/how-many-cars-are-there-in-the-world> (date of application 12.10.2024) [in English].
2. The different types of engine. Febiac : веб-сайт. URL: <https://www.febiac.be/en/article/the-different-types-of-engine> (date of application 12.10.2024) [in English].
3. Apostolos Giannoulidis, Anastasios Gounaris, Ioannis Constantinou. Exploring unsupervised anomaly detection for vehicle predictive maintenance with partial information. *Proceedings of the 27th International Conference on Extending Database Technology (EDBT)*. 2024. [in English].
4. Sandeep Nair Narayanan, Sudip Mittal & Anupam Joshi. *IEEE Workshop on Smart Service Systems*. May 2016. [in English].
5. Iskandar, Karto & Tambayong, Alfred & Mulya, Muhammad & Elfanlie, Steven & Herlina, Maria. Mobile-Based Car Diagnostic Application Using Onboard Diagnostic-II Scanner. *ComTech Computer Mathematics and Engineering Applications 14(2)*:P 129-141. 2023. DOI: 10.21512/comtech.v14i2.9138 [in English].
6. Aulin V.V., & Panarin D.Ie. (2014). Kompleksnyi pidkhid v optymizatsii ta planuvanni protsesiv ekspluatatsii remontu avtomobiliv z vykorystanniam telemetrychnykh system dystantsiinoi elektronnoi diahnostryky [A comprehensive approach in optimizing and planning the operation processes of car repair using telemetry systems of remote electronic diagnostics]. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya : Tekhnichni nauky - Bulletin of the Zhytomyr State Technological University. Series: Technical sciences*. № 2. P. 29-32 [in Ukrainian].
7. Aulin V.V., & Panarin D.Ie. (2014). Udoskonalennia protsesu tekhnichnoho obsluhovuvannia avtomobiliv z vykorystanniam metodiv dystantsiinoi elektronnoi diahnostryky [Improving the process of car maintenance using methods of remote electronic diagnostics]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu - Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*. № 4. P. 88-91 [in Ukrainian].
8. Aulin V.V., Hrynkiv A.V., Nadych T.M., & Yatsenko V.Iu. (2024). Zastosuvanni zasobiv dystantsiinoi diahnostryky dlia pidvyshchennia efektyvnosti tekhnichnoi ekspluatatsii mobilnykh mashyn [Application of remote diagnostics to improve the efficiency of technical operation of mobile machines]. *Zb. tez dopovidei II Mizhnarodnoi nauково-tekhnichnoi konferentsii «Kramarovski chytannia» - Coll. Abstracts of reports of the 11th International Scientific and Technical Conference "Kramor's Readings"*. 22-23 liut. 2024 r., m. Kyiv. - K. : Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy. P. 100-103 [in Ukrainian].
9. What is Vehicle CAN bus and why do you need to care. Earth2 digital : веб-сайт. URL: <https://www.earth2.digital/blog/what-is-vehicle-can-bus-ecu-evoque-adam-ali.html> (date of application 13.10.2024) [in English].
10. OBD II Protocols Explained. OBD Experts : веб-сайт. URL: <https://www.obdexperts.com/obd-ii-protocols-explained/> (date of application 13.10.2024) [in English].
11. OBD2 Trouble Codes. OBD Codes : веб-сайт. URL: [https://www.obd-codes.com/trouble\\_codes/](https://www.obd-codes.com/trouble_codes/) (date of application 13.10.2024).
12. Reconstruction based anomaly detection with Autoencoder. Github : веб-сайт. URL: <https://github.com/Zinwaiyan274/Reconstruction-based-anomaly-detection-with-Autoencoder> (date of application 15.10.2024) [in English].
13. Chalapathy, Raghavendra & Toth, Edward & Chawla, Sanjay. Group Anomaly Detection Using Deep

Generative Models: Recognizing Outstanding Ph.D. Research. *Energy Transfer Processes in Polynuclear Lanthanide Complexes* (pp.173-189). 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-10925-7\_11 [in English].

**Oleg Liashuk**, Prof., DSc, **Volodymyr Hotovych**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vitalii Bonar**, Post-graduate  
*Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Ternopil, Ukraine*

**Viktor Aulin**, Prof., DSc, **Andrey Hrinkiv**, Senior Researcher, PhD tech. sci.  
*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

**Liubomyr Matiichuk**, Assoc. Prof., Dr. econ. sci.  
*Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Ternopil, Ukraine*

## **The Concept of Remote Diagnostics of the Technical Condition of Vehicles During their Operation**

The technical condition of the vehicle directly affects the safety of people. With the increase in the number of cars, this problem becomes even more relevant. Today, checking the condition of the vehicle mostly takes place in the physical presence of a mechanic who reads data from the car's sensors with the help of scanners. The possibility of automating this process and providing the ability of remote access to data would significantly reduce the cost and speed up the detection of malfunctions.

This paper shows a concept of approach to the remote real time vehicle diagnostics. Data collection is possible using OBD2 protocol that allows performing a real time communication with vehicle ECUs. Even though a vehicle diagnostic system already has diagnostic trouble codes (DTCs) on its own they don't necessarily catch all the edge cases when malfunctions occur. For this purpose we suggest using all available vehicle signals to then analyze and find potential anomalies using different methods for anomaly detection. Reconstruction-based anomaly detection includes training a model using a known normal (healthy) data to then recreate input data. Group based anomaly detection implies analyzing a group of different signals instead of analyzing them separately. Detected anomalies are then saved to a database on a remote server where users can always check them using a web page or a mobile application.

The proposed concept provides a modern approach to detect vehicle malfunctions. Even though car vendors don't always follow the same standards, the future of vehicle diagnostics is looking bright. Most of the modern cars especially in the luxury segment are equipped with a sim card. This opens a window of other approaches to remote vehicle diagnostics where the scanner is not needed anymore. Vendors can have a custom OEM backend that receives all vehicle signals directly from a car.

**vehicle, remote diagnostics, technical condition, OBD2 self-diagnosis, error code, anomaly, in the data set**

*Одержано (Received) 01.09.2024*

*Прорецензовано (Reviewed) 19.09.2024*

*Прийнято до друку (Approved) 28.10.2024*