

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"
спеціальність: 175 – Інформаційно-вимірювальні технології
освітньо-професійна програма – Технології Інтернету речей

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Білику Владиславу Віталійовичу

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Інтелектуальна інформаційно-вимірювальна система діагностики транспортних засобів/ Intelligent information and measurement system for diagnostics of vehicles

затверджені наказом по університету від 1 грудня 2025р. №894

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи 25 травня 2026р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Дослідження діагностичних систем моніторингу технічного стану транспортних засобів.

1.1. Аналіз розвитку ринку засобів дистанційної діагностики автомобілів.

1.2. Дослідження стаціонарних дистанційних діагностичних систем транспортних засобів.

2. Дослідження інформаційно-вимірювальних компонентів системи діагностики транспортних засобів.

2.1. Загальна характеристика інформаційно-вимірювальних компонентів технічних параметрів транспортних засобів.

2.2. Аналіз інтерфейсів передачі інформаційно-вимірювальних даних дистанційної діагностики транспортного засобу.

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Провести аналіз сучасних діагностичних систем моніторингу технічного стану транспортних засобів.

2. Проаналізувати стаціонарні та дистанційні системи діагностики транспортних засобів.

3. Виконати аналіз інтерфейсів передачі інформаційно-вимірювальних даних у системах дистанційної діагностики.

4. Провести дослідження похибок вимірювання датчиків інформаційно-вимірювальної системи діагностики.

5. Розробити UML-модель алгоритму функціонування інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу.
6. Побудувати Simulink-модель інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу та виконати аналіз результатів моделювання.

5. Перелік графічного матеріалу:

SIMULINK модель автоматизованої система водопостачання фермерського господарства

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	П.В. Гуменний к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
2	П.В. Гуменний к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
3	П.В. Гуменний к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 1 грудня 2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	01.12.2025-15.01.2026	виконано
2	ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	16.01.2026-15.03.2026	виконано
3	МОДЕЛЮВАННЯ АПАРАТНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	16.03.2026-30.04.2026	виконано
4.	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2026-25.05.2026	виконано

Студент

Владислав БІЛИК

(підпис)

Керівник роботи

к.т.н., доц. Петро ГУМЕННИЙ

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Білик В.В. Інтелектуальна інформаційно-вимірювальна система діагностики транспортних засобів /. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірювальні технології», освітньо-професійна програма «Технології інтернету речей» – Західноукраїнський національний університет. Тернопіль, 2026.

У роботі розроблено інтелектуальну інформаційно-вимірювальну систему діагностики транспортних засобів. Досліджено принципи побудови модульної архітектури інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортних засобів. Проаналізовано сучасні підходи та компоненти для реалізації системи інформаційно-вимірювальної діагностики транспортних засобів.

ABSTRACT

Bilyk V.V. Intelligent Information and Measurement System for Vehicle Diagnostics – Manuscript.

Qualification thesis submitted for obtaining the Bachelor's degree in Specialty 175 “Information and Measurement Technologies”, Educational and Professional Program “Internet of Things Technologies” – West Ukrainian National University, Ternopil, 2026.

The thesis presents the development of an intelligent information and measurement system for vehicle diagnostics. The principles of designing a modular architecture of the information and measurement system for vehicle diagnostics were investigated. Modern approaches and components for implementing the information and measurement diagnostic system for vehicles were analyzed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1. ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	12
1.1 Розвиток ринку засобів дистанційної діагностики автомобілів ..	12
1.2 Дослідження стаціонарних дистанційних діагностичних систем транспортних засобів	19
1.3 Дослідження системи дистанційної діагностики транспортного засобу.....	26
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	38
2.1 Загальна характеристика інформаційно-вимірювальних компонентів технічних параметрів транспортних засобів	38
2.2 Інтерфейси передачі інформаційно-вимірювальних даних дистанційної діагностики транспортного засобу	44
2.3 Дослідження похибок вимірювання датчиків інформаційно- вимірювальної системи діагностики транспортних засобів	49
3. МОДЕЛЮВАННЯ АПАРАТНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	56
3.1 Реалізація UML моделі алгоритму інформаційно- вимірювальної системи діагностики транспортного засобу.....	56
3.2 Розробка принципової схеми інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу	63
3.3 Simulink модель інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу.....	66

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Інтелектуальна інформаційно- вимірювальна система діагностики транспортних засобів			Літ.	Арк.	Акрушіє	
Розроб.		Білик В.В.									
Перевір.		Гуменний П.В.								6	
Консульт.								ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-42 ₄			
Н. Контр.		Заставний О.									
Затверд.		Сегін А.І.									

ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72
Додаток А.....	74

					ДП. ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

ABS — Anti-lock Braking System — антиблокувальна система гальмування.
ADAS — Advanced Driver Assistance Systems — системи допомоги водієві.
AI — Artificial Intelligence — штучний інтелект.
AMR — Anisotropic Magnetoresistance — анізотропний магніторезистивний сенсор.
BMS — Battery Management System — система керування акумуляторною батареєю.
BT — Bluetooth — технологія бездротового зв'язку малого радіуса дії.
CAN — Controller Area Network — мережа обміну даними між електронними блоками транспортного засобу.
CAN FD — Controller Area Network Flexible Data-rate — розширена версія CAN із підвищеною швидкістю передачі.
CAGR — Compound Annual Growth Rate — середньорічний темп приросту.
CMP — Camshaft Position Sensor — датчик положення розподільного вала.
CV — Computer Vision — комп'ютерний зір.
DSP — Digital Signal Processing — цифрова обробка сигналів.
DTC — Diagnostic Trouble Code — код діагностичної несправності.
ECU — Electronic Control Unit — електронний блок керування.
ECT — Engine Coolant Temperature Sensor — датчик температури охолоджувальної рідини.
EOBD — European On-Board Diagnostics — європейський стандарт бортової діагностики.
ESP — Electronic Stability Program — система курсової стійкості.
EV — Electric Vehicle — електромобіль.
FIR — Finite Impulse Response — фільтр зі скінченною імпульсною характеристикою.
FMS — Fleet Management System — система керування автопарком.
FOTA — Firmware Over-the-Air — дистанційне оновлення мікропрограмного забезпечення.
FPU — Floating Point Unit — блок обчислень із плаваючою комою.
FSD — Full Self-Driving — система автономного керування транспортним засобом.
GB/T — Chinese National Standards — державний стандарт КНР.
GMR — Giant Magnetoresistance — гігантський магніторезистивний сенсор.
GPS — Global Positioning System — глобальна система позиціонування.
HTTPS — HyperText Transfer Protocol Secure — захищений протокол передачі гіпертексту.
IMU — Inertial Measurement Unit — інерціальний вимірювальний модуль.
ISO — International Organization for Standardization — міжнародна організація зі стандартизації.
LIN — Local Interconnect Network — локальна мережа взаємодії електронних компонентів.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Актуальність теми. Упродовж останніх десятиліть автомобільний транспорт зазнав суттєвої технологічної трансформації: від переважно механічних конструкцій до багаторівневих кіберфізичних систем, у яких ключові функції реалізуються засобами електроніки, мікропроцесорної техніки та програмного забезпечення. Якщо на початкових етапах розвитку автомобільної електроніки її застосування обмежувалося системами запалювання, дозування палива чи антиблокувального гальмування, то нині сучасний транспортний засіб містить значну кількість електронних блоків керування, об'єднаних цифровими мережами обміну даними.

Інтенсивний розвиток автомобільної галузі безпосередньо пов'язаний із впровадженням концепції Connected Car, відповідно до якої автомобіль функціонує як елемент глобального інформаційного середовища. Такий підхід забезпечує можливість передавання телеметричних параметрів у режимі реального часу, віддаленого контролю технічного стану, прогнозування можливих відмов, автоматизованого планування сервісного обслуговування та підвищення рівня експлуатаційної безпеки.

Одночасно зі зростанням рівня цифровізації транспортних засобів ускладнюються процедури технічної діагностики традиційними методами. Значна частина несправностей сучасного автомобіля пов'язана не лише з фізичним зношенням вузлів і агрегатів, а й із відмовами сенсорів, порушеннями роботи виконавчих механізмів, помилками електронних модулів керування, збоями програмного забезпечення або несправностями комунікаційних шин. За таких умов особливого значення набуває створення інтелектуальних інформаційно-вимірювальних систем, здатних автоматично здійснювати збір та аналіз експлуатаційних параметрів, виявляти аномальні режими роботи й оперативно формувати попереджувальні повідомлення для водія або сервісної служби.

Застосування сучасних методів оброблення даних, алгоритмів машинного аналізу, систем класифікації технічних відмов, хмарних платформ та

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бездротових каналів зв'язку дозволяє істотно зменшити витрати на експлуатацію транспортних засобів, скоротити час простою, підвищити оперативність технічного обслуговування та мінімізувати ризики виникнення аварійних ситуацій. Це особливо важливо для комерційного транспорту, логістичних підприємств, муніципальних автопарків, служб перевезень, електромобілів і приватних власників транспортних засобів.

Отже, актуальною науково-прикладною задачею є розроблення інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортних засобів, що поєднає засоби збору телеметричних даних, сенсорні вузли, мікроконтролерні пристрої, алгоритми оцінювання технічного стану та програмні засоби дистанційного моніторингу. Реалізація такої системи сприятиме підвищенню надійності, безпеки та економічної ефективності експлуатації автомобільного транспорту.

Мета і задачі дослідження. Метою дипломної роботи є розроблення інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи діагностування транспортних засобів, призначеної для автоматизованого зчитування експлуатаційних параметрів автомобіля, оцінювання його технічного стану, своєчасного виявлення несправностей та формування інформативних повідомлень для користувача.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз сучасних систем дистанційної діагностики транспортних засобів;
- дослідити інформаційно-вимірювальні параметри автомобіля;
- проаналізувати сенсори, мікроконтролери та інтерфейси обміну даними;
- розробити структуру інтелектуальної системи діагностики;
- створити алгоритм функціонування системи;
- виконати моделювання роботи системи у середовищі LabVIEW;
- оцінити точність вимірювань та похибки моделювання.

Об'єкт дослідження – процес інформаційно-вимірювального контролю та діагностування технічного стану транспортних засобів.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Предмет дослідження – інтелектуальна інформаційно-вимірювальна система дистанційної діагностики транспортних засобів, її структура, принципи побудови, алгоритми функціонування, а також апаратні та програмні засоби реалізації.

Методи дослідження. У процесі виконання роботи застосовуються методи теорії автоматичного керування, метрологічного аналізу, цифрової обробки сигналів, технічної діагностики, статистичного опрацювання даних, ідентифікації параметрів динамічних систем та методи комп'ютерного імітаційного моделювання.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані структурні рішення, алгоритми діагностування та модель інформаційно-вимірювальної системи можуть бути використані під час створення бортових засобів контролю автомобілів, телематичних систем моніторингу автотранспорту, сервісних діагностичних комплексів, а також систем прогностичного технічного обслуговування транспортних засобів.

Апробації. Білик В.В. Інтелектуальна інформаційно-вимірювальна система діагностики транспортних засобів / В.В. Білик, П.В. Гуменний // Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2026), Тернопіль, 2026. с.77-82.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

1.1. Розвиток ринку засобів дистанційної діагностики автомобілів

Розвиток сучасної автомобільної промисловості супроводжується стрімким впровадженням цифрових технологій, зокрема засобів дистанційної (remote) діагностики транспортних засобів. Під терміном «дистанційна діагностика автомобіля розуміють комплекс апаратно-програмних рішень, що забезпечують моніторинг технічного стану вузлів і агрегатів транспортного засобу в режимі реального часу без необхідності фізичного підключення діагностичного обладнання на сервісній станції» [1].

Глобальний «ринок систем remote diagnostics демонструє стабільно високі темпи зростання, зумовлені конвергенцією кількох технологічних трендів: розширення парку підключених автомобілів (connected vehicles), зрілість стандартів OBD-II та EOBD, масштабування хмарних платформ і поширення технологій машинного навчання для прогностичного технічного обслуговування» [2].

Як демонструють статистичні дані, наведені на рисунку 1.1, упродовж 2025–2026 років світовий ринок систем дистанційної діагностики транспортних засобів оцінюється в межах 16,4–19,2 млрд доларів США. Такий фінансовий масштаб свідчить про активне впровадження цифрових технологій у сферу автомобільного транспорту, а також про зростаючий попит на засоби віддаленого контролю технічного стану транспортних засобів.

Згідно з аналітичними прогнозами, середньорічний темп приросту ринку (CAGR) у період 2024–2029 років становитиме 13–16 %, що характеризує галузь як одну з найбільш динамічних у сегменті автомобільної електроніки та телематичних сервісів [3]. Високі темпи зростання пояснюються поширенням підключених автомобілів, розвитком бездротових каналів передачі даних, удосконаленням бортових сенсорних систем та зростанням вимог до безпеки й надійності експлуатації транспорту.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Рік	Обсяг ринку (млрд USD)	\$ млрд
2021		7.2
2022		8.6
2023		10.3
2024		13.1
2025*		16.4
2026*		19.2
2027*		22.6
2028*		26.5

Рисунок 1.1- Динаміка обсягу світового ринку дистанційної діагностики автомобілів, 2021–2028 рр. (прогноз на 2025–2028 рр. позначено *)

Суттєвим фактором розвитку даного напрямку є прагнення автовиробників і транспортних компаній до переходу від планового технічного обслуговування до концепції predictive maintenance, тобто прогнозного сервісу на основі реальних експлуатаційних даних. Це дозволяє завчасно виявляти потенційні несправності, скорочувати кількість аварійних відмов, зменшувати витрати на ремонт і мінімізувати простої транспортних засобів.

Отже, наведені показники підтверджують стабільний інвестиційний інтерес до сфери дистанційної діагностики автомобілів, значний потенціал її подальшого розвитку та актуальність наукових досліджень, спрямованих на створення нових інтелектуальних інформаційно-вимірювальних систем контролю технічного стану транспортних засобів.

Географічна структура світового ринку систем дистанційної діагностики транспортних засобів формується під впливом комплексу техніко-економічних, інфраструктурних та нормативно-правових чинників. Ключовими серед них є рівень розвитку автомобільної промисловості, масштаби цифровізації транспортного сектору, чисельність парку підключених транспортних засобів, ступінь поширення телематичних сервісів, а також державні вимоги щодо екологічного контролю, безпеки руху та обов’язкової бортової діагностики.

Провідні позиції на ринку традиційно займають економічно розвинені регіони, у яких спостерігається висока концентрація сучасного автотранспорту

та значний рівень інтеграції інформаційних технологій у транспортну галузь. Насамперед це стосується Північної Америки та країн Європейського Союзу, де широко впроваджуються системи віддаленого моніторингу технічного стану автомобілів, страхова телематика, сервіси прогнозного технічного обслуговування та цифрові платформи керування автопарками.

Важливим фактором регіонального розподілу ринку є також законодавчі вимоги щодо використання стандартів бортової діагностики типу OBD-II, EOBD, систем екстреного виклику та екологічного моніторингу викидів. Таким чином, регіональна структура ринку дистанційної діагностики транспортних засобів відображає нерівномірність технологічного розвитку світового автомобільного сектору та рівень готовності окремих країн до впровадження концепції Connected Car. Детальний розподіл ринкових часток між основними регіонами світу наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Регіональна структура ринку дистанційної діагностики автомобілів

Регіон / Країна	2022 (%)	2024 (%)	2026П (%)	CAGR (%)	Ключові гравці
США	36%	34%	32%	12–13%	Bosch, Delphi, Snap-on
Євросоюз	26%	25%	24%	11–12%	Continental, Hella, Texa
Китай	16%	19%	22%	18–20%	SAIC, Autel, Launch Tech
Японія	9%	8%	7%	8–9%	Toyota, Denso, Fujitsu
Інші	13%	14%	15%	14–15%	Різні регіональні

Джерело: складено автором на основі даних Statista (2024), Grand View Research (2024), Allied Market Research (2023)

Сполучені Штати Америки традиційно займають лідируючі позиції у структурі ринку, забезпечуючи понад третину глобального попиту завдяки високій щільності автомобільного парку (понад 290 млн одиниць), обов'язковості стандарту OBD-II з 1996 р. та розвиненій екосистемі технологічних стартапів і страхових телематичних послуг. Разом з тим питома вага США поступово знижується внаслідок більш швидкого зростання азійських ринків» [4].

Євросоюз демонструє помірно стабільну частку ринку. Ключовими факторами є обов'язкова система eCall (з 2018 р.), вимоги до викидів Euro 6/6d та активний розвиток бортової діагностики для підключених вантажних автомобілів у рамках директиви ITS 2010/40/EU. Лідером у сегменті вантажного транспорту є Volkswagen Group / Traton, а в легковому — Stellantis і BMW Group.

«Китайський ринок демонструє найвищий темп зростання серед розглянутих регіонів (CAGR 18–20%), що обумовлено кількома чинниками: масштабна державна програма «Розумний автомобіль» найбільший у світі ринок нових електромобілів (BEV/PHEV), підтримка вітчизняних виробників сканерів (Autel, Launch Tech, Thinkcar) та активне впровадження 5G-зв'язку для V2X-комунікацій.

Японський ринок демонструє відносно помірний CAGR (8–9%), однак відрізняється надзвичайно високою технологічною зрілістю: Toyota Motor Corporation та Denso Corporation є піонерами у розробці бортових діагностичних протоколів (CAN FD, Automotive Ethernet), а Sony — у системах ADAS-діагностики. Поступове скорочення частки ринку пояснюється відносно повільнішим, порівняно з Китаєм, переходом на платформи SDE (Software-Defined Environment)» [5].

Зростання обсягів ринку безпосередньо корелює з інвестиційною активністю ключових учасників. Таблиця 1.2 містить узагальнені дані про обсяги корпоративних інвестицій у розробку та комерціалізацію систем дистанційної діагностики за 2023–2025 роки.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 1.2 — Інвестиції провідних компаній у розвиток технологій дистанційної діагностики (2023–2025 рр.)

Компанія / Консорціум	Країна	Інвестиції (\$ млн, 2023–2025)	Напрямок	Результат
Robert Bosch GmbH	Німеччина	~1 200	OBD/OTA-діагностика, AI-аналітика	Платформа Bosch Car Service Connect
Continental AG	Німеччина	~850	Хмарна телематика, ADAS-діагностика	VDO RoadLog, ContiConnect
Snap-on Inc.	США	~600	Handheld-сканери, SaaS-передплата	ZEUS+, SOLUS Edge
Autel Intelligent Technology	Китай	~420	AI-OBD2, CV-діагностика	MaxiSys Ultra EV
Launch Tech Co.	Китай	~310	X-431 сімейство, хмарний ECU-тюнінг	Launch X-431 PROS V2
Delphi Technologies	США / Велика Британія	~390	Ethernet ECU-шини, AUTOSAR	DS-оновлення платформи
Denso Corporation	Японія	~280	OBD2 + V2X, EV-діагностика	DS-перемикачі EV-шин
Texa S.p.A.	Італія	~190	Multi-brand scanner, IDC5	AXONE Nemo 2 Pro
Всього (ТОП-8)	—	~4 240	—	—

Як видно з таблиці 1.2, сукупний обсяг інвестицій восьми провідних компаній перевищив 4,2 млрд дол. США за аналізований трирічний період. Найбільш капіталомістким є напрям хмарної аналітики та штучного інтелекту: за оцінками McKinsey (2024), понад 38% сукупного обсягу НДДКР у галузі спрямовано на розробку предиктивних моделей технічного обслуговування.

Принципово важливим є зміщення фокусу інвестицій від апаратних сканерів до програмних платформ і SaaS-передплат. Так, у структурі виручки Snap-on Inc. частка підписних сервісів збільшилась із 12% у 2020 р. до 29% у 2024 р. (Snap-on Annual Report, 2024). Аналогічна тенденція спостерігається у Continental та Bosch, де хмарні продукти демонструють CAGR вдвічі вищий, ніж традиційне апаратне забезпечення.

Ринок дистанційної діагностики є неоднорідним і складається з кількох технологічних сегментів, кожен з яких характеризується власним рівнем зрілості та темпами зростання. Порівняльний аналіз сегментів наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 — Сегментна структура ринку та показники CAGR за окремими напрямками

Сегмент ринку	2023 (\$ млрд)	2026П (\$ млрд)	CAGR (%)	Драйвер зростання
OBD / Plug-in scanner	4.1	7.2	15–16%	Масова доступність, низька ціна
Телематичні системи (FMS)	3.6	6.0	13–14%	Fleet management, логістика
OTA (Over-the-Air) оновлення	2.1	4.8	17–18%	Software-defined vehicle
Cloud-аналітика / AI	1.4	3.8	20–22%	Predictive maintenance
EV-специфічна діагностика	0.9	2.9	24–26%	Зростання ринку EV
Разом по ринку	12.1	25.2	13–16%	Комплексна цифровізація

Аналіз даних таблиці 1.3 дозволяє виокремити сегмент EV-специфічної діагностики як найбільш динамічний: очікуваний CAGR 24–26% зумовлений стрімким зростанням парку електромобілів (за прогнозом IEA, до 2030 р. — понад 300 млн одиниць) та принципово новими вимогами до моніторингу батарейних модулів (BMS-діагностика), теплових систем і рекуперативних приводів. Сегмент хмарної аналітики та AI демонструє другий за величиною CAGR (20–22%), що відображає загальну тенденцію до інтеграції великих даних у процеси управління технічним обслуговуванням автопарків (fleet telematics).

Ключовим системним чинником, що забезпечує стає зростання галузі, є технологічна конвергенція — взаємне посилення кількох паралельних трендів. По-перше, стандартизація протоколів бортової діагностики (OBD-II, ISO 15765, SAE J1979) створила єдину апаратну основу для розгортання хмарних сервісів. По-друге, масове поширення LTE/5G-мереж знизило вартість телематичних модулів і забезпечило пропускну здатність, достатню для потокової передачі даних із CAN-шин у реальному часі.

По-третє, «регуляторний тиск — вимоги ЄС щодо систем активної безпеки (ADAS), американський стандарт FMVSS 305 для EV, китайський стандарт GB/T 32960 для телематики BEV — фактично зобов'язує виробників OEM інтегрувати дистанційну діагностику як базову функцію транспортного засобу. По-четверте, поширення концепції програмно-визначених автомобілів (SDV) формує новий операційний принцип: автовиробники отримують можливість оновлювати програмне забезпечення ЕБУ (OTA-updates), одночасно здійснюючи неперервний моніторинг стану компонентів, що прямо стимулює попит на платформи дистанційної діагностики» [6].

Перераховані чинники у сукупності формують самопідтримуваний цикл зростання: збільшення кількості підключених автомобілів генерує більший обсяг діагностичних даних; ці дані забезпечують навчання AI-моделей предиктивного обслуговування; удосконалені моделі підвищують цінність SaaS-передплат; зростання виручки від передплат фінансує подальші НДДКР.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таким чином, аналіз розвитку світового ринку засобів дистанційної діагностики автомобілів засвідчує його динамічний характер: оцінки обсягу ринку у 16–19 млрд дол. США на 2025–2026 рр. при CAGR 13–16% відображають фундаментальну трансформацію автомобільного сервісу під впливом цифровізації, електрифікації та посилення регуляторних вимог. Лідерство США, ЄС та Китаю визначається специфічними конкурентними перевагами кожного регіону, а сукупні інвестиції провідних учасників, що перевищили 4,2 млрд дол. США за 2023–2025 рр., забезпечують технологічну базу для подальшого прискореного зростання галузі.

1.2 Дослідження стаціонарних дистанційних діагностичних систем транспортних засобів

Паралельно з «розвитком універсальних aftermarket-рішень провідні автовиробники сформували власні вертикально інтегровані платформи дистанційної діагностики — так звані OEM-системи (Original Equipment Manufacturer). На відміну від незалежних сканерів, що використовують стандартизований протокол OBD-II, OEM-платформи мають прямий доступ до внутрішніх шин автомобіля (CAN, LIN, FlexRay, Automotive Ethernet) та до повного стеку програмного забезпечення, що дозволяє отримувати значно ширший спектр діагностичних параметрів і впроваджувати функції дистанційного оновлення програмного забезпечення (OTA — Over-the-Air)» [7].

Станом на 2024 рік у «глобальному масштабі нараховується понад 86 млн автомобілів, підключених до OEM-хмарних платформ (Statista, 2024). Це число зростає щороку приблизно на 18–22%, випереджаючи загальні темпи зростання ринку. Аналіз семи провідних OEM-платформ — Tesla Remote Diagnostics, BMW ConnectedDrive, Mercedes-Benz Mercedes me, Toyota Connected Services, Volkswagen Car-Net, Ford FordPass та General Motors OnStar — дозволяє виявити закономірності архітектурних рішень, бізнес-моделей та функціональних можливостей» [8].

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Загальні характеристики семи досліджуваних платформ систематизовано у таблиці 1.4. Порівняння здійснювалось за вісьмома ключовими критеріями: рік запуску, масштаб охоплення, наявність повноцінного ОТА-оновлення, хмарна діагностика у реальному часі, застосування штучного інтелекту, мобільний клієнт, протокол зв'язку та модель монетизації.

Таблиця 1.4 — Порівняльна характеристика OEM-платформ дистанційної діагностики автомобілів

Критерій	Tesla	BMW ConnectedDrive	Mercedes-Benz Mercedes me	Toyota Connected	VW Car-Net	Ford FordPass	GM OnStar
Рік запуску платформи	2012	2011	2013	2017	2013	2016	1996
Підключених авто (млн, 2024)	~6,0	~20,0	~15,0	~12,0	~10,0	~7,5	~16,0
ОТА-оновлення ПЗ ECU	Повне (OTA-V)	Часткове	Часткове	Обмежене	Обмежене	Часткове	Обмежене
Хмарна діагностика real-time	Так (Tesla Cloud)	Так (BMW Cloud)	Так (Mercedes Cloud)	Так (Toyota DC)	Частково	Частково	Так (OnStar DC)
AI / Predictive maintenance	Так (Autopilot AI)	Так (CarData AI)	Так (Intelligent Svc)	Розробка	Ні	Розробка	Так (OnStar AI)
Мобільний застосунок	Tesla App	MyBMW	Mercedes me	Toyota App	myVolkswagen	FordPass	myChevrolet
Протокол зв'язку	LTE/5G + Wi-Fi	LTE + BT	LTE + BT	LTE + BT	LTE	LTE + BT	LTE (4G)
Модель монетизації	Підписка FSD	Платна підписка	Платна підписка	Безкоштовно + план	Безкоштовно + план	Безкоштовно + план	Підписка

Джерело: складено автором на основі офіційної документації OEM-виробників, Statista (2024), IHS Markit Connected Car Report (2024)

Як свідчать дані таблиці 1.4, найбільш функціонально повною є платформа Tesla, яка єдина серед досліджених забезпечує повноцінне бездротове оновлення всіх бортових систем автомобіля (FOTA + SOTA). GM OnStar є найстарішою платформою (з 1996 р.) та другою за охопленням — 16 млн підключених автомобілів. BMW ConnectedDrive лідирує за загальним масштабом підключеного парку (понад 20 млн одиниць), що пояснюється широким модельним рядом BMW Group (BMW, MINI, Rolls-Royce).

Наведені на рисунку 1.2 кількісні параметри свідчать не лише про високий рівень концентрації, але й про формування олігополістичної структури

ринку підключених транспортних засобів. Домінування трьох провідних платформ — BMW ConnectedDrive, GM OnStar та Mercedes me — фактично визначає стандарти функціональності, безпеки та сервісної екосистеми у галузі. Сукупна частка цих рішень, що перевищує половину всього підключеного автопарку, вказує на наявність суттєвих бар'єрів входу для нових гравців, зокрема через необхідність значних інвестицій у телематичну інфраструктуру, хмарні сервіси та кібербезпеку.



Рисунок 1.2- Кількість підключених автомобілів за OEM-платформами (млн одиниць, 2024 р.)

З техніко-економічної точки зору, така концентрація також відображає ефект масштабованості цифрових платформ: виробники з більшим автопарком отримують доступ до ширших масивів даних, що дозволяє ефективніше впроваджувати аналітику на базі великих даних, предиктивне обслуговування та персоналізовані сервіси для користувачів. Відповідно, формується замкнений цикл підвищення конкурентоспроможності, де обсяг підключених транспортних засобів прямо впливає на якість цифрових продуктів.

На цьому тлі компанія Tesla демонструє альтернативну стратегічну модель розвитку. Попри меншу кількість підключених автомобілів, її підхід базується на вертикальній інтеграції, що охоплює як апаратну архітектуру (власні обчислювальні модулі, сенсорні системи), так і програмний стек (операційна система, алгоритми автономного водіння, ОТА-оновлення). Це

дозволяє досягати більшої глибини контролю над життєвим циклом продукту та швидкості впровадження інновацій у порівнянні з традиційними виробниками, які часто покладаються на розподілену екосистему постачальників.

Крім того, відмінність підходу Tesla проявляється у трансформації автомобіля з транспортного засобу у програмно-керовану платформу (software-defined vehicle), де функціональність може динамічно змінюватися після продажу. Це створює нові моделі монетизації (підписки, платні функції, оновлення), а також змінює конкурентну парадигму — з класичного виробництва до цифрових сервісів. Таким чином, навіть за меншої ринкової частки за кількістю підключених авто, Tesla займає стратегічно значущу нішу, впливаючи на довгострокові тенденції розвитку всієї індустрії підключеної мобільності.

Функціональність бездротового оновлення програмного забезпечення (OTA) фактично виступає інтегральним індикатором архітектурної зрілості OEM-платформи, оскільки вимагає узгодженої роботи телематичного модуля, захищених каналів зв'язку, хмарної інфраструктури, а також модульної програмної архітектури транспортного засобу. З технічної точки зору, впровадження OTA передбачає наявність механізмів керування версіями, відмовостійких сценаріїв (rollback), криптографічного підпису пакетів оновлення та ізольованого виконання критичних компонентів.

У межах даної парадигми розрізняють два базові класи оновлень. SOTA (Software Over-the-Air) «орієнтовані на рівень прикладного програмного забезпечення та користувацьких сервісів, включаючи інфотейнмент-системи, навігацію, інтерфейси взаємодії та хмарні сервіси. Цей тип оновлень, як правило, має нижчі вимоги до функціональної безпеки, характеризується відносно швидким циклом розгортання та забезпечує гнучкість у впровадженні нових функцій без втручання у критичні системи автомобіля» [8].

Натомість FOTA (Firmware Over-the-Air) «охоплює оновлення мікропрограмного забезпечення вбудованих контролерів (ECU), включаючи системи допомоги водію (ADAS), блоки керування силовим агрегатом,

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гальмівні системи та інші компоненти, що належать до домену функціональної безпеки. Реалізація FOTA є значно складнішою з огляду на вимоги стандартів, зокрема ISO 26262, а також необхідність забезпечення детермінованості, цілісності та безперервності роботи систем під час оновлення. У таких випадках застосовуються механізми подвійних образів прошивки (A/B partitioning), атомарного перемикавання версій та суворі процедури валідації.

Ключова відмінність між SOTA та FOTA полягає у рівні критичності оновлюваних компонентів і, відповідно, у вимогах до процесів верифікації, кібербезпеки та управління ризиками. Якщо SOTA переважно спрямовані на покращення користувацького досвіду, то FOTA безпосередньо впливають на експлуатаційні характеристики, безпеку та надійність транспортного засобу».

Деталізовані відмінності між SOTA та FOTA, включаючи параметри безпеки, глибину доступу до систем та вимоги до інфраструктури, систематизовано у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 — Порівняльний аналіз OTA-можливостей OEM-платформ

ОЕМ-платформа	OTA тип	Системи, що оновлюються	Частота оновлень	Час оновлення (хв)	Вимагає зупинки авто	Рік першого OTA
Tesla (OTA-V)	Повне FOTA + SOTA	ECU, Autopilot, UI, ADAS, акумулятор	4–8 разів/рік	15–45	Ні / частково	2012
BMW (NGDI OTA)	Часткове SOTA	iDrive, навігація, CarPlay, деякі ECU	2–4 рази/рік	20–60	Так	2018
Mercedes me (MBOS OTA)	Часткове SOTA+FOTA	MBUX, навігація, ECU обмежено	2–3 рази/рік	30–90	Так	2020
Toyota Connected (OTA)	Обмежене SOTA	Мультимедіа, навігація	1–2 рази/рік	30–60	Так	2019
VW Car-Net (MIB3 OTA)	Часткове SOTA	Infotainment, навігація	1–2 рази/рік	20–40	Так	2020
FordPass (Ford SYNC OTA)	Часткове SOTA+FOTA	SYNC, ADAS, деякі ECU	2–4 рази/рік	15–30	Так	2020
GM OnStar (SWaP OTA)	Часткове FOTA	BCM, ECU двигуна (Ultium)	2–3 рази/рік	20–60	Так	2021

Аналіз таблиці 1.5 засвідчує, що Tesla є абсолютним лідером за повнотою ОТА-можливостей: компанія реалізує оновлення до 8 разів на рік без зупинки автомобіля для більшості процесів. Це стало можливим завдяки принципово іншій архітектурі: Tesla використовує централізовану зональну архітектуру з кількома потужними центральними обчислювальними вузлами (FSD Computer, Infotainment Computer), тоді як традиційні OEM мають децентралізовану мережу із 70–150 окремих ECU різних постачальників, що ускладнює одночасне оновлення.

BMW, Mercedes-Benz та Ford реалізують проміжний підхід — часткове FOTA+SOTA, охоплюючи критичні системи безпеки та інфотейнмент. Toyota та Volkswagen поки обмежуються переважно SOTA-оновленнями мультимедійних систем, хоча обидві компанії заявили про плани розширення ОТА-функціональності в рамках відповідно платформи e-TNGA та MEB Evolution.

Центральним компонентом кожної OEM-платформи є система дистанційного технічного моніторингу, що включає збирання телеметричних даних, їх хмарну обробку та формування сервісних рекомендацій. Функціональні можливості кожної платформи деталізовано у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 — Функціональні можливості OEM-платформ

ОЕМ / Платформа	Параметри моніторингу	Прогностичні функції	Сповіщення власника	Інтеграція з сервісом
Tesla Remote Diag.	Акумулятор (SOC/SOH/температура), тяговий двигун, гальма, тиск шин, ADAS-сенсори, CAN-шини	Деградація АКБ, знос гальм, аномалії ВН-компонентів (AI-модель)	Push/SMS/e-mail; авто-запис до сервісу	Tesla Service Center (прямий канал), Mobile Service
BMW ConnectedDrive	Двигун (500+ параметрів), трансмісія, ходова, електрика, гальма, рівні рідин, TPMS	Intelligent Personal Assistant — нагадування про сервіс з урахуванням стилю водіння	Push-сповіщення у MyBMW; e-mail дилеру	BMW Remote Service Desk; авто-бронювання
Mercedes-Benz me	Двигун, AIRMATIC, Distronic, 360° камери, ESP, акумулятор (EQ)	Intelligent Service (аналіз їзди + профілактика), Remote Vehicle Check	Push/SMS; звіт у застосунку	Dealer Connect — онлайн-діагностика дилером

Продовження таблиці 1.5

Toyota Connected Svc	OBD-II параметри (270+), PHEV/BEV батарея, TPMS, airbag-статус	AI Health Check (щомісячний звіт на е-пошту)	In-app + e-mail звіт; Call-центр Safety Connect	Toyota Service Connect — дані до дилера
VW Car-Net	Базові OBD-параметри, стан батареї (ID.4/ID.3), TPMS, замки	Обмежений стан ТЗ; немає AI-прогнозування	Push у myVolkswagen	WE Connect — сервісне нагадування
Ford FordPass	Двигун (Ford PowerTrainMonitor), рівні рідин, TPMS, EVбатарея (Mustang Mach-E)	Ford Telematics — аналіз для флоту; базовий для фізосіб	Push/SMS; Vehicle Health Alerts	Ford Dealer Integration — прямий запис
GM OnStar	250+ параметрів ECU, гальма, трансмісія, Ultium BMS (EV), TPMS, airbag	OnStar Smart Driver — аналіз водіння + технічний стан	SMS/e-mail Vehicle Diagnostics Report (щомісяць)	OnStar Advisor (24/7 оператор) + dealer feed

Джерело: складено автором на основі технічної документації виробників, офіційних сайтів та публікацій IEEE Vehicular Technology (2023–2024)

Найбільш розвиненою системою предиктивної діагностики на основі штучного інтелекту є Tesla Remote Diagnostics. Платформа агрегує дані з понад 1500 сенсорів автомобіля у режимі реального часу та обробляє їх у хмарній інфраструктурі на базі DOJO-суперкомп'ютера. Алгоритми машинного навчання дозволяють прогнозувати деградацію акумуляторної батареї з точністю до 94%, що підтверджено незалежним дослідженням Teslarati Analytics (2023). Tesla також єдина серед досліджених виробників забезпечує можливість дистанційного виправлення несправностей без виклику автомобіля на сервіс (Remote Fix) — за даними компанії, у 2023 р. близько 67% запитів на технічне обслуговування було вирішено дистанційно.

BMW ConnectedDrive та Mercedes-Benz Mercedes me реалізують схожий підхід до предиктивного обслуговування на основі аналізу стилю водіння. BMW Condition Based Service автоматично коригує інтервали технічного обслуговування залежно від реальних умов експлуатації, що дозволяє скорочувати непотрібні сервісні візити на 15–20% (BMW Annual Report, 2023). Mercedes-Benz Intelligent Service аналізує 200+ параметрів і формує персоналізований сервісний план. GM OnStar пропонує щомісячний Vehicle Diagnostics Report — автоматичне формування звіту про стан 250+ параметрів ТЗ з надсиланням на е-mail власника [9].

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

1.3 Дослідження системи дистанційної діагностики транспортного засобу

Сучасний автомобіль є складною технічною системою, що об'єднує десятки електронних вузлів, механічних агрегатів та гідравлічних контурів. Забезпечення їхнього безперебійного функціонування є одним із ключових завдань технічного обслуговування транспортного засобу. Традиційна діагностика, яка здійснюється виключно в умовах сервісного центру, має суттєвий недолік — вона є дискретною, тобто фіксує стан автомобіля лише в момент підключення діагностичного обладнання.

Система дистанційної діагностики транспортного засобу (Remote Vehicle Diagnostics System, RVDS) — це «апаратно-програмний комплекс, вбудований безпосередньо в автомобіль, що забезпечує безперервний моніторинг технічного стану всіх критичних підсистем, збір діагностичних даних у реальному часі та їх дистанційну передачу на сервер обробки через мережу мобільного зв'язку стандарту LTE» [10]. Концепція розробленої системи базується на трирівневій архітектурі, що представлена на схемі рисунку 1.5

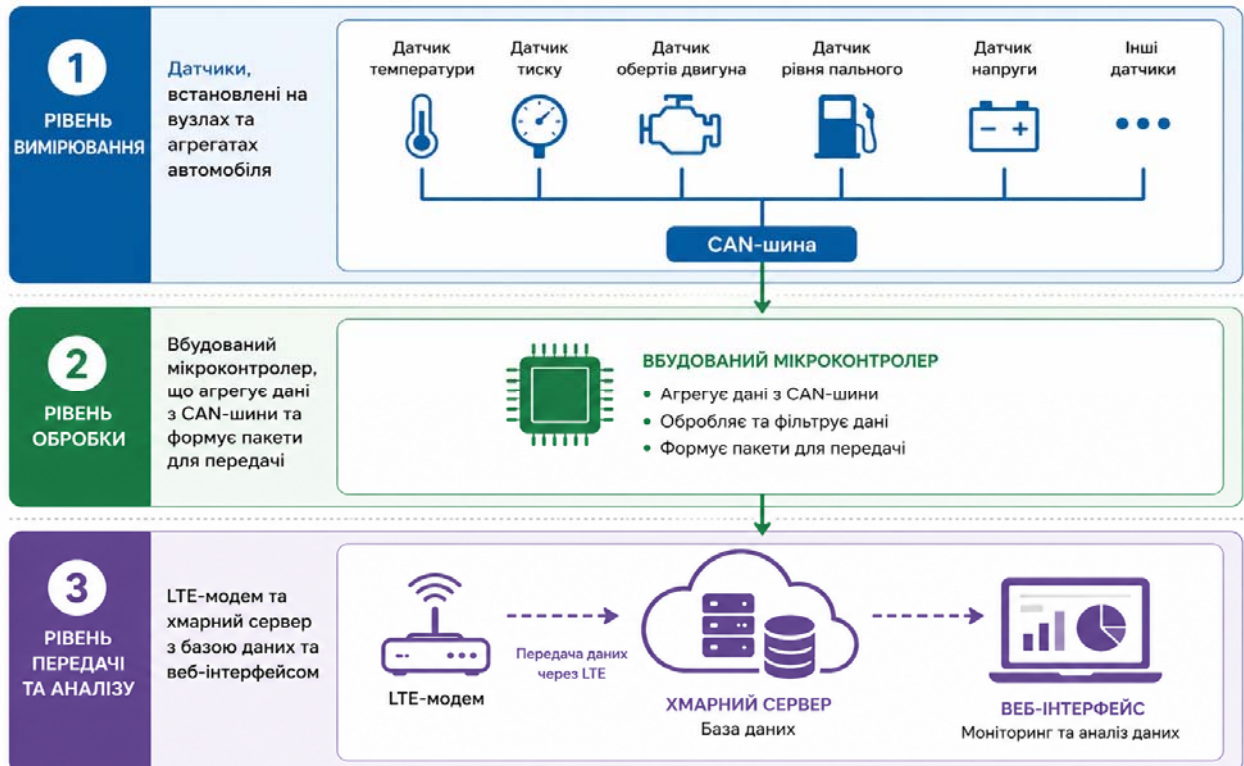


Рисунок 1.6- Трирівнева модель дистанційної діагностики транспортних засобів

Структурна схема системи дистанційної діагностики наочно ілюструє взаємозв'язок між усіма компонентами: від первинних перетворювачів фізичних величин (датчиків) до хмарного сервера. На рисунку 1.7 зображена архітектурна модель автомобіля з нанесеними блоками датчиків, напрямками потоків даних по CAN-шині до центрального мікроконтролера та каналом бездротової передачі через LTE-модем [11].

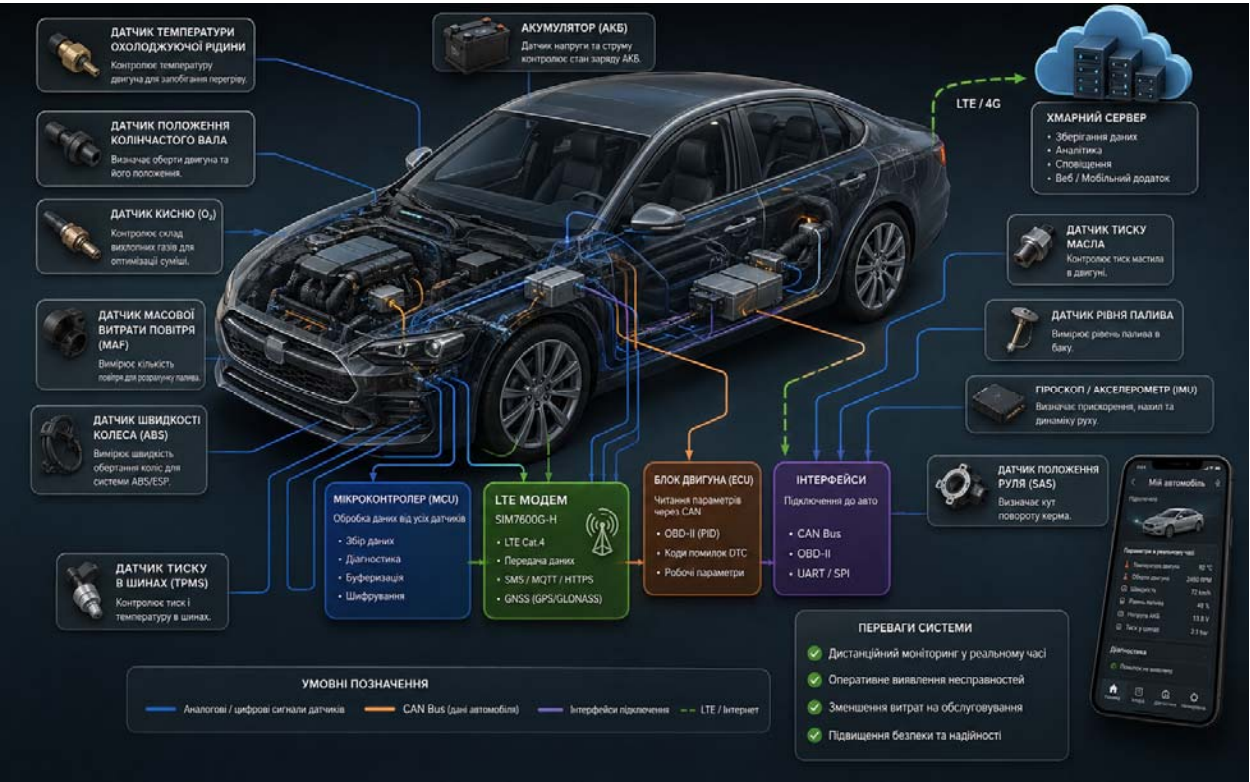


Рисунок 1.7- Функціональна системи дистанційної діагностики транспортного засобу

Подана на рисунку система є багаторівневою телематичною архітектурою дистанційної діагностики транспортного засобу, у якій реалізовано повний цикл збору, обробки, передачі та інтерпретації експлуатаційних параметрів у реальному часі.

На нижньому рівні функціонують первинні вимірювальні елементи — датчики, інтегровані у ключові підсистеми автомобіля. До них належать сенсори температури охолоджувальної рідини, положення колінчастого вала, кисню (O₂), масової витрати повітря (MAF), швидкості обертання коліс (ABS), тиску в шинах (TPMS), тиску мастила, рівня палива, положення керма (SAS) та інерціальні вимірювальні модулі (IMU). Ці компоненти здійснюють

безперервне перетворення фізичних величин у електричні сигнали (аналогові або цифрові), що відображають фактичний стан вузлів і агрегатів.

Отримані сигнали надходять до електронного блоку керування двигуном (ECU) та інших спеціалізованих контролерів через внутрішні інтерфейси, зокрема CAN-шину, яка виконує роль магістрального каналу обміну даними в автомобілі. ECU виконує первинну агрегацію, нормалізацію та інтерпретацію параметрів, формуючи стандартизовані діагностичні змінні (PID) та коди несправностей (DTC) [12].

Наступним етапом є передача даних до центрального мікроконтролера (MCU), який виконує функції вторинної обробки. На цьому рівні реалізується фільтрація шумів, часове узгодження сигналів, буферизація потоків даних та їх підготовка до передачі. Крім того, MCU може виконувати локальну діагностику, виявляючи аномалії на основі заданих порогових значень або алгоритмів аналізу.

Після обробки інформація надходить до LTE-модему (наприклад, SIM7600), який забезпечує бездротову передачу даних через мережу мобільного зв'язку стандарту 4G. Передача може здійснюватися за допомогою протоколів прикладного рівня, таких як MQTT або HTTPS, що гарантує надійність і безпечність обміну.

На верхньому рівні знаходиться хмарна інфраструктура, яка виконує функції централізованого зберігання, аналітики та візуалізації. Отримані дані агрегуються у базах даних, обробляються аналітичними сервісами та використовуються для побудови діагностичних висновків, прогнозування відмов і формування сповіщень. Кінцевий користувач взаємодіє із системою через веб-інтерфейс або мобільний додаток, отримуючи доступ до параметрів автомобіля в режимі реального часу.

Таким чином, принцип роботи системи базується на ієрархічній обробці даних із розподілом функцій між сенсорним рівнем, рівнем вбудованої обробки та хмарною платформою, що забезпечує масштабованість, оперативність діагностики та можливість інтеграції з сучасними інтелектуальними транспортними системами.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Центральним обчислювальним ядром бортового діагностичного модуля виступає мікроконтролер STM32F407VGT6 виробництва STMicroelectronics, який належить до високопродуктивної серії STM32F4, побудованої на архітектурі ARM Cortex-M4 з апаратною підтримкою операцій із плаваючою комою (FPU). Застосування даного мікроконтролера у складі системи дистанційної діагностики обумовлене його здатністю ефективно обробляти великі потоки телеметричних даних у реальному часі при збереженні помірного енергоспоживання, що є критично важливим для автомобільних вбудованих систем [13].



Рисунок 1.9- STM32F407VGT6

Архітектурно, ядро ARM Cortex-M4 забезпечує виконання інструкцій із високою щільністю обчислень, включаючи операції цифрової обробки сигналів (DSP), що дозволяє реалізовувати алгоритми фільтрації, апроксимації та виявлення аномалій без залучення додаткових апаратних ресурсів. Тактова частота до 168 МГц у поєднанні з кеш-пам'яттю та оптимізованою шиною доступу до пам'яті забезпечує низькі затримки обробки критичних подій, зокрема при роботі з перериваннями від CAN-контролера або таймерів.

Підсистема пам'яті мікроконтролера представлена 1 МБ вбудованої Flash-пам'яті, яка використовується для зберігання програмного коду та конфігураційних даних, а також 192 КБ оперативної пам'яті SRAM, призначеної для буферизації телеметрії, стеків задач та проміжних результатів обробки. Така конфігурація дозволяє реалізувати складні багатозадачні алгоритми без необхідності постійного звернення до зовнішніх носіїв [14].

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Важливою перевагою є наявність двох незалежних інтерфейсів bxCAN, сумісних зі стандартом ISO 11898, що дає змогу організувати паралельну роботу з кількома сегментами CAN-мережі транспортного засобу або розділити діагностичний і службовий трафік. Шість каналів UART/USART забезпечують гнучкість у підключенні зовнішніх модулів, зокрема LTE-модему, GPS-приймача чи діагностичних інтерфейсів. Аналого-цифрова підсистема, представлена трьома 12-бітними АЦП із сумарною продуктивністю до 2.4 MSPS, дозволяє виконувати високошвидкісне оцифрування сигналів із аналогових сенсорів, що розширює можливості системи поза межами суто цифрової CAN-діагностики.

Функціонально мікроконтролер виконує роль інтеграційного вузла, який забезпечує консолідацію даних із розподілених джерел. На етапі ініціалізації відбувається конфігурування тактуючої підсистеми, налаштування периферійних модулів (CAN, UART, SPI, ADC) та запуск програмних задач. У робочому режимі MCU здійснює циклічне опитування CAN-шини з використанням апаратних фільтрів і буферів прийому, що мінімізує навантаження на процесорне ядро. Отримані телеграми піддаються первинній обробці, яка включає перевірку цілісності, масштабування фізичних величин та цифрову фільтрацію, наприклад із застосуванням ковзного середнього або більш складних FIR/IIR-фільтрів [15].

Ключовим аспектом є реалізація механізмів діагностичного контролю: значення параметрів порівнюються з допустимими інтервалами, а у випадку їх перевищення генеруються події, що класифікуються за рівнем критичності. Такі події можуть ініціювати негайну передачу повідомлень через телематичний канал або локальні реакції системи. Для передачі даних використовується формування структурованих пакетів у форматі JSON, що спрощує їх подальшу інтеграцію з хмарними сервісами.

З метою підвищення надійності функціонування передбачено механізм буферизації даних у зовнішній Flash-пам'яті через інтерфейс SPI. У разі втрати зв'язку з мережею LTE система переходить у режим накопичення, а після відновлення з'єднання виконує відкладену передачу даних без втрати

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інформації. Окрему увагу приділено енергетичній ефективності: використання режимів сну (Sleep, Stop, Standby) дозволяє суттєво знизити споживання енергії у періоди неактивності, що особливо актуально при тривалому простої транспортного засобу.

Програмна реалізація базується на мові C із використанням операційної системи реального часу FreeRTOS, яка забезпечує детерміноване планування задач і підтримку багатопотокового виконання. Архітектура програмного забезпечення побудована за принципом розподілу функціональності між окремими задачами: обробка CAN-трафіку, аналіз даних, управління зв'язком і обробка аварійних подій. Пріоритетна модель планування налаштована таким чином, що критичні задачі, пов'язані з безпекою та аварійною сигналізацією, мають найвищий рівень пріоритету, забезпечуючи мінімальні затримки реакції системи.

У сукупності наведені апаратні та програмні характеристики формують високоефективну платформу для реалізації інтелектуальних систем автомобільної діагностики, здатних працювати в умовах обмежених ресурсів та підвищених вимог до надійності й швидкодії.

Проведений системний аналіз архітектури та компонентного складу системи дистанційної діагностики транспортного засобу, дозволив обґрунтувати вибір структурних рішень і елементної баз. Встановлено, що застосування трирівневої моделі організації «датчики → обчислювальний вузол → хмарна інфраструктура» формує логічно завершену та ієрархічно впорядковану систему, у якій кожен рівень виконує чітко визначені функції — від первинного збору даних до їх аналітичної обробки та візуалізації.

Обґрунтовано доцільність використання CAN-шини стандарту ISO 11898 як базового комунікаційного середовища бортової мережі. Її застосування забезпечує високу завадостійкість передачі, гарантовану часову детермінованість обміну повідомленнями, а також наявність апаратно реалізованих механізмів контролю помилок і арбітражу доступу до середовища. Це, у свою чергу, є критично важливим для систем, що

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

функціонують у режимі реального часу та обслуговують велику кількість розподілених джерел даних.

Мікроконтролер STM32F407VGT6 є раціональним вибором для реалізації центрального обчислювального вузла діагностичної системи. Його апаратні ресурси, зокрема ядро ARM Cortex-M4, наявність двох незалежних CAN-контролерів і розвиненої периферії, забезпечують можливість паралельної обробки потоків даних від різних підсистем автомобіля із дотриманням вимог до швидкодії та детермінізму [16].

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Загальна характеристика інформаційно-вимірювальних компонентів технічних параметрів транспортних засобів

Інформаційно-вимірювальна система транспортного засобу є багаторівневою кіберфізичною структурою, що забезпечує безперервне спостереження, перетворення та інтерпретацію параметрів стану як окремих агрегатів, так і автомобіля в цілому

Ключові параметри сенсорів — діапазон вимірювання, точність, чутливість, швидкодія та довготривала надійність — безпосередньо впливають на якість функціонування замкнених контурів керування. Обмежений діапазон може призводити до насичення сигналу, недостатня точність — до накопичення похибок у системах регулювання, а низька швидкодія — до запізнювання реакції системи на динамічні зміни. У свою чергу, деградація надійності сенсорів створює ризики формування некоректних керуючих дій, що особливо критично для систем ADAS та силових установок [17].

Температурні сенсори належать до базових елементів інформаційно-вимірювальної підсистеми транспортного засобу, оскільки саме температурні режими визначають ефективність, ресурс і безпечність роботи більшості вузлів. У практиці автомобілебудування переважають напівпровідникові терморезистивні перетворювачі (NTC/PTC), рідше — термопари для високотемпературних зон. Їх вибір зумовлений компромісом між чутливістю, інерційністю, вартістю та стійкістю до агресивного середовища.

Датчик температури охолоджувальної рідини (ECT) [18] (рисунок 2.1) є ключовим джерелом даних для електронного блоку керування двигуном. На основі його показів формується стратегія збагачення паливно-повітряної суміші під час холодного пуску, регулюється кут випередження запалювання, а також керується робота вентилятора системи охолодження. Неточність або зсув

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

калібрування цього сенсора безпосередньо впливає на витрату палива, токсичність викидів і теплові навантаження на двигун.



Рисунок 2.1- Датчик температури охолоджувальної рідини транспортного засобу

Найбільш поширеним первинним перетворювачем температури в системах ТЗ є NTC-термістор. Принцип роботи ґрунтується на нелінійній залежності електричного опору напівпровідника від температури. При підвищенні температури опір різко зменшується за законом:

$$R(T) = R_0 \cdot \exp[B \cdot (1/T - 1/T_0)]$$

де R_0 — опір при температурі $T_0 = 298 \text{ K}$ (25°C), B — константа матеріалу (зазвичай $3000\text{--}5000 \text{ K}$). Типові характеристики NTC-термісторів: діапазон вимірювань $-40\text{...}+150^\circ\text{C}$; опір при 25°C : $2\text{--}10 \text{ кОм}$; чутливість: близько $-3,5\%/^\circ\text{C}$; відносна похибка: $0,5\text{--}2\%$ від повної шкали; час відгуку: $1\text{--}5 \text{ с}$.

Перевагами NTC-термісторів є невисока вартість, компактні розміри та висока чутливість. Суттєвим недоліком є нелінійна характеристика, що потребує програмної лінеаризації в ECU. Клас точності датчиків температури ТЗ, як правило, відповідає $\pm 2^\circ\text{C}$ у робочому діапазоні» [19].

Вимірювання «кутового положення та частоти обертання колінчастого (СКР) і розподільного (СМР) валів є базовим завданням синхронізації робочих процесів двигуна внутрішнього згоряння. Ці сигнали формують часову вісь для алгоритмів керування запаленням, упорскуванням і фазорегулюванням газорозподілу. У сучасних інформаційно-вимірювальних системах застосовуються два домінуючі класи сенсорів: індукційні (VR — Variable Reluctance) та активні напівпровідникові, зокрема на основі ефекту Холла і магніторезистивних структур (AMR/GMR)» [20].

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Індукційні датчики реалізують принцип електромагнітної індукції: зміна магнітного потоку в осерді при проходженні зубців задавального диска (тонкільця) індукує змінну ЕРС у котушці. Їх переваги — конструктивна простота, відсутність зовнішнього живлення та висока термостійкість. Водночас амплітуда сигналу прямо залежить від швидкості обертання, що ускладнює достовірне визначення положення на низьких обертах і під час пуску; додатково потрібні підсилення та формування сигналу (zero-crossing, компаратори з гістерезисом).

Активні датчики (Холла/магніторезистивні) (рисунок 2.2) «використовують стаціонарне магнітне поле й напівпровідниковий чутливий елемент. При модуляції поля зубцями або вікнами реперного диска формується вже оцифрований прямокутний сигнал. Саме тому в сучасних ТЗ домінують сенсори на ефекті Холла та AMR/GMR: вони забезпечують стабільний рівень вихідних логічних рівнів, практично не залежать від швидкості обертання, коректно працюють у режимі «0 грт» (визначення положення під час прокручування стартером) і краще інтегруються з цифровими інтерфейсами ECU. Крім того, активні сенсори мають вбудовану температурну компенсацію та схеми самодіагностики (відкритий колектор/дренаж, контроль обриву/КЗ)» [21].



Рисунок 2.2- Датчик частоти обертання двигуна

Фізична сутність ефекту Холла полягає у виникненні поперечної різниці потенціалів у провіднику або напівпровідниковому шарі, крізь який протікає струм, за наявності перпендикулярного магнітного поля. У сенсорному модулі це перетворюється на дискретні переходи «0/1», коли край зубця змінює

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

індукцію в зоні чутливого елемента. Таким чином формується імпульсний потік, частота якого пропорційна кутовій швидкості, а взаємне розташування імпульсів — кутовому положенню. Для абсолютної прив'язки застосовують реперні мітки (відсутній зуб, подвоєний інтервал тощо), що дозволяє ECU виконувати синхронізацію циклу.

Типові метрологічні «та електричні параметри для СКР/СМР-сенсорів активного типу: робочий діапазон швидкостей від квазі-статичного режиму до ~8000 об/хв (і вище для високофорсованих ДВЗ); кутова роздільна здатність 0,5...1° (визначається кроком зубців і алгоритмами інтерполяції); відносна похибка 0,1–0,5% за номінальних умов; час відгуку менше 1 мс; живлення 5 В або 12 В; вихід — цифровий сигнал рівнів логіки (push-pull або open-drain). Важливими є також параметри зазору «сенсор–диск», стійкість до ЕМЗ, температурний діапазон (часто до 150–170 °С для підкапотного простору) та допуски на ексцентриситет/бієння диска» [22].

З алгоритмічної точки зору, сигнали СКР і СМР використовуються спільно: СКР задає високоточну кутову шкалу, а СМР — ідентифікує такт (фазу) для розділення робочих ходів у чотиритактному циклі. На їх основі ECU обчислює момент запалення, тривалість і фазу впорскування, а також керує системами змінних фаз газорозподілу (VVT). Похибки або джиттер у цих сигналах безпосередньо транслуються у відхилення кута випередження запалення та моментів упорскування, що призводить до зниження ККД, зростання викидів і ризиків детонації чи пропусків займання.

Окремо варто зазначити, що сучасні реалізації включають обробку на рівні сенсора: формувачі фронтів, фільтрацію перешкод, адаптацію до змін зазору та температури. Це зменшує навантаження на вхідні каскади ECU і підвищує завадостійкість у складному електромагнітному середовищі автомобіля. У підсумку, високоточні та швидкодіючі датчики положення валів є критичним елементом замкнених контурів керування ДВЗ, від якого залежить узгодженість усіх фаз енергетичного перетворення в циліндрах.

Датчики швидкості транспортного засобу (VSS)(рисунок 2.3) виконують функцію первинного вимірювання кінематичних параметрів руху та є

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

критичними для формування зворотних зв'язків у системах активної безпеки й керування динамікою. Конструктивно вони інтегруються або в трансмісію або безпосередньо в колісні вузли. У другому випадку реалізується децентралізована схема з індивідуальним контролем кожного колеса, що є стандартом для систем ABS, ESP та їх похідних.

Принцип дії «більшості сучасних VSS базується на активних магніточутливих елементах (ефект Холла, AMR/GMR). Взаємодія чутливого елемента із зубчастим або магнітно-міченим кільцем (encoder ring) формує послідовність прямокутних імпульсів. Частота імпульсів f пропорційна кутовій швидкості ω колеса, а лінійна швидкість транспортного засобу визначається через ефективний радіус. Застосування багатополюсних магнітних кілець підвищує кутову роздільну здатність і дозволяє реалізувати точне вимірювання навіть на малих швидкостях, включно з режимом наближеним до нуля» [23]



Рисунок 2.3-Датчик вимірювання швидкості транспортного засобу

Датчики витрати палива використовуються в системах моніторингу та управління паливом. Основні технології: поплавкові (ємнісні) — для вимірювання рівня; імпульсні лічильники Холла — для вимірювання потоку; диференційно-тискові. Найточнішим методом є ультразвуковий вимірювач витрати, однак через вартість він застосовується переважно в комерційному транспорті.

MAP-датчик вимірює абсолютний тиск у впускному колекторі (рисунок 2.4) для оцінки навантаження двигуна та розрахунку оптимального складу паливо-повітряної суміші. Конструктивно датчик побудований на основі п'єзореzystивного мостового перетворювача. Зміна тиску деформує діафрагму

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

зі схемою Уїтстона, що перетворює механічну деформацію на зміну вихідної напруги.



Рисунок 2.4- MAP-датчик

MAF-датчик «вимірює масову витрату повітря, що надходить до двигуна. Найбільш поширеним є тип з нагрівальним дротом (Hot Wire Anemometer). Нагрівальна нитка підтримується при постійній різниці температур відносно навколишнього повітря. Масова витрата повітря пропорційна електричній потужності для підтримання теплового балансу» [24].

П'єзоелектричні та п'єзорезистивні датчики тиску застосовуються для вимірювання тиску гальмівної рідини (рисунок 2.5), оливи, паливної рейки (Common Rail), турбонаддуву та тиску шин (TPMS). Принцип дії базується на ефекті генерації електричного заряду кристалом кварцу або кераміки при деформації під дією тиску.



Риунок 2.5- П'єзорезистивні датчики тиску гальмівної рідини

Датчики струму в транспортних засобах формують критичний інформаційний контур енергоменеджменту, забезпечуючи безперервний контроль потоків електричної енергії в бортовій мережі. Їхні вимірювання використовуються для оцінювання стану акумуляторної батареї (SOC/SOH/SOP), керування генератором і перетворювачами, реалізації захистів (перевантаження, коротке замикання), а в гібридних та електричних

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

платформах — для високоточного контролю тягових контурів інвертор–двигун–батарея. Дані струму інтегруються з вимірюваннями напруги та температури в алгоритмах BMS і енергоменеджменту, де застосовуються методи кулон-каунтингу, адаптивної ідентифікації та фільтрації (зокрема, варіанти фільтра Калмана).



Рисунок 2.6- Датчики струму

«MEMS-акселерометри (рисунок 2.6) є ключовими елементами систем безпеки та активного керування ТЗ. Вони застосовуються в подушках безпеки (SRS), системах ESP/ESC, адаптивному підвісці, системах виявлення перекидання (Roll-Over Detection) та навігаційних системах інерційної навігації» [25].



Рисунок 2.6-MEMS-акселерометр

Для активних систем безпеки застосовуються тривісні акселерометри з додатковим гіроскопом (IMU — Inertial Measurement Unit), що забезпечують одночасне вимірювання лінійних прискорень та кутових швидкостей.

З метою уніфікації підходів до оцінювання якості вимірювальних каналів інформаційно-вимірювальної системи транспортного засобу доцільно звести ключові метрологічні параметри сенсорів у порівняльну таблицю. Така репрезентація дозволяє не лише зіставити робочі діапазони, похибки та динамічні властивості, але й виявити компроміси між точністю, швидкодією та

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

стійкістю до експлуатаційних факторів (температурні градієнти, вібрації, електромагнітні завади). Узагальнення даних у табличній формі також спрощує вибір сенсорів для конкретних підсистем — силової установки, трансмісії, шасі чи допоміжних контурів керування.

У таблиці 2.1 відображаємо номінальні діапазони вимірювань, а й інтервали допустимих абсолютних та відносних похибок, що характеризують як систематичні, так і випадкові складові похибки. Окрему увагу приділено часу відгуку як ключовому показнику динамічної придатності сенсора до роботи в замкнених контурах керування реального часу. Для швидкоплинних процесів (наприклад, обертання валів або зміни струму в тягових колах) критичною є мілісекундна або навіть мікросекундна швидкодія, тоді як для повільніших теплових процесів допустимі більші значення інерційності.

Таблиця 2.1 — Метрологічні характеристики датчиків транспортного засобу

Тип датчика	Діапазон	Абс. похибка	Відн. похибка	Час відгуку	Вихідний сигнал	Застосування
NTC Термістор	-40...+15 °C	±2°C	0.5–2%	1–5 с	Аналоговий (R)	Контроль тепл. режиму
Hall (оберти)	0...8000 об/хв	±5 об/хв	0.1–0.5%	<1 мс	Цифровий	СКР/СМР
Датчик швидкості	0...300 км/год	±1 км/год	0.5–1.5%	5–10 мс	Цифровий	ABS/ESP
Датчик напруги АКБ	0...16 В	±50 мВ	0.5–1%	10 мс	Аналоговий/LIN	BMS
Витрата палива	0...200 л/год	±4 л/год	2–5%	50–500 мс	Імпульсний	Облік витрати
МАР-датчик	10...105 кПа	±0.5 кПа	0.5–1.5%	10–20 мс	0–5 В / PWM	Навант. двигуна
MAF-датчик	2...800 кг/год	±5 кг/год	1–2.5%	200 мс	0–5 В / частот.	Впорскування
П'єзодатч. тиску	0...400 МПа	±0.1 МПа	0.1–0.5%	<0.5 мс	0–5 В	Common Rail, гальма
Датчик струму	±500 А	±1 А	0.5–1.5%	1 мс	CAN/LIN	BMS, генератор
Акселерометр MEMS	±16 g	±0.05 g	0.5–1%	<2 мс	SPI/I ² C/CAN	SRS, ESP, IMU

Аналіз таблиці 2.1 показує, що найвищу точність серед розглянутих датчиків забезпечують п'єзоелектричні датчики тиску (0,1–0,5%) та датчики Холла для вимірювання обертів (0,1–0,5%). Найнижча точність характерна для датчиків витрати палива (2–5%) через складність прямого вимірювання рідкого палива за умов вібрації та температурних коливань.

На рисунку 2.7 представлено порівняльний аналіз точності вимірювань різних сенсорів, що застосовуються в транспортних засобах. Візуалізація виконана у вигляді горизонтальної стовпчикової діаграми, де по осі абсцис викладено відносну похибку у відсотках від повної шкали вимірювання, а ключовим елементом графіка є вертикальна точкова лінія, що відповідає граничному рівню похибки 1%. Вона виконує роль еталонного порогу, від якого оцінюється відповідність точності кожного сенсора нормативним або бажаним характеристикам.

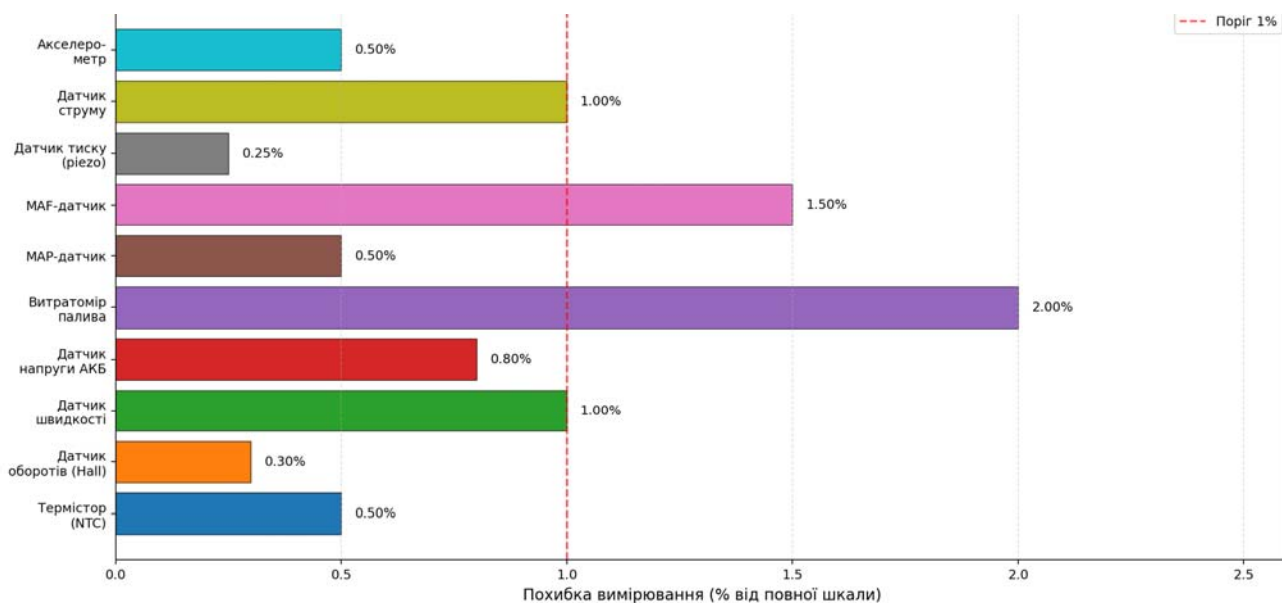


Рисунок 2.7- Порівняння похибок вимірювання датчиків транспортного засобу

Рисунок 2.7 наочно демонструє, що датчики Холла для вимірювання обертів мають найменшу похибку (0,3%), а датчики витрати палива — найбільшу (2%). Більшість датчиків системи керування двигуном мають похибку в межах 1%, що відповідає вимогам стандарту ISO 16750 [26].

На рисунку 2.8 відображено характерні значення метрологічних похибок сенсорів із зазначенням їхніх граничних інтервалів — від мінімально зафіксованих до максимально можливих у реальних умовах функціонування.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Аналіз представлених даних демонструє, що для датчика витрати палива, а також для МAF-сенсора (датчика масової витрати повітря), характерний істотний варіаційний діапазон похибок, який коливається в межах 1–5%.

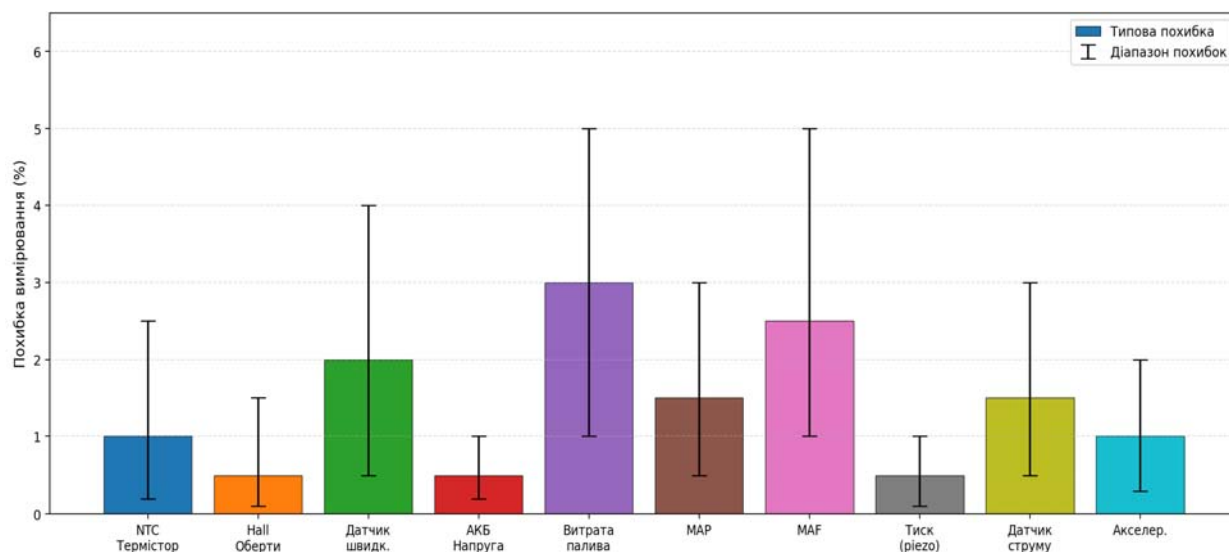


Рисунок 2.8- Типові та граничні похибки датчиків транспортного засобу

Такий широкий інтервал відхилень свідчить про високу чутливість зазначених вимірювальних пристроїв до експлуатаційних факторів. Зокрема, на точність їх роботи впливають режими навантаження двигуна, динаміка зміни потоків, температура робочого середовища, а також ступінь забруднення або зносу чутливих елементів. Крім того, значну роль відіграють особливості калібрування та стабільність електронних компонентів.

Отже, зафіксований розкид похибок підтверджує необхідність урахування реальних умов експлуатації при інтерпретації вимірювальних даних, а також доцільність застосування алгоритмів корекції та адаптивної фільтрації для підвищення достовірності результатів.

2.2 Інтерфейси передачі інформаційно-вимірювальних даних дистанційної діагностики транспортного засобу

Автомобільні мережі передають дані багаторівневої ієрархічної інфраструктури, що забезпечує обмін повідомленнями між електронними блоками керування транспортним засобом. Їх систематизація створена за сукупністю ознак, серед яких визначальними є швидкість передачі даних

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Аналіз сучасного стану автомобільних мереж передачі даних показує, що жодна окрема шина не є універсальною: кожен стандарт оптимізований для конкретного класу застосувань — від повільних датчиків кузова до швидкісних систем активної безпеки. Для побудови ефективної ІВС дистанційної діагностики необхідно розуміти архітектуру цих мереж, їх фізичний рівень та протоколи канального рівня.

Запропонована у роботі система вимірювання побудована на основі мікроконтролера STMicroelectronics STM32F446RE (ядро ARM Cortex-M4, 180 МГц), підключеного до комплексу давачів та транспортної шини CAN. Архітектура системи охоплює увесь тракт від аналогового сигналу сенсора до цифрового пакету даних у мережі діагностики. У таблиці 2.2 наведено порівняльна характеристика автомобільних шин передачі даних [27].

Таблиця 2.2 — Порівняльна характеристика автомобільних шин передачі даних

Параметр	K-Line	LIN 2.2	CAN 2.0B	CAN-FD	FlexRay
Стандарт	ISO 9141	ISO 17987	ISO 11898	ISO 11898-1	ISO 17458
Швидкість	10 кбіт/с	20 кбіт/с	1 Мбіт/с	8 Мбіт/с	10 Мбіт/с
Топологія	шина	ведучий-ведений	шина	шина	шина/зірка
Вузлів max	1	16	127	127	2048
Арбітраж	немає	ведучий	CSMA/CA	CSMA/CA	TDMA
Захист CRC	8 біт	8 біт	15 біт	17/21 біт	24 біт
Ціна (відн.)	низька	низька	середня	середня	висока
Застосування	OBD-II	кузов	силовий агр.	ADAS	x-by-wire

Таким чином, результати порівняльного аналізу наведеного в таблиці 2.2 свідчать, що вибір автомобільної шини передачі даних визначається компромісом між вартістю реалізації, вимогами до пропускної здатності, масштабованістю мережі та рівнем функціональної безпеки. На рисунку 2.9 відображено, що жодна шина не є лідером за всіма показниками одночасно. К-

Line та LIN мають найкращий показник вартості, ле її незадовільні швидкість та відмовостійкість. FlexRay і Automotive Ethernet перевершують CAN за пропускнуою здатністю, ле значно поступаються за вартістю та зрілістю екосистеми. Протокол CAN займає оптимальну позицію між усіма критеріями, що й зумовлює його домінування в системах силового агрегату та активної безпеки протягом більше 35 років.

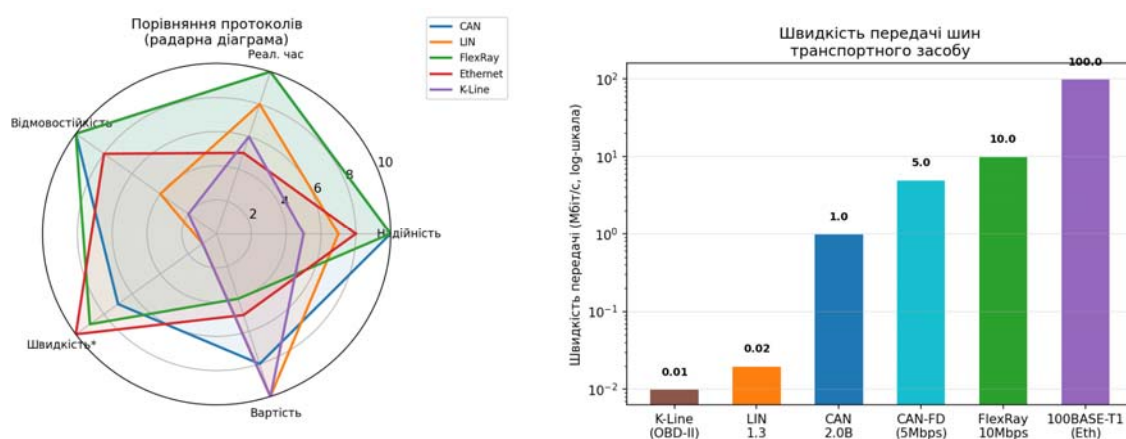


Рисунок 2.9-Радарна діаграма оцінки протоколів (ліворуч) та порівняння швидкості передачі (праворуч, логарифмічна шкала)

ІВС дистанційної діагностики ТЗ побудована на мікроконтролері STM32F446RE (ядро ARM Cortex-M4F, 180 МГц, Flash 512 КБ, SRAM 128 КБ) використовує тракт обробки вимірювальних даних реалізований як конвеєр з чотирьох основних стадій: вхідне аналогове кондиціонування → АЦП → DMA-передача → CAN-контролер. Структура підключення датчиків до вузла ІВС наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Датчики ІВС та їх підключення до STM32F446RE

Датчик	Параметр	Тип виходу	Інтерфейс	f_вибірки
MAP (тиск впуску)	0–300 кПа	аналог 0.5–4.5 В	ADC1 CH0	1 кГц
NTC (температура охол. Рідини)	-40...+130°C	аналог 0–3.3 В	ADC1 CH1	100 Гц
ABS (швидкість колеса)	0–300 km/h	VRS імпульси	TIM2 IC	10 кГц
IMU (вібрація/прискорення)	±16 g	SPI MISO	SPI1	4 кГц
MAF (витрата повітря)	0–480 г/с	аналог 0–5 В	ADC2 CH4	500 Гц

Лямбда-зонд (O2)	$\lambda = 0.7-1.3$	аналог 0.1–0.9 В	ADC1 CH5	200 Гц
OBD тиск масла	0–700 кПа	аналог 0–5 В	ADC2 CH6	200 Гц

На рисунку 2.10 наведено реалізації сигналів чотирьох основних датчиків: частоти обертання колінчастого валу, температури охолоджуючої рідини, тиску масла та вібрації (акселерометр). Сигнали мають різний частотний вміст — від повільного дрейфу температури (~ 0.5 Гц) до швидких вібраційних компонент (~ 100 Гц), що вимагає адаптивного налаштування частоти дискретизації для кожного каналу.

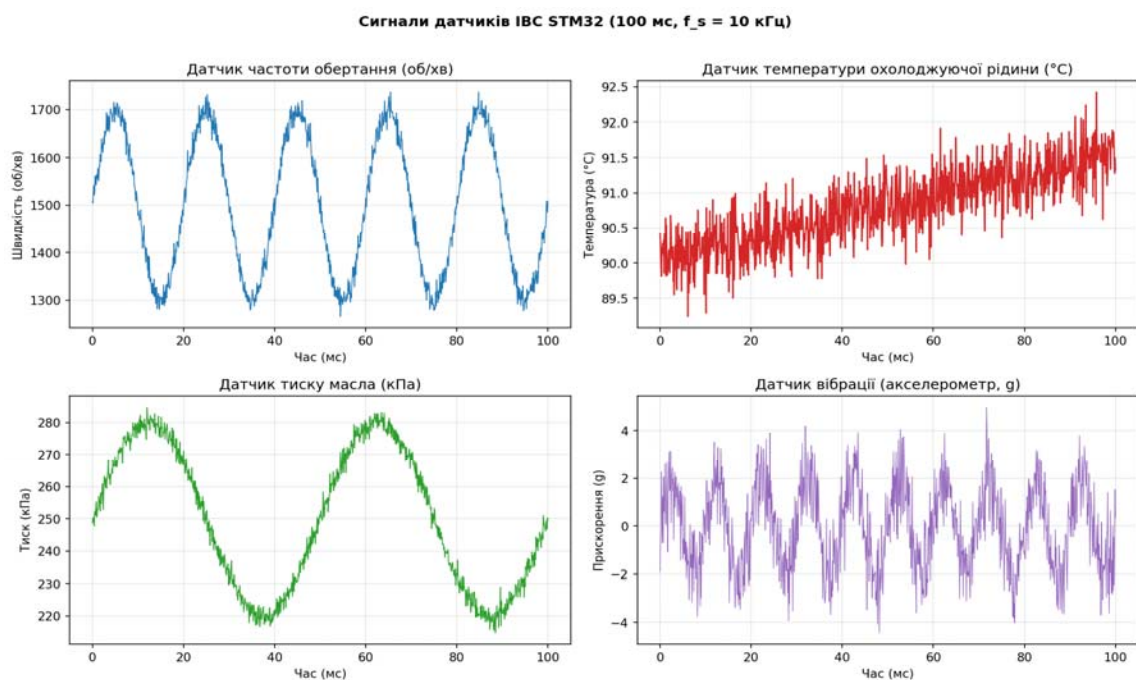


Рисунок 2.10 - Характерні сигнали датчиків IBC, зареєстровані STM32 (100 мс, $f_s = 10$ кГц)

Використання у IBC транспортних засобів 12-бітного SAR-АЦП, що виконує перетворення за принципом двійкового пошуку: на кожному з N кроків здійснюється порівняння вхідного сигналу з пробним значенням, що генерується внутрішньою ЦАП-матрицею:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k-1} + b_k \cdot (V_{ref} / 2^k)$$

де $\hat{x}_k$ - наближення після k -го кроку;

$b_k \in \{0, 1\}$ - біт результату, визначений компаратором;

V_{ref} - опорна напруга.

Кінцевий цифровий код визначається після $N = 12$ ітерацій:

$$D_{out} = \sum_{i=1}^N b_i \cdot 2^{N-i}$$

Час перетворення 12-бітного SAR-АЦП STM32 при тактовій частоті ADC $f_{ADC} = 36$ МГц та часі вибірки $T_{sample} = 3$ такти:

$$t_{conv} = (T_{sample} + N) / f_{ADC} = (3 + 12) / 36 \cdot 10^6 = 0.417 \text{ мкс}$$

Максимальна теоретична частота дискретизації одного каналу:

$$f_{smax} = 1 / t_{conv} = 2.4 \text{ МГц}$$

Ефективний кількість розрядів (ENOB) з урахуванням внутрішнього шуму АЦП STM32F446:

$$ENOB = (SINAD - 1.76) / 6.02 \approx (72.4 - 1.76) / 6.02 \approx 11.73 \text{ біт}$$

де $SINAD = 72.4$ дБ - відношення сигнал/(шум+спотворення) для ADC STM32F446 (згідно з datasheet).

Залежність завантаженості шини від кількості підключених вузлів (рисунок 2.11, праворуч) є критичним параметром при проектуванні ІВС. Класичний CAN зі швидкістю 1 Мбіт/с при циклі опитування 10 мс досягає критичного рівня 80% завантаженості вже при 14 вузлах. CAN-FD (8 Мбіт/с) дозволяє підтримувати аналогічну мережу з понад 100 вузлами без деградації.

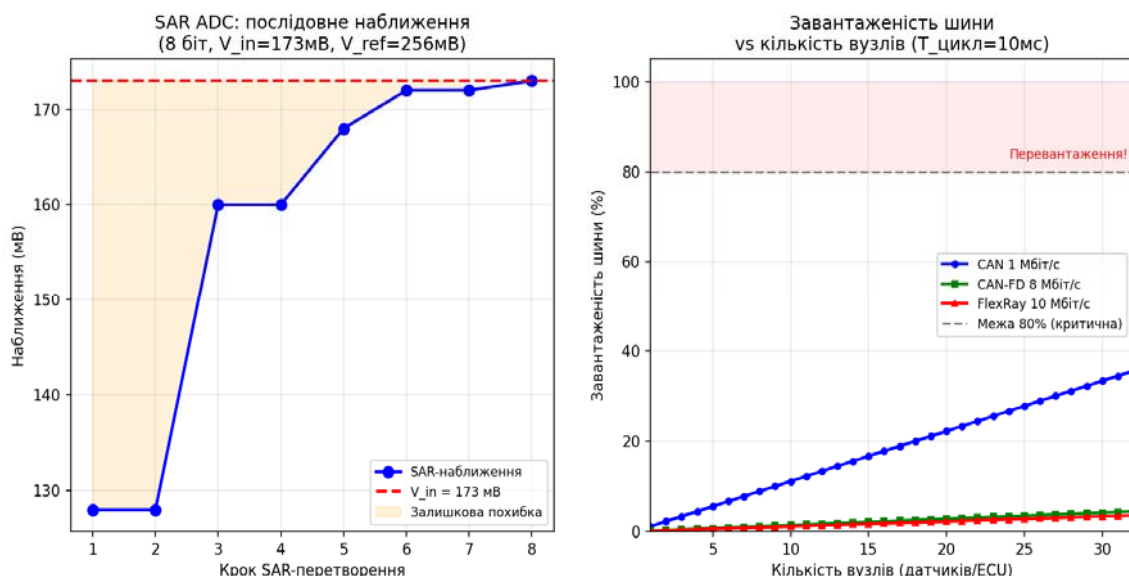


Рисунок 2.11 - SAR ADC: процес послідовного наближення (ліворуч) та завантаженість шини від кількості вузлів (праворуч)

Для звільнення процесорного ядра від рутинних операцій копіювання даних АЦП у пам'ять використовується Direct Memory Access (DMA).

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Контролер DMA STM32 забезпечує автономну передачу вибірок АЦП у кільцевий буфер SRAM без втручання CPU:

$$BW_DMA = f_s \cdot N_{channels} \cdot 2 \text{ байти} = 10000 \cdot 8 \cdot 2 = 160 \text{ кБ/с}$$

де $N_{channels}$ — кількість активних каналів АЦП; 2 байти — розмір вибірки (12-бітне значення, вирівняне до 16-бітного слова).

Формування CAN-кадру виконується у ISR (Interrupt Service Routine) по завершенні DMA-блоку. Виміряні значення упаковуються у поле даних кадру за схемою кодування:

$$D_{CAN}[0:1] = U_{MAP} \cdot 16383 / V_{ref} \text{ (тиск, 14 біт)}$$

$$D_{CAN}[2:3] = (T_{cool} + 40) \cdot 256 / 170 \text{ (температура, 8 біт)}$$

$$D_{CAN}[4:5] = n_{RPM} \cdot 32767 / n_{max} \text{ (оберти, 15 біт)}$$

$$D_{CAN}[6:7] = U_{O2} \cdot 65535 / V_{ref} \text{ (лямбда-зонд, 16 біт)}$$

Ідентифікатори CAN-кадрів призначаються відповідно до стандарту SAE J1939 для діагностичних застосувань. Пріоритет кадру закодовано в старших бітах PGN (Parameter Group Number):

$$CAN_{ID} = (Priority[2:0] \ll 8) | (PGN_{high}[7:0])$$

Детерміновані затримки є ключовою характеристикою мережі реального часу. Сумарна затримка від моменту фізичного впливу на датчик до появи даних у вузлі-приймачі складається з декількох послідовних стадій:

$$t_{\Sigma} = t_{sensor} + t_{ADC} + t_{DMA} + t_{sw} + t_{CAN_{frame}} + t_{arb} + t_{prop}$$

де t_{sensor} - час відгуку датчика; t_{ADC} - час перетворення АЦП; t_{DMA} - час DMA-передачі у буфер; t_{sw} — час програмної обробки (ISR + упаковка); $t_{CAN_{frame}}$ - час передачі кадру; t_{arb} - час арбітражу; t_{prop} - час поширення сигналу по шині.

Час передачі одного кадру CAN при швидкості $f_{bit} = 1 \text{ Мбіт/с}$ та розмірі кадру 111 біт (8 байт даних без bit-stuffing):

$$t_{CAN_{frame}} = L_{frame} / f_{bit} = 111 / 10^6 = 111 \text{ мкс}$$

Час поширення сигналу по шині довжиною $L = 40 \text{ м}$:

$$t_{prop} = 2L / v_p = 2 \cdot 40 / (1.8 \cdot 10^8) = 0.44 \text{ мкс} (\ll T_{bit} = 1 \text{ мкс})$$

Аналіз рисунку 2.12 (ліворуч) показує, що домінуючою складовою бюджету затримок є час передачі CAN-кадру (111 мкс $\approx 58.8\%$ від загальної

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

затримки ~190 мкс). Час вибірки датчика (50 мкс) є другим за значимістю. Загальна затримка ~190 мкс є цілком прийнятною для всіх систем керування ТЗ, де вимоги до затримки складають від 1 мс (ABS) до 100 мс (двигун).

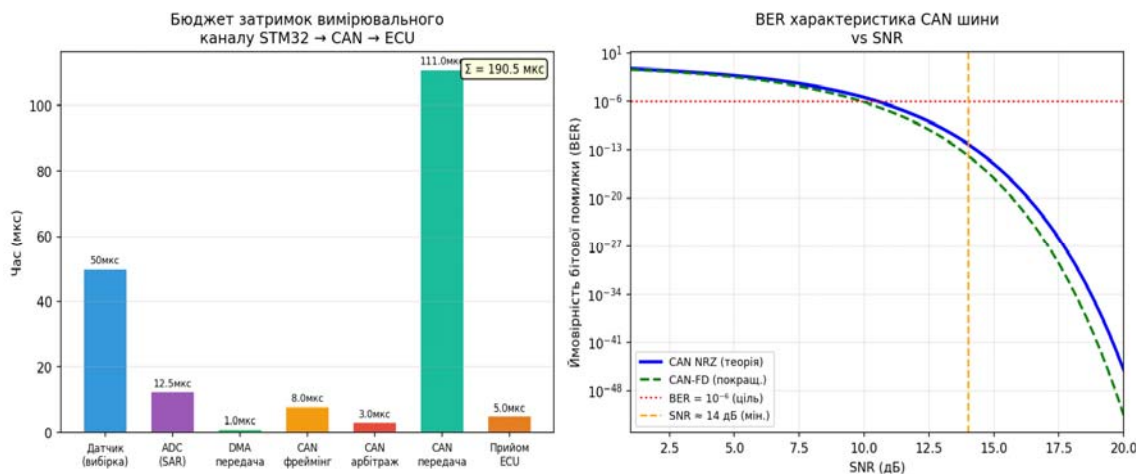


Рисунок 2.12 - Бюджет затримок вимірювального каналу STM32→CAN (ліворуч) та BER характеристика CAN-шини (праворуч)

Ймовірність бітової помилки (Bit Error Rate, BER) для диференційної NRZ-передачі CAN описується функцією помилок:

$$BER = (1/2) \cdot \operatorname{erfc}(\sqrt{E_b/N_0})$$

де E_b/N_0 — відношення енергії на біт до спектральної густини шуму; erfc — додаткова функція похибок.

При $SNR = 14$ дБ (типовий рівень для CAN-трансивера TJA1050 в умовах автомобіля):

$$E_b/N_0 = SNR \cdot (B_{noise} / f_{bit}) = 10^{(14/10)} \cdot (2 \cdot 10^6 / 10^6) \approx 50$$

$$BER = (1/2) \cdot \operatorname{erfc}(\sqrt{50}) \approx (1/2) \cdot 2.7 \cdot 10^{-11} \approx 1.3 \cdot 10^{-11}$$

При швидкості 1 Мбіт/с середній час між помилками:

$$MTBE = 1 / (BER \cdot f_{bit}) = 1 / (1.3 \cdot 10^{-11} \cdot 10^6) \approx 7.7 \cdot 10^4 \text{ с} \approx 21 \text{ год}$$

З урахуванням механізму виявлення та повторної передачі CAN (Error Confinement), реальна частота неусунутих помилок є значно нижчою і задовольняє вимоги стандарту ISO 26262 для рівня ASIL-B.

Механізм 15-бітної CRC CAN дозволяє виявляти:

- усі одиночні та подвійні помилки бітів;
- усі непарні кількості помилок;
- усі пакети помилок довжиною ≤ 15 біт;

-більшість пакетів помилок довжиною 16 та 17 біт.

Отже, за результатами методу аналізу ієрархій (МАІ) з урахуванням відображених критеріїв отримано, що CAN 2.0B та CAN-FD є оптимальними протоколами для ІВС діагностики силового агрегату ТЗ.

2.3 Дослідження похибок вимірювання датчиків інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортних засобів

Інформаційно-вимірювальна система (ІВС) діагностики транспортних засобів є складним технічним комплексом, що включає датчики різних фізичних величин, аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), канали передачі даних та програмне забезпечення обробки результатів. У процесі функціонування системи виникають різноманітні похибки вимірювань, які безпосередньо впливають на точність діагностики та надійність прийнятих рішень щодо технічного стану транспортного засобу.

Шум датчика є одним із найбільш суттєвих джерел похибок у ІВС. Він визначається внутрішніми фізичними процесами в чутливому елементі та підсилювальних каскадах, а також зовнішніми електромагнітними завадами. Вихідний сигнал датчика може бути представлений як суперпозиція корисного сигналу та адитивного шуму:

$$x_{\text{вих}}(t) = x_{\text{кор}}(t) + n(t)$$

де $x_{\text{вих}}(t)$ — вимірний сигнал; $x_{\text{кор}}(t)$ — корисна складова (відповідає вимірюваній величині); $n(t)$ — шумова складова.

Для гауссівського білого шуму, який є типовою моделлю теплового шуму електронних компонентів, математичне сподівання шуму дорівнює нулю, а дисперсія визначається спектральною густиною потужності шуму:

$$M[n(t)] = 0, \quad D[n(t)] = \sigma n^2$$

де σn - середньоквадратичне відхилення (СКВ) шуму, яке характеризує потужність шумової складової.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Відношення сигнал/шум (SNR) є ключовим параметром, що визначає якість датчика:

$$SNR = 20 \cdot \log_{10}(A_{\text{сигн}} / \sigma_n) \text{ [дБ]}$$

де $A_{\text{сигн}}$ - амплітуда корисного сигналу.

Похибка вимірювання, зумовлена шумом, оцінюється за виразом:

$$\Delta x_{\text{шум}} = k_p \cdot \sigma_n$$

де k_p - коефіцієнт, що визначається довірчою імовірністю ($k_p = 1.96$ для $P = 0.95$; $k_p = 2.58$ для $P = 0.99$).

Для зменшення шумової похибки застосовуються методи цифрової фільтрації. Рекурсивний фільтр першого порядку (фільтр ковзного середнього) описується рекурентним співвідношенням [26]:

$$\hat{y}[k] = \alpha \cdot x[k] + (1 - \alpha) \cdot \hat{y}[k-1]$$

де $\alpha = T_s / (T_s + \tau)$ — коефіцієнт згладжування; T_s — крок дискретизації; τ - постійна часу фільтра.

На рисунку 2.13 (ліворуч) продемонстровано часові реалізації шуму датчика при різних значеннях СКВ $\sigma = 0.5$; 1.0; 2.0; 3.0 мВ. На рисунку 3.2 (праворуч) наведено залежність SNR від рівня шуму при фіксованій амплітуді сигналу 10 мВ. Слід зазначити, що для забезпечення прийнятної точності вимірювань в ІВС діагностики ТЗ необхідно досягти $SNR > 40$ дБ, що відповідає $\sigma_n < 0.1$ мВ при $A_{\text{сигн}} = 10$ мВ.

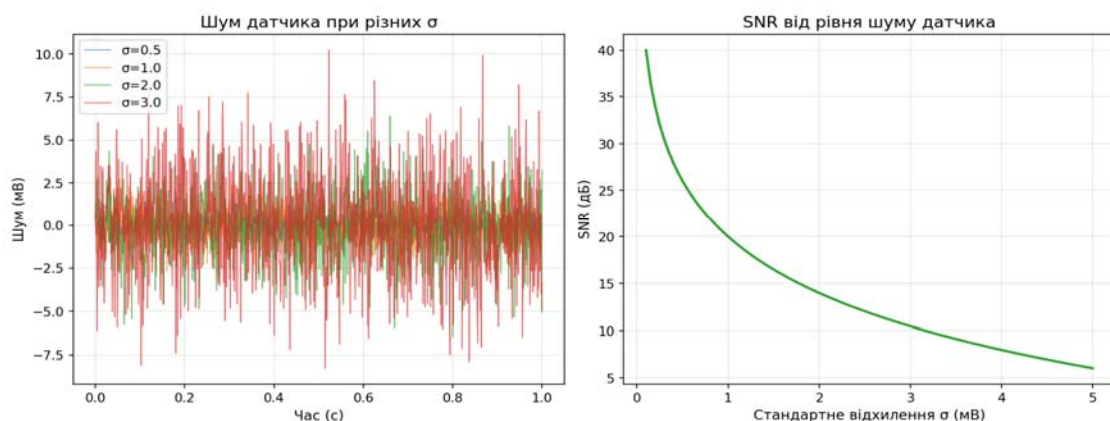


Рисунок 2.13 — Шум датчика при різних σ (ліворуч) та залежність SNR від рівня шуму (праворуч)

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) є невід'ємним елементом ІВС, що забезпечує перетворення аналогового сигналу датчика в цифровий код. Процес квантування вносить принципово невилучувану похибку, обумовлену дискретністю шкали АЦП.

Квантова (крокова) похибка АЦП визначається кроком квантування — найменшим розрядом (LSB) [27]:

$$\Delta = U_{ref} / 2^N$$

де Δ - крок квантування; U_{ref} - опорна напруга АЦП; N - розрядність АЦП (кількість біт).

Максимальна похибка квантування становить половину кроку квантування:

$$\varepsilon_{q_{max}} = \pm \Delta / 2 = \pm U_{ref} / (2^{(N+1)})$$

Середньоквадратична похибка квантування для рівномірно розподіленого сигналу:

$$\sigma_q = \Delta / \sqrt{12} = U_{ref} / (2^N \cdot \sqrt{12})$$

Відносна похибка квантування у відсотках:

$$\delta_q = (\Delta / 2 / U_{ref}) \cdot 100\% = 1 / (2^{(N+1)}) \cdot 100\%$$

Таблиця 2.4 - Похибки квантування для АЦП різної розрядності ($U_{ref} = 3.3 \text{ В}$)

Розрядність N	Крок Δ (мВ)	σ_q (мВ)	δ_q (%)
8 біт	12.89	3.72	0.195
10 біт	3.22	0.929	0.049
12 біт	0.806	0.232	0.012
16 біт	0.0504	0.0145	0.00076

Для оцінки ефективного числа розрядів (ENOB) з урахуванням реального шуму АЦП застосовується формула:

$$ENOB = (SINAD - 1.76) / 6.02$$

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де SINAD — відношення сигнал/(шум+спотворення) в дБ.

На рисунку 2.14 наочно видно вплив розрядності АЦП на якість відтворення аналогового сигналу. 4-бітний АЦП демонструє значні сходинокві спотворення, тоді як 12-бітний забезпечує практично точне відтворення синусоїдального сигналу. Залежність відносної похибки квантування від розрядності (права частина рисунка) має логарифмічний характер: кожен додатковий біт зменшує похибку квантування вдвічі.

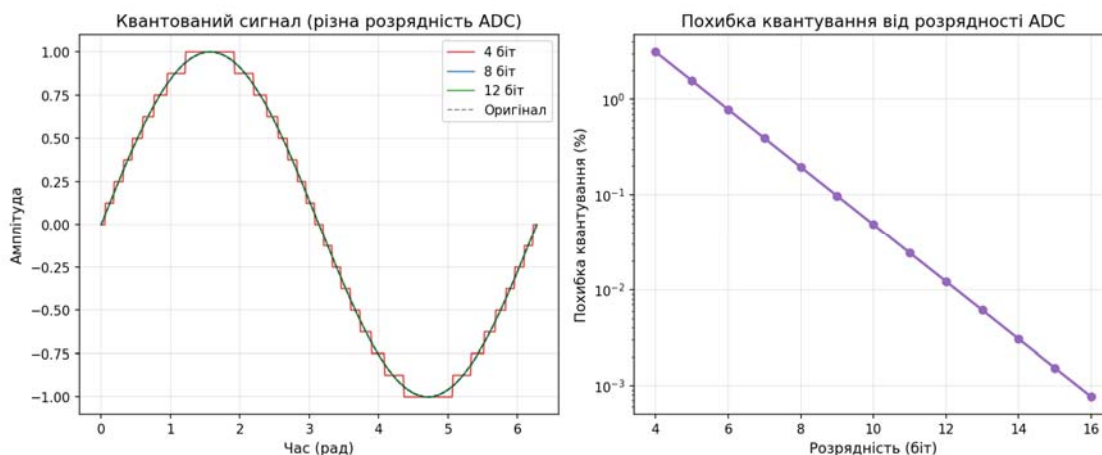


Рисунок 2.14 - Квантований сигнал при різній розрядності АЦП (ліворуч) та залежність похибки квантування від розрядності (праворуч)

Температурний дрейф є одним із найважливіших джерел систематичної похибки датчиків ІВС. Зміна температури навколишнього середовища та температури самого датчика призводить до зміни його метрологічних характеристик: нульового рівня та крутизни (чутливості) передавальної функції.

Температурна залежність нульового рівня (дрейфу нуля) датчика описується поліноміальною моделлю:

$$E_{zero}(T) = \alpha_2 \cdot (T - T_0)^2 + \alpha_1 \cdot (T - T_0) + E_0$$

де $E_{zero}(T)$ - значення нульового рівня при температурі T ; $T_0 = 25^\circ\text{C}$ — референсна температура; α_1 , α_2 — температурні коефіцієнти першого та другого порядку відповідно; E_0 — нульовий рівень при T_0 .

Температурна залежність чутливості датчика:

$$S(T) = S_0 \cdot [1 + \beta_1 \cdot (T - T_0) + \beta_2 \cdot (T - T_0)^2]$$

де S_0 — номінальна чутливість при T_0 ; β_1 — лінійний температурний коефіцієнт чутливості (TCS); β_2 — квадратичний коефіцієнт.

Повна абсолютна температурна похибка датчика:

$$\Delta x_T(T) = E_{zero}(T) + (S(T) - S_0) \cdot x_{icm}$$

Відносна температурна похибка:

$$\delta_T = [\alpha_1 \cdot (T - T_0) + \alpha_2 \cdot (T - T_0)^2] / x_{icm} + \beta_1 \cdot (T - T_0) + \beta_2 \cdot (T - T_0)^2$$

Таблиця 2.5 — Типові температурні коефіцієнти датчиків ІВС діагностики ТЗ

Тип датчика	α_1 (y.o./°C)	β_1 (%/°C)	Діапазон Т (°C)
Датчик тиску (MEMS)	0.05	0.003	−40...+125
Датчик температури (NTC)	0.002	−0.005	−55...+150
Датчик кутової швидкості	0.08	0.002	−40...+105
Датчик прискорення (MEMS)	0.03	0.001	−40...+85

Для компенсації температурного дрейфу в ІВС застосовується метод апаратної або програмної корекції. При програмній корекції виміряне значення коригується за формулою:

$$x_{кор} = (x_{вим} - E_{zero}(T_{вим})) / S(T_{вим}) \cdot S_0$$

де $T_{вим}$ — поточна температура датчика, яка вимірюється вбудованим термодатчиком.

Аналіз рисунку 2.14 показує, що дрейф нуля датчика має квадратичний характер у діапазоні −40...+125°C. Максимальний дрейф досягається при граничних температурах та може сягати 10–15% від номінального значення для датчиків без температурної компенсації. Зміна чутливості при цьому складає від −10% до +15% у широкому температурному діапазоні. Ці результати підтверджують необхідність застосування алгоритмів температурної компенсації в ІВС.

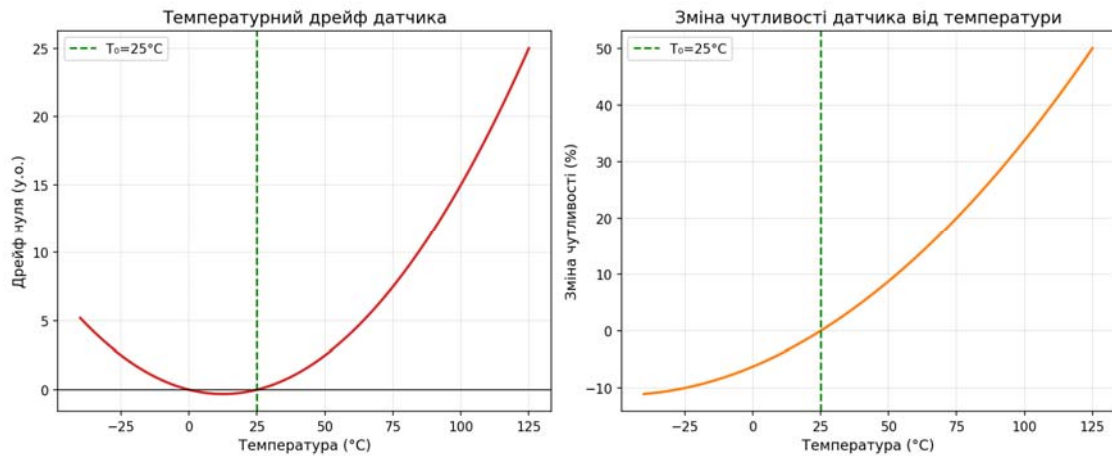


Рисунок 2.14 - Температурний дрейф нуля (ліворуч) та зміна чутливості (праворуч) датчика ІВС

Сумарна (результуюча) похибка вимірювального каналу ІВС формується з усіх розглянутих складових. При незалежних та некорельованих складових похибок результуюча СКВ визначається за законом квадратного кореня:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{(\sigma_{\text{шум}}^2 + \sigma_q^2 + \sigma_d^2 + \sigma_{\text{loss}}^2 + \sigma_T^2)}$$

де $\sigma_{\text{шум}}$ — СКВ похибки шуму датчика; σ_q — СКВ похибки квантування АЦП; σ_d — СКВ динамічної похибки від затримки; σ_{loss} — СКВ похибки від втрат пакетів; σ_T — СКВ температурної похибки.

Для розрахунку довірчого інтервалу результату вимірювання при довірчій імовірності $P = 0.95$ застосовується:

$$\Delta_{\Sigma} = t_P \cdot \sigma_{\Sigma}$$

де $t_P = 1.96$ — квантиль нормального розподілу для $P = 0.95$.

Таблиця 2.6 — Бюджет похибок ІВС діагностики ТЗ

Джерело похибки	σ_i (y.o.)	σ_i^2 (y.o. ²)	Частка (%)
Шум датчика	0.420	0.1764	37.2
Квантування АЦП	0.232	0.0538	11.4
Затримка передачі	0.310	0.0961	20.3
Втрати пакетів	0.285	0.0812	17.2
Температурний дрейф	0.330	0.1089	23.0
Сумарна σ_{Σ}	0.695	0.4836 (Σ)	100

Аналіз бюджету похибок (таблиця 2.6) показує, що домінуючим джерелом похибок є шум датчиків (37.2%), за яким слідує температурний дрейф (23.0%) та затримка передачі (20.3%). Це визначає пріоритети при вдосконаленні ІВС: першочерговими заходами є поліпшення відношення сигнал/шум датчиків та запровадження ефективних алгоритмів температурної компенсації.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. МОДЕЛЮВАННЯ АПАРАТНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

3.1 Реалізація UML моделі алгоритму інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу

Розробку алгоритму роботи ІВС для діагностики транспортного засобу доречно реалізувати як нескінченний цикл опитування (polling loop) з кооперативним плануванням задач через апаратні переривання та контролер DMA. Структура алгоритму включає чотири логічних фази: ініціалізацію, збір даних, обробку та прийняття рішень та передачу телеметрії. Повна блок-схема алгоритму наведена на рисунку 3.1.

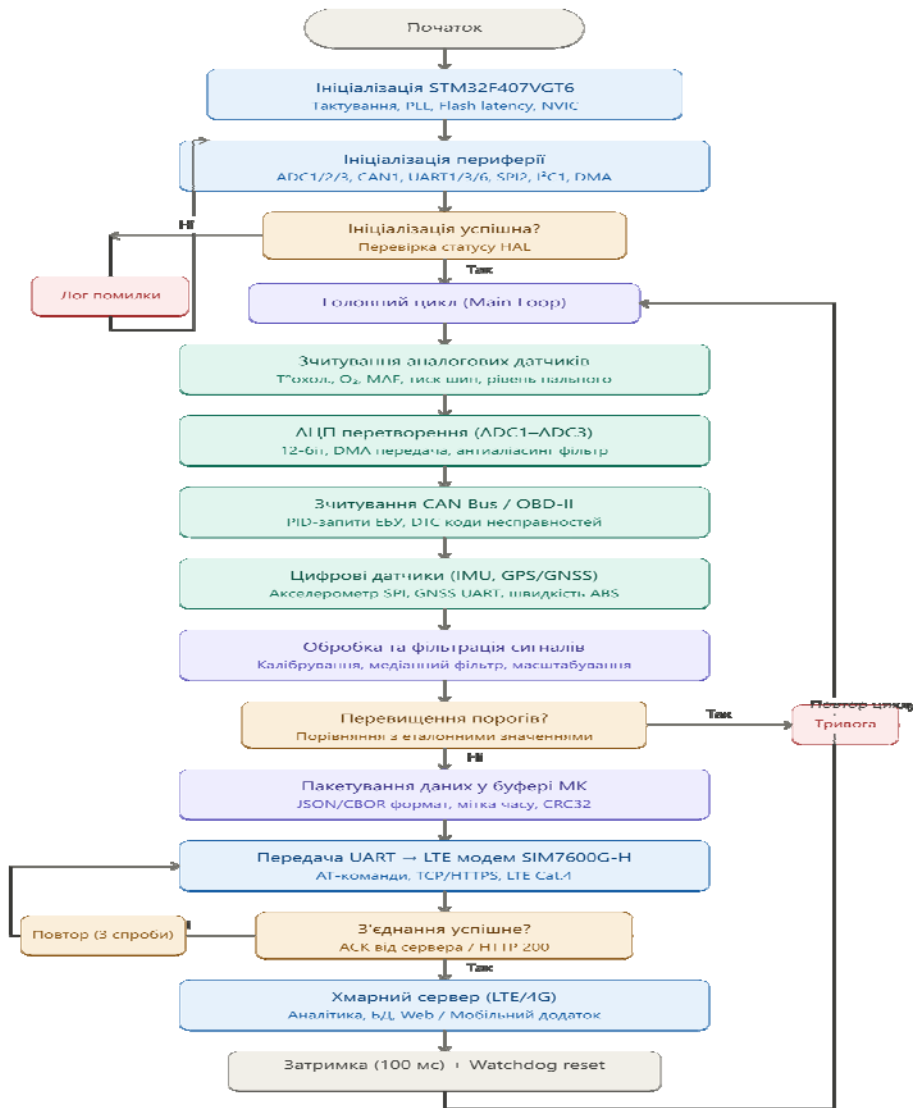


Рисунок 3.1- UML модель алгоритму інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу

Після подачі живлення апаратний блок скидання (Power-On Reset) утримує ядро Cortex-M4 у стані скидання протягом 1 мс, після чого відбувається завантаження з вектору скидання за адресою 0x00000004. Перші операції в функції SystemInit() конфігурують систему тактування: активується зовнішній кварцовий генератор (HSE, 8 МГц), налаштовується блок фазової автопідстройки частоти (PLL) з коефіцієнтами PLLM=8, PLLN=336, PLLP=2, що забезпечує системну частоту 168 МГц. Одночасно встановлюється затримка флеш-пам'яті FLASH_LATENCY_5 (5 тактів очікування при 168 МГц) та вмикаються кеші інструкцій і даних.

Наступний етап - ініціалізація периферії засобами бібліотеки HAL (Hardware Abstraction Layer) у складі STM32CubeF4:

- ADC1 конфігурується для 8 аналогових каналів (IN0–IN7) у режимі безперервного сканування з тригером від таймера TIM2 та DMA-передачею результатів до масиву SRAM;
- ADC2 та ADC3 обслуговують по 4 канали кожен для датчиків тиску та температури навколишнього середовища;
- CAN1 ініціалізується зі швидкістю 500 кбіт/с (відповідно до специфікації OBD-II ISO 15765-4), налаштовуються фільтри приймання для ідентифікаторів функціональних PID-запитів 0x7DF та фізичних 0x7E8;
- UART1 (115 200 бод, 8N1) призначений для взаємодії з LTE-модемом SIM7600G-H через AT-команди;
- SPI2 (4 МГц, Mode 0) — для зв'язку з модулем IMU на базі MPU-6500;
- I²C1 (400 кГц, Fast Mode) — для зчитування EEPROM із калібрувальними коефіцієнтами датчиків;
- Watchdog-таймер IWDG налаштовується з інтервалом скидання 500 мс для відновлення системи при зависанні.

Після завершення конфігурації периферії виконується перевірка її стану: кожен драйвер повертає код HAL_OK у разі успіху або HAL_ERROR при

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

виявленні несправності. Результати перевірки записуються у структуру діагностики системи, а при виявленні критичної помилки відповідний прапорець заноситься до внутрішнього журналу із збереженням у резервну область SRAM2, яка не очищається при програмному скиданні.

Збір вимірювальних даних організований як конвеєр паралельних операцій: поки DMA переносить результати чергового АЦП-перетворення, ядро Cortex-M4 опрацьовує попередній буфер і формує CAN-запит до ЕБУ.

Аналогове вимірювання виконується в наступній послідовності:

Аналоговий контур вимірювання реалізовано як детермінований конвеєр обробки сигналів із жорсткою синхронізацією, що забезпечує відтворюваність часових характеристик і мінімізацію джитерів вибірки. Його функціонування відбувається у кілька послідовних стадій.

На першому етапі формується тактуючий вплив для підсистеми оцифрування. Генератор подій на базі таймера створює періодичний тригер із фіксованим інтервалом дискретизації 10 мс, що відповідає частоті 100 Гц. Цей сигнал ініціює мультиканальний режим роботи аналого-цифрового перетворювача, який послідовно виконує сканування восьми вхідних каналів. Кожен канал проходить повний цикл вибірки та квантування із сумарною тривалістю, що включає час утримання, власне перетворення та службові накладні витрати. У підсумку формується компактний часовий інтервал повного циклу сканування, що вимірюється одиницями мікросекунд, завдяки чому досягається значний запас за швидкодією відносно періоду дискретизації.

Друга стадія відповідає за ефективне транспортування результатів оцифрування без залучення центрального процесора. Контролер прямого доступу до пам'яті виконує апаратне копіювання даних із регістру результатів перетворювача у буфер оперативної пам'яті. Такий підхід усуває необхідність програмного опитування і знижує навантаження на ядро, забезпечуючи безперервність потоку даних. Після завершення повного циклу заповнення буфера формується апаратне переривання, яке виступає сигналом готовності даних для подальшої обробки.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

На третьому етапі виконується приведення сирих цифрових кодів до фізично інтерпретованих величин. Спочатку здійснюється нормування результатів відносно опорної напруги з урахуванням розрядності перетворювача, що дозволяє отримати значення у вольтах. Далі застосовується індивідуалізована калібрувальна модель, параметри якої (коефіцієнти масштабування та зсуву) попередньо збережені в енергонезалежній пам'яті. Для нелінійних сенсорів, зокрема терморезисторів типу NTC, використовується апроксимаційний аналітичний опис, що дозволяє компенсувати експоненційний характер їх передавальної функції та підвищити точність температурних оцінок у широкому діапазоні.

Завершальна стадія орієнтована на покращення якості сигналу та придушення шумових складових. Для цього застосовується каскадна цифрова фільтрація. Спочатку використовується медіанна обробка з ковзним вікном, яка ефективно усуває імпульсні завади та одиничні викиди. Після цього сигнал проходить через рекурсивний фільтр низьких частот першого порядку, що реалізує експоненціальне згладжування та зменшує високочастотні флуктуації без суттєвої втрати динаміки. Математично ця операція описується співвідношенням:

$$y[n] = \alpha x[n] + (1 - \alpha)y[n - 1]$$

де параметр згладжування визначає компроміс між швидкодією системи та ступенем фільтрації.

У сукупності наведена послідовність формує завершений вимірювальний тракт, оптимізований з точки зору часової детермінованості, обчислювальної ефективності та метрологічної достовірності отриманих даних.

$$y_{filt} = \alpha \times y_{raw} + (1 - \alpha) \times y_{filt}^{prev}.$$

Паралельно з оцифруванням аналогових сигналів виконується опитування ЕБУ по шині CAN. Система формує функціональний запит PID за протоколом ISO 15765-4 до адресного ідентифікатора 0x7DF з кодом сервісу 0x01 (поточні дані) або 0x03 (коди несправностей DTC). Відповідь від ЕБУ надходить з ідентифікатором 0x7E8 та містить до 7 байт корисного навантаження. Функція обробника переривання CAN1 RX0 IRQHandler

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначає значення параметрів та записує їх у структуру `ecu_data_t` у кільцевому буфері.

Інерціальний вимірювальний блок MPU-6500 опитується по шині SPI2 кожні 20 мс. Зчитується блок із 14 байт (акселерометр X/Y/Z + температура + гіроскоп X/Y/Z), кожна пара байт інтерпретується як 16-розрядне знакове ціле число. Масштабний множник акселерометра при діапазоні $\pm 2g$ становить 16 384 LSB/g, гіроскопа при $\pm 250^\circ/\text{с}$ - 131 LSB/($^\circ/\text{с}$).

Після отримання відфільтрованих значень від усіх джерел виконується порівняння з еталонними діапазонами. Таблиця еталонних значень зберігається у флеш-пам'яті у структурі `threshold_table_t` та містить нижній і верхній допустимі поріг для кожного параметра. При виході значення за межі порогу встановлюється відповідний біт у 32-розрядному регістрі `fault_flags`, а до журналу подій записується мітка часу з роздільною здатністю 1 мс від системного лічильника `HAL_GetTick()`. Якщо той самий параметр перевищує поріг протягом більше 500 мс (дебаунс), ситуація класифікується як стійка несправність та формується тривожне повідомлення з підвищеним пріоритетом передачі.

Перетворення аналогових сигналів датчиків у цифровий код є критично важливою операцією ІВС, оскільки похибки на цьому етапі безпосередньо впливають на якість всіх наступних обчислень. У STM32F407VGT6 застосовано послідовно-апроксимаційний АЦП (SAR-ADC) з роздільною здатністю 12 біт та диференційними нелінійністю менше 1,5 LSB (типово 0,5 LSB).

Теоретична роздільна здатність перетворення визначається формулою:

$$V_{LSB} = V_{REF} / 2N = 3,3 / 4096 \approx 0,806 \text{ мВ}$$

де V_{REF} - опорна напруга (3,3 В), N - розрядність АЦП (12 біт). Отже, мінімальний крок вимірювання складає $\sim 0,8$ мВ, що для датчика температури охолоджувальної рідини з крутизною $10 \text{ мВ}/^\circ\text{C}$ забезпечує роздільну здатність $0,08^\circ\text{C}$ — достатньо для надійного виявлення перегріву двигуна.

Для захисту від аліасингу на вході кожного аналогового каналу встановлений RC-фільтр нижніх частот першого порядку з постійною часу $\tau =$

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

RC. Частота зрізу фільтра: $f_c = 1 / (2\pi RC)$ вибирається не вище половини частоти дискретизації (теорема Найквіста–Шеннона). При частоті дискретизації 100 Гц встановлено $f_c = 40$ Гц ($R = 10$ кОм, $C = 400$ нФ).

Вхідний аналоговий сигнал з датчика надходить через захисний дільник напруги та фільтр на аналоговий вхід мікроконтролера. Внутрішній сигнал вибірки і зберігання (Sample-and-Hold) фіксує миттєве значення напруги на час 15 тактів АЦП ($\approx 0,18$ мкс при 84 МГц тактування АЦП), після чого SAR-алгоритм здійснює бінарний пошук за 12 ітерацій, порівнюючи вхідну напругу з виходом вбудованого ЦАП. Результат записується у 16-розрядний регістр ADC_DR у форматі вирівнювання праворуч.

Після завершення циклу збору та обробки даних головний алгоритм формує пакет телеметрії та ініціює його передачу на хмарний сервер через LTE-модем SIM7600G-H.

Пакет телеметрії формується у форматі JSON та включає такі поля: унікальний ідентифікатор транспортного засобу (VIN), мітку часу UTC (отримується від GNSS-модуля або мережевого протоколу NTP), координати GPS (широта, довгота, висота, точність HDOP), швидкість транспортного засобу (км/год), оберти двигуна (об/хв), температуру охолоджувальної рідини ($^{\circ}\text{C}$), масову витрату повітря (г/с), концентрацію кисню у вихлопних газах (λ), тиск у шинах (кПа), кути та прискорення від IMU, активні коди несправностей DTC та прапорці тривоги.

Для стиснення та цілісності даних пакет обчислюється контрольна сума CRC32 за поліномом IEEE 802.3 (0xEDB88320) з використанням апаратного блоку CRC, вбудованого у STM32F407. Це дозволяє виконати перевірку цілісності без накладних витрат процесорного часу. Сформований JSON-рядок разом з CRC записується до кільцевого буфера FIFO розміром 4×1024 байти у SRAM, що забезпечує накопичення черги пакетів на час відсутності з'єднання.

Взаємодія з LTE-модемом SIM7600G-H реалізована через скінченний автомат (FSM) із 7 станами: IDLE, INIT, CHECK_SIM, ATTACH, CONNECT, SEND та ERROR. Перехід між станами управляється функцією-диспетчером, яка викликається кожні 50 мс з головного циклу.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

У разі відсутності підтвердження від сервера або розриву з'єднання система виконує до 3 повторних спроб передачі з експоненціальним збільшенням інтервалу очікування (1 с, 2 с, 4 с). Якщо всі спроби невдали, пакет залишається у буфері FIFO для відправлення при наступному встановленні з'єднання. Такий механізм гарантує доставку даних навіть у зонах нестабільного покриття LTE.

Програмне забезпечення IBC розроблене мовою C у середовищі STM32CubeIDE 1.14 з використанням компілятора GCC ARM Embedded Toolchain 12.3 та бібліотеки STM32CubeF4 HAL v1.28.0. Архітектура ПЗ побудована на принципі шаруватої абстракції: нижній шар - HAL-драйвери периферії, середній - модулі доменної логіки (збір, обробка, упакування), верхній - конфігураційний шар та точка входу main().

Реалізація головного циклу алгоритму виглядає наступним чином:

```
void main_loop(void) {
    while (1) {
        if (adc_ready_flag) {
            process_adc_buffer();    // Масштабування + фільтр
            adc_ready_flag = 0;
        }
        can_poll_ecu();              // CAN PID-запити
        imu_read_spi();              // IMU по SPI2
        check_thresholds();          // Порогові перевірки
        if (timer_100ms_elapsed()) {
            build_telemetry_packet(); // Формування JSON
            lte_fsm_run();            // FSM передачі
        }
        HAL_IWDG_Refresh(&hiwdg);   // Скидання watchdog
    }
}
```

Час виконання одного повного циклу головної функції не перевищує 18 мс при 168 МГц, що забезпечує достатній запас для відпрацювання всіх переривань та дотримання часових обмежень протоколу CAN (bitrate 500 кбіт/с, мінімальний інтервал кадру ~2 мс).

У даному розділі розроблено та детально описано алгоритм функціонування інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу на базі мікроконтролера STM32F407VGT6.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Обґрунтовано вибір апаратної платформи, описано чотирифазну структуру алгоритму (ініціалізація, збір даних, обробка та передача), детально розглянуто механізм 12-розрядного АЦП-перетворення з DMA-прискоренням та цифровою фільтрацією, алгоритм взаємодії з ЕБУ через CAN-шину, а також скінченний автомат управління LTE-модемом для надійної доставки телеметрії на хмарний сервер.

Запропонований алгоритм забезпечує частоту дискретизації аналогових сигналів 100 Гц при 16 паралельних каналах, затримку доставки даних менше 800 мс у нормальних умовах покриття мережі та автономне збереження до 300 пакетів телеметрії при відсутності з'єднання. Реалізація на базі HAL-бібліотеки STM32CubeF4 забезпечує портабельність коду та спрощує адаптацію системи до інших мікроконтролерів сімейства STM32.

Розроблена система відповідає вимогам стандартів ISO 15765-4 (OBD-II/CAN) та ISO 11898-1 (CAN Data Link Layer), що забезпечує сумісність з широким класом сучасних транспортних засобів. Наявність вбудованого watchdog-таймера, механізму повторної передачі пакетів та журналювання помилок гарантує високу надійність системи в умовах реальної експлуатації.

3.2 Розробка принципової схеми інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу

Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) діагностики транспортного засобу є технічною документацією, що встановлює повний перелік електронних компонентів, їх функціональні зв'язки та електричні параметри роботи. Розроблена принципова схема інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу базується на інтеграції апаратних та програмних компонентів у єдину функціональну структуру, здатну забезпечити безперервний моніторинг технічного стану автомобіля в режимі реального часу. В основу побудови системи покладено ієрархічний підхід, при якому нижній рівень відповідає за збір первинної

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

інформації, середній — за її обробку та аналіз, а верхній — за передачу та відображення результатів користувачу.. Схема (рисунок 3.2) реалізує концепцію багатоканального вимірювального стенду на базі мікроконтролера STM32F407VG з бездротовим зчитуванням даних OBD-II через інтерфейс Bluetooth (модуль ELM327) та передачею телеметрії на хмарний сервер через LTE-модем SIM7600G-H.

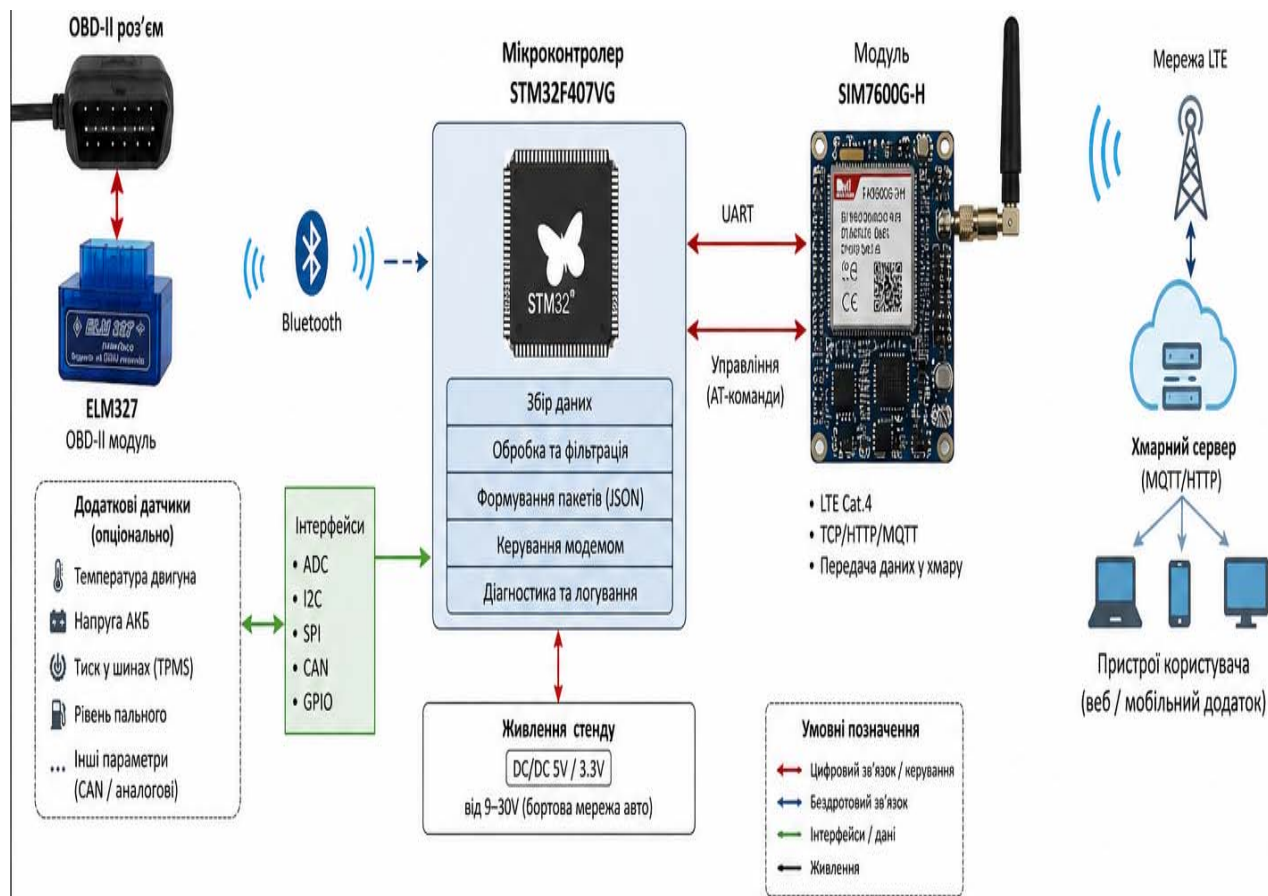


Рисунок 3.2- Схема інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу

Ключовим обчислювальним вузлом системи є мікроконтролер, який виконує роль центрального координатора усіх процесів. Саме на ньому реалізується логіка збору інформації з різних джерел, її синхронізація, попередня обробка та підготовка до подальшої передачі. Обробка сигналів включає перетворення аналогових значень у цифрову форму, нормалізацію, застосування калібрувальних коефіцієнтів та фільтрацію з метою зменшення впливу випадкових завад. Такий підхід дозволяє підвищити точність та стабільність вимірювань, що є критично важливим для систем діагностики.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Після обробки дані структуруються у зручний для передачі формат, що забезпечує їх сумісність із мережевими протоколами. Взаємодія з каналом зв'язку реалізується через стільниковий модем, який підтримує сучасні стандарти мобільного зв'язку. Обмін інформацією між мікроконтролером і модемом відбувається за допомогою послідовного інтерфейсу, а керування здійснюється через набір стандартних команд. Це дозволяє організувати стабільне з'єднання з віддаленим сервером та забезпечити передачу діагностичних повідомлень у реальному часі незалежно від місцезнаходження транспортного засобу.

Отримані дані передаються до хмарної інфраструктури, де відбувається їх накопичення, подальший аналіз та візуалізація. Такий підхід відкриває можливості для реалізації інтелектуальних сервісів, зокрема прогнозування несправностей, аналізу режимів експлуатації та формування рекомендацій щодо технічного обслуговування. Користувач отримує доступ до цієї інформації через веб-інтерфейс або мобільний застосунок, що значно підвищує зручність використання системи.

Живлення всіх компонентів здійснюється від бортової мережі транспортного засобу, при цьому застосовується перетворення напруги до рівнів, необхідних для коректної роботи електронних модулів. Наявність стабілізації та фільтрації забезпечує стійкість системи до перешкод та коливань напруги, характерних для автомобільного середовища.

Представлена на рисунку 3.3 розроблена принципова електрична схема реалізує інформаційно-вимірювальний стенд для діагностики транспортного засобу, що поєднує автомобільний інтерфейс, мікроконтролерну обробку та бездротову передачу даних. Структурно схема складається з кількох функціонально завершених вузлів: інтерфейсу OBD-II, модуля обробки даних на базі мікроконтролера, комунікаційного LTE-модуля, підсистеми живлення, додаткових сенсорів та допоміжних інтерфейсів. Додатково реалізовано вузол індикації на основі світлодіодів, що дозволяє візуально контролювати стан живлення, мережевого підключення та передачі даних. Сервісні інтерфейси,

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

зокрема USB-UART та SWD, використовуються для налагодження, програмування та діагностики мікроконтролера.

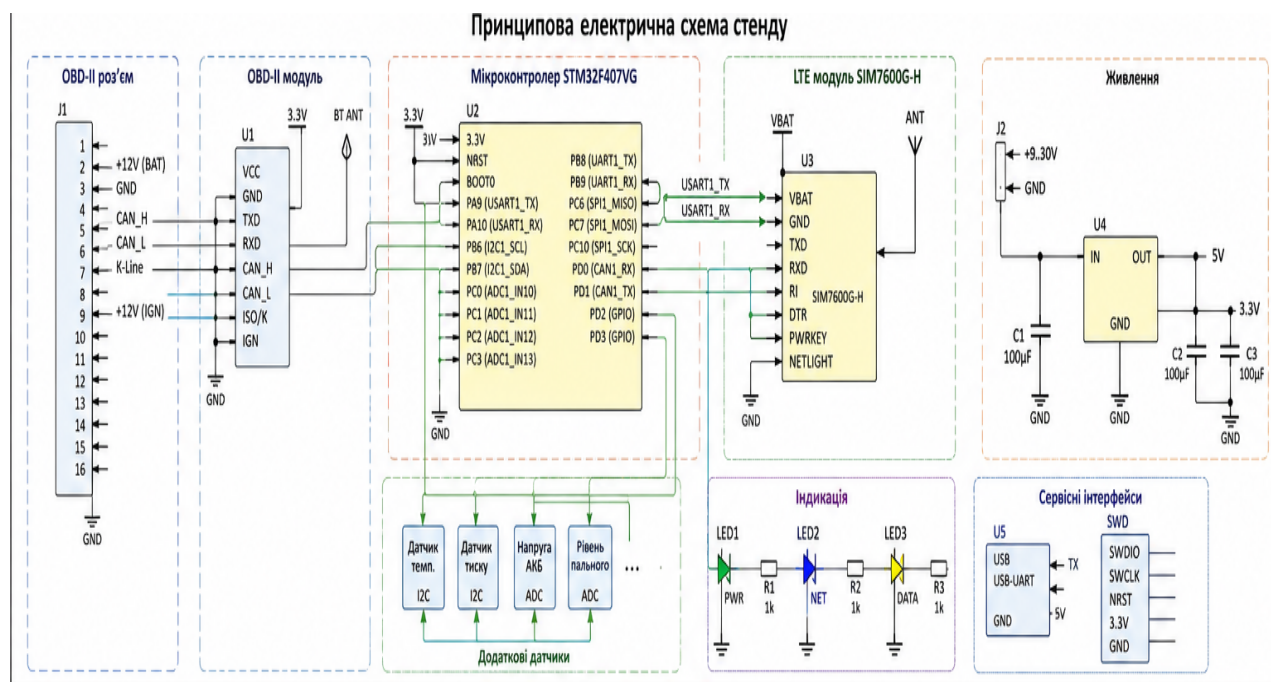


Рисунок 3.3- Принципова схема інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу

Таким чином, схема забезпечує повний цикл обробки інформації — від отримання даних з автомобіля та сенсорів до їх передачі у віддалену систему моніторингу.

У даному розділі розроблено та детально описано принципову схему інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу. Схема включає п'ять функціональних підсхем: інтерфейс OBD-II на базі ELM327 з Bluetooth-з'єднанням, центральний вузол на мікроконтролері STM32F407VG, модуль LTE-зв'язку SIM7600G-H, блок живлення на DC/DC перетворювачі та канали підключення додаткових датчиків.

3.3 Simulink модель інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу

Подана структурна схема відображає принцип роботи сучасної інформаційно-вимірювальної та керуючої архітектури транспортного засобу,

яка побудована на основі CAN-комунікації та взаємодії між сенсорним блоком, виконавчими механізмами та підсистемою передачі даних.

У межах цієї системи реалізовано розділення функціональних модулів на три основні компоненти: модуль прийому керуючих команд, модуль виконавчих пристроїв та модуль вимірювання і передачі інформації. Керуючі сигнали, що стосуються режимів роботи двигуна та гальмівної системи, надходять через CAN-інтерфейс прийому та далі обробляються виконавчим блоком. На основі отриманих команд формується відповідна реакція системи керування рухом, включаючи регулювання тяги та контроль стану гальмування (рисунок 3.3).

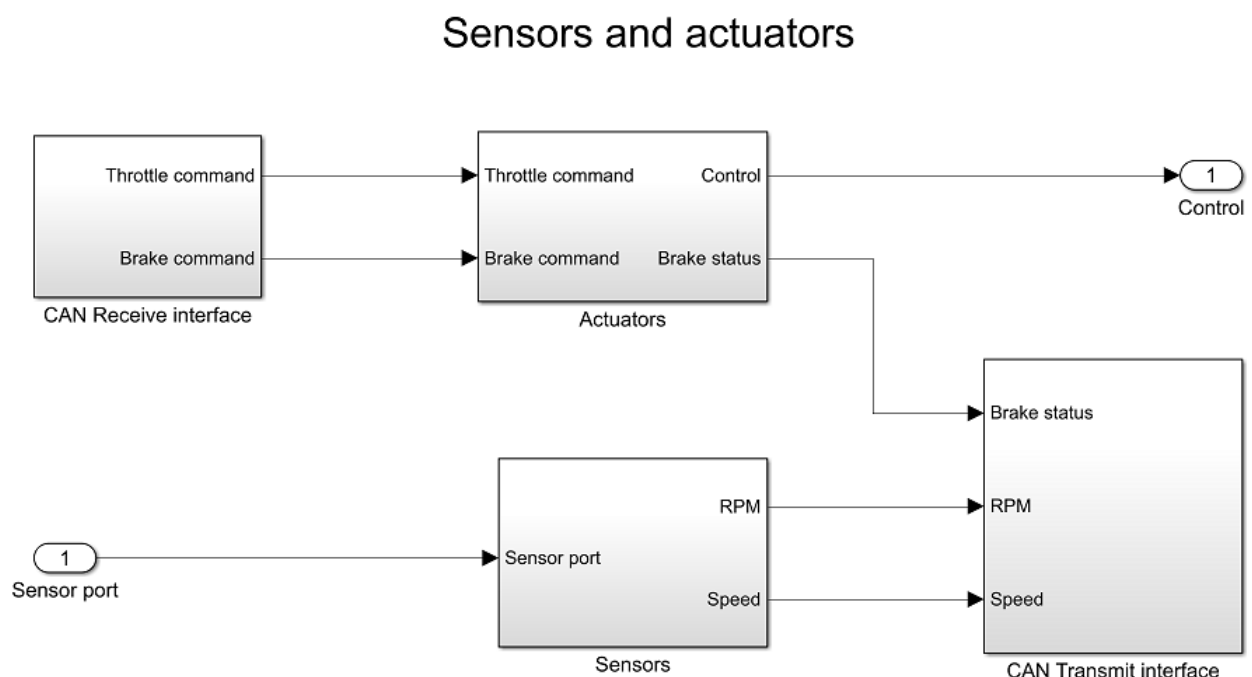


Рисунок 3.3- Simulink модель інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу

Паралельно функціонує підсистема датчиків, яка забезпечує безперервний збір параметрів руху та стану транспортного засобу, зокрема швидкості руху та частоти обертання двигуна. Отримані вимірювальні дані передаються через CAN-інтерфейс передачі для подальшої обробки, діагностики або візуалізації у зовнішніх системах моніторингу.

Загалом система функціонує як інтегрована інформаційно-керуюча структура з розподіленою обробкою даних, де виконавчі механізми та сенсори

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

працюють синхронно через єдину цифрову шину. Такий підхід забезпечує високу точність керування, оперативність реакції на зміни режимів роботи та можливість ефективної діагностики технічного стану транспортного засобу в режимі реального часу.

Виконавчі пристрої отримують команди керування через CAN-шину та перетворюють їх у фізичні впливи, які безпосередньо визначають динамічну поведінку автомобіля. У зворотному напрямку модель поздовжньої динаміки транспортного засобу формує сигнали швидкості та обертів двигуна, які дискретизуються з фіксованою частотою та передаються назад у мережу для використання іншими підсистемами. Додатково гальмівний виконавчий механізм формує дискретний сигнал свого стану, що дозволяє іншим модулям оперативно реагувати на факт активації гальм.

Керування транспортним засобом здійснюється через регулятор швидкості, який реалізує замкнений контур управління на основі порівняння заданої швидкості, отриманої від користувача, з фактичними вимірюваннями. На основі цієї різниці формуються керуючі впливи на дросельну заслінку та гальмівну систему за допомогою дискретних пропорційно-інтегральних алгоритмів. Такий підхід дозволяє забезпечити стабільне наближення до цільового режиму руху з урахуванням динамічних обмежень автомобіля та затримок мережевого обміну.

Інтерфейс водія представлений панеллю керування, яка виконує роль основного каналу взаємодії між користувачем і системою. Через неї задається бажана швидкість руху, а також положення покажчиків повороту. Усі команди оцифровуються та передаються через CAN-мережу до відповідних виконавчих модулів. Одночасно панель отримує зворотні дані про швидкість руху та оберти двигуна, які використовуються для візуалізації на приладовій панелі у вигляді спідометра та тахометра (рисунк 3.4).

Окремі підсистеми світлової індикації забезпечують відображення стану керування автомобілем для зовнішнього середовища. Система стоп-сигналів активується безпосередньо при спрацюванні гальмівного механізму, формуючи миттєву світлову індикацію гальмування. Підсистема покажчиків повороту

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

реалізує періодичне миготіння відповідного лівого або правого сигналу залежно від положення перемикача на панелі керування.

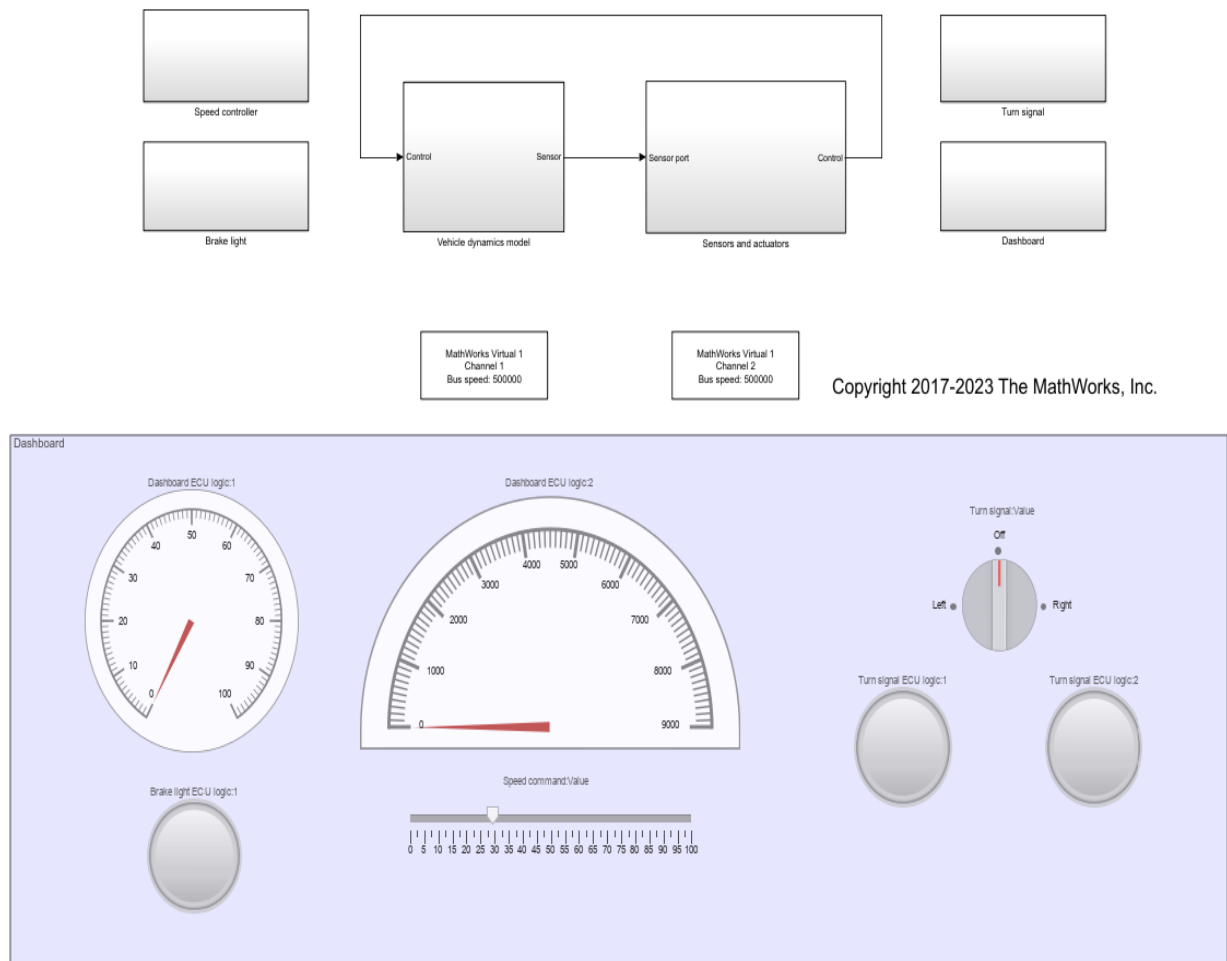


Рисунок 3.4- Панель керування Simulink моделі інформаційно-вимірювальної системи

Уся система працює в умовах дискретної синхронізації з фіксованою частотою оновлення сигналів, що забезпечує узгодженість обміну даними між підсистемами та передбачуваність поведінки в режимі реального часу. Архітектура є модульною, масштабованою та орієнтованою на подальше розширення функціональності, включаючи можливість інтеграції додаткових систем активної безпеки та автоматизованого керування рухом.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

ВИСНОВКИ

У межах виконаної роботи було проведено комплексне дослідження та проектування інформаційно-вимірювальної системи дистанційної діагностики транспортного засобу з урахуванням сучасних тенденцій розвитку автомобільної електроніки та мережових технологій. У роботі проведено аналіз та встановлено, що ринок засобів дистанційної діагностики транспортних засобів демонструє стабільне зростання, що зумовлено переходом до цифровізації автомобільних систем, підвищенням вимог до безпеки експлуатації та необхідністю оперативного моніторингу технічного стану транспортних засобів у режимі реального часу.

Дослідження стаціонарних дистанційних діагностичних систем дозволило визначити їхню типову архітектуру, яка базується на взаємодії датчикових модулів, блоків обробки даних та каналів передачі інформації. Окрему увагу приділено принципам побудови систем дистанційної діагностики, які забезпечують безперервний збір, передавання та інтерпретацію параметрів роботи транспортного засобу, що є критично важливим для своєчасного виявлення відхилень та запобігання відмовам.

На другому етапі роботи було проаналізовано інформаційно-вимірювальні компоненти, що формують основу діагностичної системи. Розглянуто структуру вимірювання технічних параметрів транспортного засобу, особливості функціонування сенсорних елементів та їх роль у формуванні достовірної діагностичної інформації. Встановлено, що точність системи значною мірою залежить від характеристик первинних вимірювальних перетворювачів, а також від стабільності каналів передачі даних.

Додатково досліджено інтерфейси обміну інформаційно-вимірювальними даними, включаючи цифрові мережеві протоколи, які забезпечують інтеграцію окремих модулів у єдину систему. Особливу увагу приділено аналізу похибок вимірювання датчиків, які можуть виникати внаслідок шумів, дискретизації сигналів, температурних впливів та затримок передачі даних. Визначено, що мінімізація цих похибок є ключовою умовою забезпечення високої точності дистанційної діагностики.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На завершальному етапі роботи було здійснено проєктування системи з використанням сучасних методів моделювання. Розроблено UML-модель алгоритму функціонування інформаційно-вимірювальної системи, яка дозволяє формалізувати взаємодію її компонентів та логіку обробки діагностичних даних. На основі цієї моделі сформовано принципову схему системи, що відображає структурні зв'язки між сенсорами, блоками обробки та каналами передачі інформації. Додатково створено Simulink-модель, яка забезпечує можливість імітаційного дослідження динаміки системи та перевірки її працездатності в різних режимах експлуатації.

Таким чином, результати роботи підтверджують доцільність використання комплексного підходу до проєктування інформаційно-вимірювальних систем дистанційної діагностики транспортних засобів, що поєднує аналітичні методи дослідження, формалізоване моделювання та комп'ютерну імітацію. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення систем діагностики, підвищення їхньої точності, надійності та адаптивності до сучасних вимог автомобільної індустрії.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Denton T. *Advanced Automotive Fault Diagnosis*. – 4th ed. – London : Routledge, 2020. – 560 p.
2. Leen G., Heffernan D. Expanding automotive electronic systems // *Computer*. – 2002. – Vol. 35, No. 1. – P. 88–93.
3. Grand View Research. *Automotive Remote Diagnostics Market Size, Share & Trends Analysis Report, 2024–2030*. – San Francisco : Grand View Research, 2024.
4. United States Environmental Protection Agency (EPA). *On-Board Diagnostics (OBD) Regulations and Requirements for Light-Duty Vehicles*. – Washington, DC : EPA, 2024.
5. Voss W. *A Comprehensive Guide to Controller Area Network*. – 2nd ed. – Greenfield : Copperhill Technologies Corporation, 2022. – 548 p.
6. Charette R. N. The Software-Defined Vehicle // *IEEE Spectrum*. – 2023. – Vol. 60, No. 4. – P. 34–39.
7. Halder S. Secure OTA Software Updates in Connected Vehicles: A Survey / S. Halder, A. Ghosal, M. Conti // *Computer Science Review*. – 2020. – Vol. 37. – Article 100277.
8. Frost & Sullivan. Insight into North American OEMs' Over-the-Air Update (FOTA/SOTA) Strategies. – Mountain View : Frost & Sullivan, 2023. – 95 p.
9. General Motors Company. OnStar Vehicle Diagnostics and Connected Services [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.onstar.com/>.
10. ISO 14229-1:2020. Road vehicles — Unified diagnostic services (UDS) — Part 1: Application layer. – Geneva : International Organization for Standardization, 2020. – 484 p.
11. [Vector Informatik – Automotive Ethernet, CAN and Vehicle Network Architecture](#). – Назва з екрана.
12. SAE International. SAE J1979-DA Digital Annex of E/E Diagnostic Test Modes. – Warrendale, PA : SAE International, 2024. – Режим доступу: SAE J1979 Digital Annex.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

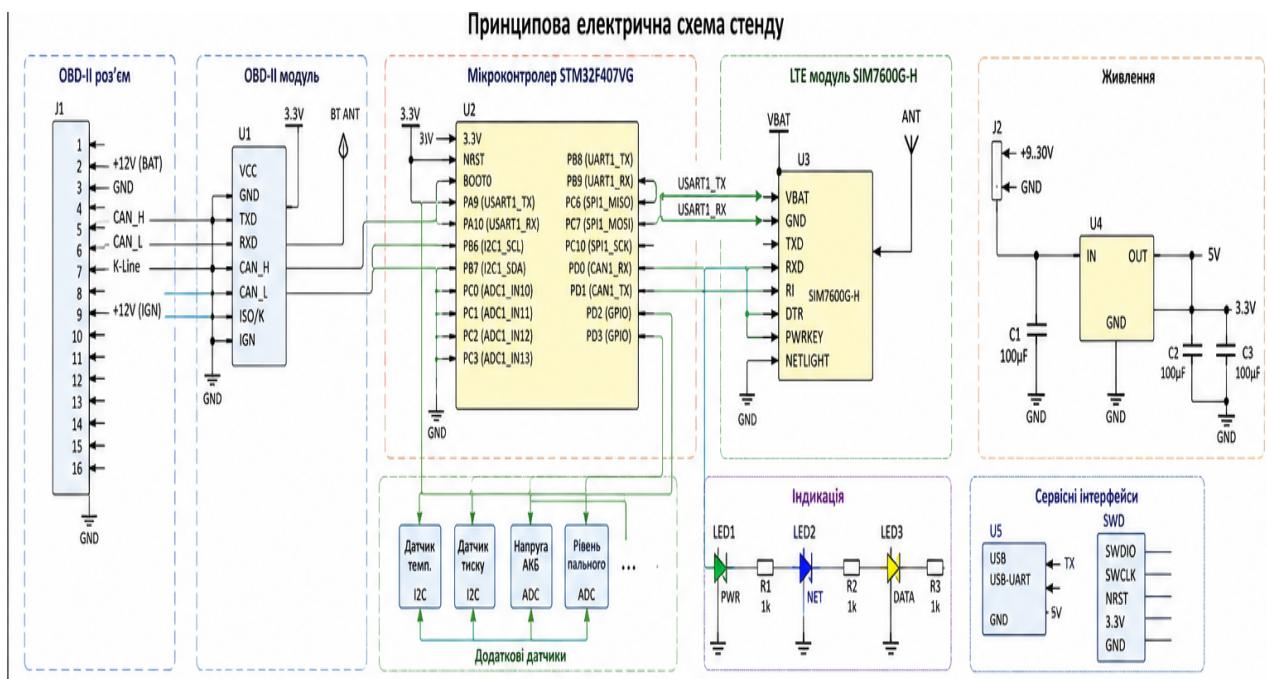
13. [STMicroelectronics STM32F407VG Datasheet](#). – Geneva :
STMicroelectronics, 2024. – 177 p.
14. [STMicroelectronics STM32F405/407 Reference Manual RM0090](#). – Geneva :
STMicroelectronics, 2024. – 1749 p.
15. Digital Signal Processing Using ARM Cortex-M Based Microcontrollers / J.
Yiu. – Oxford : Newnes, 2015. – 488 p.
16. FreeRTOS Kernel Documentation. – Amazon Web Services, 2024.
17. Robert Bosch GmbH. Automotive Handbook. 10th ed. Plochingen : Bosch
Mobility Solutions, 2018. 1168 p.
18. Robert Bosch GmbH. Sensors in Automobiles. Stuttgart : Bosch Technical
Instruction, 2020. 84 p.
19. Fraden J. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications.
5th ed. Cham : Springer, 2016. 758 p.
20. Robert Bosch GmbH. Gasoline Engine Management Systems and Components.
Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 520 p.
21. Hella GmbH. Hall Effect Sensors in Automotive Applications : Technical
Information. Lippstadt : HELLA Tech World, 2022. 24 p.
22. [Marek J., Tamura S., Yamamoto H. Automotive Sensors. Weinheim : Wiley-
VCH, 2013. 498 p.
23. Konrad Reif. Automotive Mechatronics: Automotive Networking, Driving
Stability Systems, Electronics. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2015. 548 p.
24. Denso Corporation. Air Flow Meter (MAF Sensor) Technical Guide. Kariya :
Denso Technical Publications, 2021. 32 p.
25. Yole Développement. Status of the MEMS Industry 2023. Lyon : Yole
Intelligence, 2023. 320 p.
26. International Organization for Standardization. ISO 16750-2:2023 Road
vehicles — Environmental conditions and testing for electrical and electronic
equipment — Part 2: Electrical loads. Geneva : ISO, 2023. 86 p.

					ДП.ТІР 113878993.00.0000 ПЗ	Арк.
ЗМН.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

ДОДАТОК А

ПРИНЦИПОВА СХЕМА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Принципова електрична схема стану



					ДП.10663272 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Інтелектуальна інформаційно-вимірювальна система діагностики транспортних засобів		
Розроб.	Білик В.						
Перевір.	Гуменний П.В.						
Консульт.							
Н. Контр.	Заставний О.						
Затверд.	Сегін А.І.				Літ.		
					Арк.		
					6		
					Акрушів		
					ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-42		



АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

2026



*ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ГАЛИЦЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ІМ. В'ЯЧЕСЛАВА ЧОРНОВОЛА
НАДВІРНЯНСЬКИЙ КОЛЕДЖ НАЦІОНАЛЬНОГО
ТРАНСПОРТНОГО УНІВЕРСИТЕТУ*

всеукраїнська науково-практична конференція
***АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-
ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ***
(АКІТ – 2026)

19-21 лютого 2026 року
м. Тернопіль

Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКИТ - 2026), Тернопіль, 2026.

Редакційна колегія:

Сегін А.І. - кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету.

Возна Н.Я. - доктор технічних наук, професор, професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету.

Николайчук Я.М. – доктор технічних наук, професор, академік Міжнародної академії інформатики, професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету..

Яцків В.В. - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кібербезпеки Західноукраїнського національного університету.

Якименко І.З. - кандидат технічних наук, доцент, декан факультету комп'ютерних інформаційних технологій Західноукраїнського національного університету.

Стефурак Н.А. - кандидат фізико-математичних наук, Галицький фаховий коледж імені В'ячеслава Чорновола.

Сидор А.І. - кандидат технічних наук, завідувач кафедри обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування.

Пітух І.Р. - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету.

Яцків Н.Г. - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету.

Масляк Б.О. - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету.

Гуменний П.В. - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету

Албанський І.Б. - кандидат технічних наук, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету.

Заставний О.М. - кандидат технічних наук, старший викладач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Західноукраїнського національного університету.

Волинський О.І. - кандидат технічних наук, доцент, Надвірнянський коледж Національного транспортного університету.

Давлетова А.Я. – викладач кафедри кібербезпеки Західноукраїнського національного університету.

Адреса організаторів:

вул. Олени Теліги 8, м. Тернопіль 46003,
кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем,
Західноукраїнський національний університет.

Контакти: тел.: (0352) 50-17-87, e-mail: conferenceakit@gmail.com.

ЗМІСТ

Володимир АНДРУСИШИН, Ренат ДАВЛЕТОВ, Володимир КЕРНІЦЬКИЙ	
МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ПАРКТРОНІКА	3 8
КОМБІНОВАНОЮ СИСТЕМОЮ СВІТЛОЗВУКОВОГО ОПОВІЩЕННЯ	
Роман ПАЛЬЦАН, Василь ЯРЕМЧУК	
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРОМИСЛОВОГО КОТЕЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ	13
Олександр СЕНЬКІВ, Андрій ГЕТЬМАН	
КАСКАДНА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В СКЛОВАРНІЙ ПЕЧІ	17
Святослав САФРОНОВ, Олександр ДОРОШЕНКО, Ігор ПІТУХ	
МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ЛОКАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ	24
Світозар ВАСЕНКО, Степан ІВАСЬЄВ	
АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВІДСТЕЖЕННЯ ДІЙ КОРИСТУВАЧА НА ОСНОВІ РЕЄСТРУ WINDOWS	30
Євген ПАРУБОК, Оксана СИРОТЮК	
АРХІТЕКТУРА РОЗПОДІЛЕНОЇ ІОТ СИСТЕМИ ВІЯВЛЕННЯ ТА АНАЛІЗУ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ	35
Зеновій БОЙКО, Владислав БОЛЕХІВСЬКИЙ, Олексій ШАПОВАЛ	
СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ ТУРБОАГРЕГАТУ ТЕС	41
Сергій ДРОК, Максим БАГРІЙ	
АРХІТЕКТУРА ТА АЛГОРИТМИ РОБОТИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ РЕЗЕРВУАРНИМ ПАРКОМ НАФТОПРОДУКТІВ	45
Едуард МУРАДЯН, Людмила БАБАЛА	
АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ДАНИХ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ	51
Роман КРІЛЬ	
ОПТИМІЗАЦІЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ УПРАВЛІННЯ ВРАЗЛИВОСТЯМИ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ OPENVAS/NESSUS НА ОСНОВІ МОДЕЛІ P-A-R	55

Іван ЯНІК

ГІБРИДНА МОДЕЛЬ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В АЛГОРИТМІ RSA-CRT НА ОСНОВІ МОДУЛЬНОЇ АРИФМЕТИКИ ТА ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ 60

Валентин САВЧУК, Аліна ДАВЛЕТОВА

СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ 64

Максим МИХАЛЬЧУК, Віталій КРАСІЙ

АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В ПЕЧІ ПІРОЛІЗНОЇ УСТАНОВКИ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ 68

Юрій КОЛЦУН, Віктор БОГОНІС

АРХІТЕКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД 72

Андрій ОСТРОВСЬКИЙ, Назар ЛЕНИК, Дмитро КОРОБОВ, Петро ГУМЕННИЙ

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ АВТОНОМНОЮ МІКРОВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЄЮ 77

Наталія ВОЗНА, Ігор ПАШКОВСЬКИЙ, Сергій ЛУЦИШИН

АДАПТИВНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ З ІНТЕГРОВАНИМИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИМИ ЗАСОБАМИ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ 83

Вадим ГРАМА

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЮ РОЗУМНОГО БУДИНКУ НА БАЗІ ІoT-ТЕХНОЛОГІЙ 87

Олег ФЕДИШИН, Людмила БАБАЛА

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЗАРЯДНИМИ СТАНЦІЯМИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМ РОЗПОДІЛОМ НАВАНТАЖЕННЯ 92

Іван АЛБАНСЬКИЙ, Максим МЕРВА, Олександр РУДКОВСЬКИЙ, Денис СОЛТИС

ВЗАЄМОДІЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ СЕНСОРАМИ ТЕХНОЛОГІЙ ІoT 3 97

Павло ГРИЦЮК

МЕТОДИ ПОБУДОВИ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КІБЕРЗАХИСТУ ВЕБ-ДОДАТКІВ НА БАЗІ ВІДКРИТИХ ІНСТРУМЕНТІВ МОНІТОРИНГУ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ТА АНТИВІРУСНОГО АНАЛІЗУ 103

Володимир БУЯР, Сергій ВОЙЦЕШКО, Оксана БУРЛАК, Наталія ВОЗНА	
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ	107
Володимир ШИГЕРА, Сергій МИРОНЮК, Петро ГУМЕННИЙ	
КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КОЛІСНИМ РОБОТОМ	111
Артем ГЕРАСИМЮК	
АРХІТЕКТУРА МОБІЛЬНОЇ ІоТ-МЕТЕОСТАНЦІЇ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА ESP32	118
Юрій ТЕРНОВИЧ, Володимир ШАГАЛА, Олександр ЦИКВАС	
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ВОДОЗАБІРНОЮ УСТАНОВКОЮ	122
Станіслав БАЛАКІН	
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ФАРБУВАЛЬНОЇ КАМЕРИ	125
Петро СТИРАНКА, Олег ЗАСТАВНИЙ	
АВТОМАТИЧНИЙ СКЛАД З ЛІФТОМ-ПІДЙОМНИКОМ: РОЗРОБЛЕННЯ PLC-СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	128
Сергій МУЗИКА	
КОНТЕЙНЕРИЗОВАНА ІОТ-ПЛАТФОРМА ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ВИРОБНИЧОЇ ЛІНІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ	131
Максим БЕДРИНСЬКИЙ, Петро ГУМЕННИЙ	
АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ГІБРИДНИМИ СИСТЕМАМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ НА ОСНОВІ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ	133
Олександр БРЕГІН	
СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ТА ОБРОБКИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОВІДНОСТІ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН МЕТОДОМ ІМПЕДАНСНОЇ ТОМОГРАФІЇ	140
Володимир ЗЬОМКО, Наталя СТЕФУРАК, Василь КУЗИК	
СХЕМА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ШВИДКОЇ ЗАМОРОЗКИ	144
Владислав БІЛИК, Петро ГУМЕННИЙ	
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	148

Аліна ДАВЛЕТОВА

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОГО ЗАСОБУ ФОРМУВАННЯ МАТРИЦЬ РОЗПОДІЛУ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ 153

Дарина ІВАНЧИШИНА, Станіслав БОГДАНОВИЧ, Руслан ПІДГРЕБЛЯ, Андрій ПРОЦЮК

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ ГАЗОАНАЛІЗАТОРІВ У СКЛАДІ ПРОМИСЛОВОГО УСТАТКУВАННЯ 159

Богдан ПОЗНЯК, Ольга ПОСВЯТОВСЬКА

МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ОВОЧЕСХОВИЩА 165

Андрій РІЖОК, Петро ГУМЕННИЙ

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РУХУ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ 171

Степан ІВАСЬЄВ

МОДИФІКОВАНИЙ АЛГОРИТМ ВІДНОВЛЕННЯ ЧИСЛА ЗА ЗАЛИШКАМИ НА ОСНОВІ СКУРЧУВАННЯ МОДУЛІВ 176

Роман ЧІЖОВ, Петро ГУЕМНИЙ

РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕПЛОВИМ РЕЖИМОМ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ 179

Богдан ТОРІШНИЙ

ЗОНАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТА ХМАРНЕ СПОВІЩЕННЯ В СИСТЕМІ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ НА БАЗІ ESP32 182

Денис ВІВЧАР

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ СТАНУ НЕМОВЛЯТ 187

Артем МІСЬКІВ, Аліна ДАВЛЕТОВА

МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА ЗБОРУ ДАНИХ ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ВОДОЙМ 190

Сергій КУЛИНА

КІБЕРБЕЗПЕКА ТА ТЕХНІЧНИЙ ЗАХИСТ ПРОМИСЛОВОСТІ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ 194

Петро ГУМЕННИЙ

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМ, КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ 196

Богдан КОВБАС

КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА 201
БАЗІ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Андрій СЕГІН, Юрій ЛЕНЬ

СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ ДОСТУПОМ ЖИТЕЛІВ 204
ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

Ігор БЕТЛЕЙ, Василь ГАЛАСІС, Ольга РОМАНКО, Володимир ПСУЙ

МОНІТОРИНГОВІ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ СЕНСОРІВ ІОТ ДЛЯ 210
АВТОНОМНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО ТА ПРОМИСЛОВОГО КОНТРОЛЮ

Людмила ЯЦИНА, Марія РУДА

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ РІДИН 214
ТА ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ СЕНСОРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Богдана ФРАНАСЮК, Вікторія САВЧЕНКО

ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 219
ЄДНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ: ТРАДИЦІЙНІ ТА АЛЬТЕРНАТИВНІ
МЕТОДИ ПЕРЕДАЧІ ОДИНИЦЬ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Денис ТУЖЕЛЯК, Мар'ян ЧАЙКІВСЬКИЙ

ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЛІНІЙ 224
ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ

2

227

1

Владислав БЛИК, Петро ГУМЕННИЙ

Західноукраїнський національний університет

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Вступ. Упродовж останніх десятиліть автомобільний транспорт трансформувався від переважно механічних систем до складних кіберфізичних комплексів, у яких ключові функції реалізуються засобами електроніки та програмного забезпечення. Сучасні транспортні засоби містять численні електронні блоки керування, об'єднані цифровими мережами обміну даними, що забезпечує реалізацію концепції Connected Car та інтеграцію автомобіля в глобальне інформаційне середовище.

Зростання рівня цифровізації сприяє розширенню можливостей моніторингу та керування транспортними засобами, проте водночас ускладнює процеси технічної діагностики. Значна частина несправностей пов'язана з відмовами сенсорів, електронних модулів, програмного забезпечення та комунікаційних мереж. У зв'язку з цим актуальним є створення інтелектуальних інформаційно-вимірювальних систем, здатних автоматично збирати й аналізувати експлуатаційні дані, виявляти аномалії та формувати попереджувальні повідомлення.

Використання сучасних методів оброблення даних, технологій дистанційного моніторингу та алгоритмів аналізу технічного стану дає змогу підвищити надійність і безпеку експлуатації транспортних засобів, скоротити витрати на їх обслуговування та зменшити ризик виникнення аварійних ситуацій. Тому актуальною задачею є розроблення інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортних засобів для підвищення ефективності їх експлуатації.

Мета: Розробка інтелектуальної інформаційно-вимірювальної системи діагностування транспортних засобів, призначеної для автоматизованого зчитування експлуатаційних параметрів автомобіля, оцінювання його технічного стану, своєчасного виявлення несправностей та формування інформативних повідомлень для користувача.

1. Основна частина

Сучасний автомобіль є складною технічною системою, що об'єднує десятки електронних вузлів, механічних агрегатів та гідравлічних контурів. Забезпечення їхнього безперебійного функціонування є одним із ключових завдань технічного обслуговування транспортного засобу. Традиційна діагностика, яка здійснюється виключно в умовах сервісного центру, має суттєвий недолік – вона є дискретною, тобто фіксує стан автомобіля лише в момент підключення діагностичного обладнання.

Система дистанційної діагностики транспортного засобу (Remote Vehicle Diagnostics System, RVDS) – це апаратно-програмний комплекс, інтегрований безпосередньо в транспортний засіб, який забезпечує безперервний моніторинг

технічного стану його основних вузлів і агрегатів, збір діагностичних даних у режимі реального часу та їх дистанційну передачу до центру обробки інформації через сучасні телекомунікаційні мережі. Використання таких систем дозволяє оперативно контролювати параметри роботи автомобіля, своєчасно виявляти потенційні несправності та здійснювати прогнозування технічного стану транспортного засобу [1].

Концепція розробленої системи базується на трирівневій архітектурі, що представлена на схемі рисунку 1.

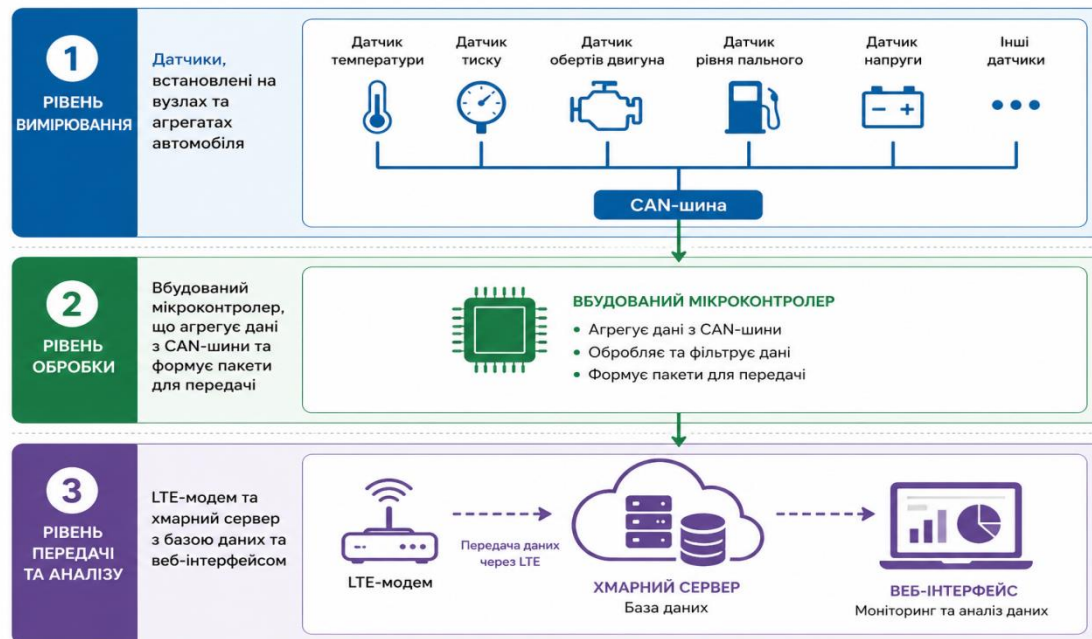


Рисунок 1- Трирівнева модель дистанційної діагностики транспортних засобів

Такий підхід забезпечує розподіл функцій між окремими рівнями системи та підвищує її масштабованість, надійність і гнучкість. Перший рівень утворюють сенсорні вузли та штатні бортові датчики автомобіля, які здійснюють вимірювання параметрів роботи двигуна, електричної системи, трансмісії, систем безпеки та інших підсистем транспортного засобу. Отримані дані надходять до мікроконтролерного модуля збору та попередньої обробки інформації.

Другий рівень представлений комунікаційним модулем, який виконує функції агрегування діагностичних даних, їх локального аналізу та передачі на віддалений сервер через мережу мобільного зв'язку стандарту LTE. Застосування бездротових каналів зв'язку забезпечує можливість функціонування системи незалежно від місцезнаходження транспортного засобу та дозволяє здійснювати моніторинг у режимі реального часу.

Третій рівень складається з серверної інфраструктури та програмних засобів оброблення даних. На цьому рівні виконується накопичення, зберігання та аналіз отриманої телеметричної інформації, виявлення аномалій у роботі транспортного засобу, формування звітів і попереджень для користувачів або сервісного персоналу. Крім того, сервер може реалізовувати алгоритми прогнозування діагностики, які дозволяють оцінювати ймовірність виникнення відмов ще до їх фактичної появи.

На рисунку 2 зображена архітектурна модель автомобіля з нанесеними блоками датчиків, напрямками потоків даних по CAN-шині до центрального мікроконтролера та каналом бездротової передачі через LTE-модем. Подана на рисунку система є багаторівневою телематичною архітектурою дистанційної діагностики транспортного засобу, у якій реалізовано повний цикл збору, обробки, передачі та інтерпретації експлуатаційних параметрів у реальному часі [3].

На нижньому рівні функціонують первинні вимірювальні елементи – датчики, інтегровані у ключові підсистеми автомобіля. До них належать сенсори:

- температури охолоджувальної рідини;
- положення колінчастого вала, кисню (O_2);
- масової витрати повітря (MAF);
- швидкості обертання коліс (ABS);
- тиску в шинах (TPMS);
- тиску мастила;
- рівня палива;
- положення керма (SAS);
- інерціальні вимірювальні модулі (IMU).

Ці компоненти здійснюють безперервне перетворення фізичних величин у електричні сигнали (аналогові або цифрові), що відображають фактичний стан вузлів і агрегатів.

Отримані сигнали надходять до електронного блоку керування двигуном (ECU) та інших спеціалізованих контролерів через внутрішні інтерфейси, зокрема CAN-шину, яка виконує роль магістрального каналу обміну даними в автомобілі. ECU виконує первинну агрегацію, нормалізацію та інтерпретацію параметрів, формуючи стандартизовані діагностичні змінні (PID) та коди несправностей (DTC) [4].

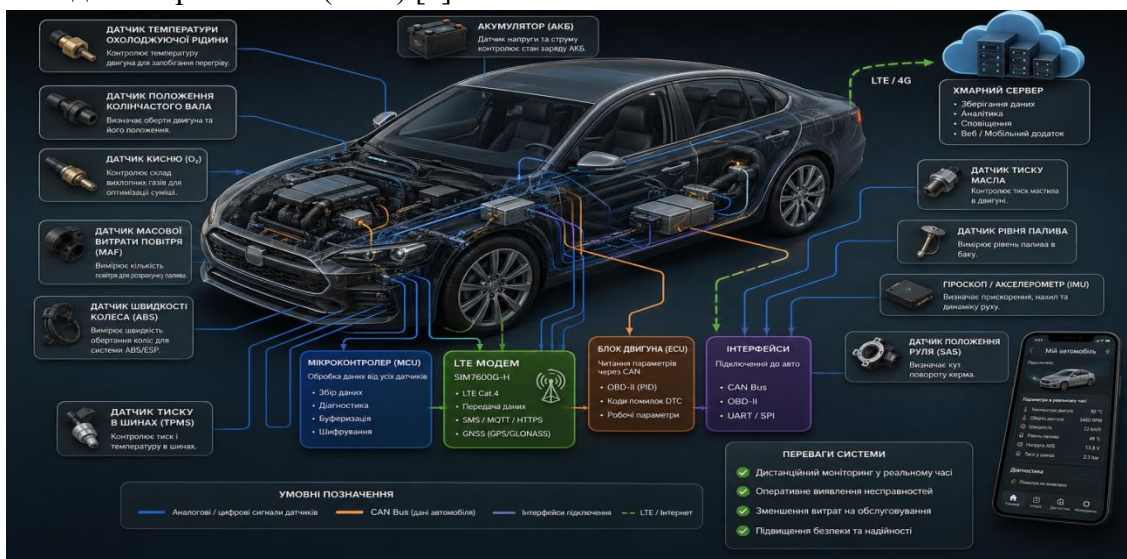


Рисунок 2- Функціональна системи дистанційної діагностики транспортного засобу

Наступним етапом є передача даних до центрального мікроконтролера (MCU), який виконує функції вторинної обробки. На цьому рівні

реалізується фільтрація шумів, часове узгодження сигналів, буферизація потоків даних та їх підготовка до передачі. Крім того, MCU може виконувати локальну діагностику, виявляючи аномалії на основі заданих порогових значень або алгоритмів аналізу.

Після обробки інформація надходить до LTE-модему (наприклад, SIM7600), який забезпечує бездротову передачу даних через мережу мобільного зв'язку стандарту 4G. Передача може здійснюватися за допомогою протоколів прикладного рівня, таких як MQTT або HTTPS, що гарантує надійність і безпечність обміну.

На верхньому рівні знаходиться хмарна інфраструктура, яка виконує функції централізованого зберігання, аналітики та візуалізації. Отримані дані агрегуються у базах даних, обробляються аналітичними сервісами та використовуються для побудови діагностичних висновків, прогнозування відмов і формування сповіщень. Кінцевий користувач взаємодіє із системою через веб-інтерфейс або мобільний додаток, отримуючи доступ до параметрів автомобіля в режимі реального часу.

Таким чином, принцип роботи системи базується на ієрархічній обробці даних із розподілом функцій між сенсорним рівнем, рівнем вбудованої обробки та хмарною платформою, що забезпечує масштабованість, оперативність діагностики та можливість інтеграції з сучасними інтелектуальними транспортними системами.

Центральним обчислювальним ядром бортового діагностичного модуля виступає мікроконтролер STM32F407VGT6 виробництва STMicroelectronics, який належить до високопродуктивної серії STM32F4, побудованої на архітектурі ARM Cortex-M4 з апаратною підтримкою операцій із плаваючою комою (FPU). Застосування даного мікроконтролера у складі системи дистанційної діагностики обумовлене його здатністю ефективно обробляти великі потоки телеметричних даних у реальному часі при збереженні помірного енергоспоживання, що є критично важливим для автомобільних вбудованих систем [5].

Представлена на рисунку 3 розроблена принципова електрична схема, що реалізує інформаційно-вимірювальний стенд для діагностики транспортного засобу, що поєднує автомобільний інтерфейс, мікроконтролерну обробку та бездротову передачу даних.

Структурно схема складається з кількох функціонально завершених вузлів:

- інтерфейсу OBD-II;
- модуля обробки даних на базі мікроконтролера;
- комунікаційного LTE-модуля;
- підсистеми живлення;
- додаткових сенсорів;
- допоміжних інтерфейсів.

Додатково реалізовано вузол індикації на основі світлодіодів, що дозволяє візуально контролювати стан живлення, мережевого підключення та передачі даних. Сервісні інтерфейси, зокрема USB-UART та SWD, використовуються для налагодження, програмування та діагностики мікроконтролера [2].

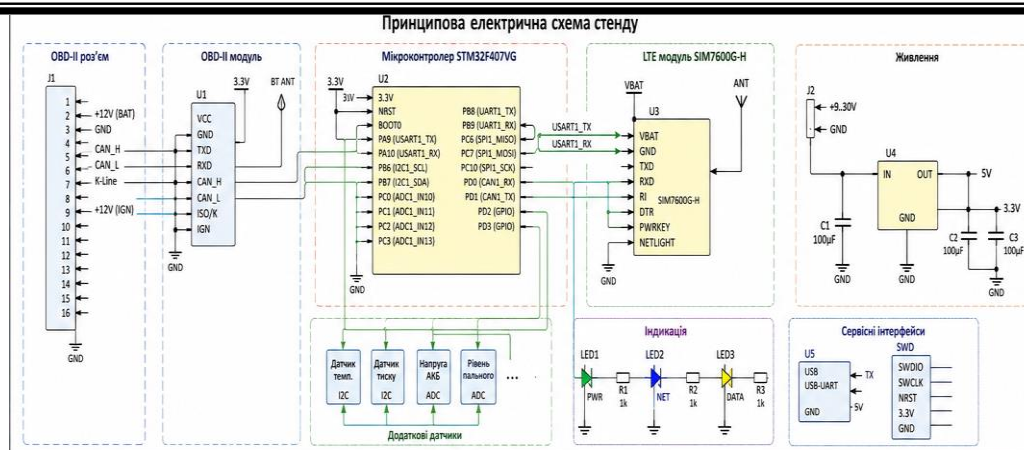


Рисунок 3.- Принципова схема інформаційно-вимірювальної системи діагностики транспортного засобу

Таким чином, схема забезпечує повний цикл обробки інформації – від отримання даних з автомобіля та сенсорів до їх передачі у віддалену систему моніторингу.

Висновок. Результати роботи підтверджують доцільність використання комплексного підходу до проектування інформаційно-вимірювальних систем дистанційної діагностики транспортних засобів, що поєднує аналітичні методи дослідження, формалізоване моделювання та комп'ютерну імітацію. Отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення систем діагностики, підвищення їхньої точності, надійності та адаптивності до сучасних вимог автомобільної індустрії.

Перелік використаних джерел.

1. Мошинська А., Хрокало О. Remote Vehicle Diagnostic System Development Based on the Internet of Things Technology. Information and Telecommunication Sciences. – 2024. – Т. 15, № 1. – С. 28–32. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12024.28-32>
2. Рибицький О., Голян В., Голян Н. Використання технології OBD-2 для діагностики транспортних засобів та її застосування в інформаційних системах. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2023. – № 1. – С. 97–103. <https://doi.org/10.20998/2079-0023.2023.01.15>
3. Рибицький О., Голян В. Інтелектуальна діагностика автомобілів з використанням штучного інтелекту. Вісник Хмельницького національного університету. – 2025. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-56>
4. Dzelendzyak U., Fedyniak I., Dziuba Y. System of Remote Control and Management of Vehicle Functions. Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production. – 2024. – Т. 6, № 2. – С. 44–50. <https://doi.org/10.23939/csn2024.02.044>
5. Hnatov A., Arhun S., Ulianets O., Ivanov D. Diagnostics of Electric Vehicles Using OBD-II: Principles, Capabilities, and Prospects / // Avtomobil'nyj Transport (Kharkiv). – 2025. – Vol. 56. – P. 5–12. <https://doi.org/10.30977/at.2219-8342.2025.56.0.01>