

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

Кафедра інформаційних технологій в телекомунікаціях

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

Марія СКУЛИШ

«_____» _____ 2025 р

**ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Інформаційно-комунікаційні
технології»
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка**

на тему: Модифікована інфокомунікаційна система моніторингу автобусного парку.

Виконала: здобувачка вищої освіти 4 курсу, групи ТІ-11

Богдан Анастасія Сергіївна _____

Науковий керівник: старший викладач кафедри ІТТ НН ІТС

Курдеча Василь Васильович _____

Рецензент: перший заступник директора НН ІТС

кандидат технічних наук Авдєєнко Гліб Леонідович _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Здобувач вищої освіти _____

Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

Кафедра інформаційних технологій в телекомунікаціях

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Освітньо-професійна програма «Інформаційно-комунікаційні технології»
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Марія СКУЛИШ
«_____» _____ 2025 р

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студентці

Богдан Анастасії Сергіївні

1. Тема дипломної роботи: Модифікована інфокомунікаційна система моніторингу автобусного парку, науковий керівник роботи старший викладач кафедри ІТТ Курдеча Василь Васильович, затверджені наказом по університету від 26.05.2025 р. №1755-с.
2. Строк подання студентом дипломної роботи 06.06.2025 р.
3. Об'єкт дослідження: моніторинг та передача даних у транспортних системах моніторингу.
4. Вихідні дані до роботи: архітектура інфокомунікаційної системи моніторингу автопарку.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Проаналізувати особливості існуючих систем моніторингу автопарку. Дослідити проблеми нестабільного зв'язку, збоїв та затримок передачі даних інфокомунікаційних систем транспорту. Модифікувати інфокомунікаційну систему моніторингу автобусного парку. Оцінити ефективність запроваджених у системі рішень.

6. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація – 23 слайди.

7. Дата видачі завдання: 10.10.2024 р

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Узгодження організаційних питань з науковим керівником	10.09.24-13.09.24	Виконано
2	Узгодження теми роботи та початок роботи над першим розділом	14.09.24-16.09.24	Виконано
3	Робота над першим розділом.	16.09.24-12.11.24	Виконано
4	Робота над другим розділом. Планування розробки власного рішення	13.11.24-03.01.25	Виконано
5	Розробка власного рішення та його Перевірка	04.01.25-15.02.25	Виконано
6	Робота над третім розділом. Оцінка ефективності рішення.	16.02.25-15.03.25	Виконано
7	Робота над четвертим розділом. Формування рекомендацій.	16.03.25-04.04.25	Виконано
8	Висновки про ефективність рішення	05.04.25-12.04.25	Виконано
9	Оформлення дипломної роботи	13.04.25-07.05.25	Виконано
10	Підготовка презентації до захисту	08.05.25-16.05.25	Виконано
11	Захист дипломної роботи	16.06.25-20.06.25	Виконано

Здобувачка вищої освіти _____ Анастасія БОГДАН

Науковий керівник роботи _____ Василь КУРДЕЧА

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить 76 сторінок, 29 рисунків та 8 таблиць, а також використовує 30 джерел.

Актуальність теми: На даний час існує постійно зростаюча потреба в ефективному та безперебійному моніторингу транспортних засобів. Зараз існують значні затримки в оновленні GPS-даних, що ускладнює контроль за рухом транспорту. Водночас стрімке зростання кількості IoT-пристроїв у транспортній сфері свідчить про необхідність модернізації систем моніторингу для забезпечення стабільного зв'язку та ефективного управління автопарком.

Метою роботи є підвищення ефективності моніторингу транспортних засобів автобусного парку за рахунок удосконалення архітектури системи моніторингу.

Критерії оцінки ефективності моніторингу: точність та безперервність збору інформації.

Об'єктом дослідження є моніторинг та передача даних у транспортних системах.

Предметом дослідження є інфокомунікаційна система моніторингу автобусного парку.

Методами дослідження є експериментальне дослідження, яке включає проведення власних вимірювань затримок оновлення GPS-даних у реальному часі для виявлення недоліків існуючих систем моніторингу. Також модифіковано інфокомунікаційну систему моніторингу автопарку, що відрізняється застосуванням Wi-Fi, LTE, Starlink з'єднання з GPS-трекерами та системами відеоспостереження, що покращує безперервність зв'язку та точність передачі даних.

Запропонована система дозволяє автоматизувати процес збору й аналізу GPS-даних, забезпечити безперервність зв'язку, мінімізувати вплив затримок та покращити точність контролю руху транспорту. За результатами досліджень

встановлено, що новий підхід сприяє виявленню критичних зон втрати зв'язку, підвищує ефективність управління автопарком, а також знижує навантаження на системні ресурси.

Ключові слова: МОНІТОРИНГ, ТРАНСПОРТ, GPS-ДАНІ, ЗАТРИМКИ, ІОТ-ПРИСТРОЇ, ЗВ'ЯЗОК.

ABSTRACT

The diploma thesis contains 76 pages, 29 figures, and 8 tables and references 30 sources.

Relevance of the topic: Currently, there is a steadily growing need for efficient and uninterrupted vehicle monitoring. Significant delays in GPS data updates hinder effective traffic control. At the same time, the rapid increase in the number of IoT devices in the transportation sector emphasizes the necessity to modernize monitoring systems in order to ensure stable connectivity and efficient fleet management.

The objective of this work is to improve the efficiency of monitoring public transport vehicles by enhancing the architecture of the monitoring system.

The object of the study includes transport monitoring and data transmission systems.

The subject of the study is the information and communication monitoring system of a bus fleet.

The research methods include experimental studies, which involve conducting real-time measurements of GPS data delays to identify the shortcomings of existing monitoring systems. In addition, the information and communication system was modified by integrating Wi-Fi, LTE, and Starlink connections with GPS trackers and video surveillance systems. This improves data transmission accuracy and ensures continuous connectivity. The proposed system automates the process of collecting and analyzing GPS data, ensures uninterrupted connectivity, minimizes the impact of delays, and improves the accuracy of transport monitoring. The results of the study show that the proposed approach allows the identification of critical communication loss areas, increases the efficiency of fleet management, and reduces system resource consumption.

Keywords: MONITORING, TRANSPORT, GPS DATA, DELAYS, IoT DEVICES, CONNECTION

ЗМІСТ

СПИСОК ТЕРМІНІВ І СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ І ПРОБЛЕМ У МОНІТОРИНГУ ..	13
1.1 Сучасні тенденції в сфері моніторингу транспорту	13
1.2 Проблеми нестабільного зв'язку під час руху автобуса	15
1.3 Збої та обмеження в роботі GPS-трекерів.....	17
1.4 Відеоспостереження та затримки у відеопотоках	18
1.5 Відсутність загального сервера обробки даних.....	20
1.6 Технічні обмеження існуючих рішень	21
Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2. МОДИФІКАЦІЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АВТОБУСНОГО ПАРКУ	24
2.1 Модифікована система зв'язку.....	24
2.2 Модифікована система моніторингу	41
2.3 Компоненти, що взаємодіють у системі	42
2.3 Застосування ІОТ-пристроїв у автобусі.....	46
2.6. Робота обладнання в реальних умовах	50
Висновки до розділу 2	51
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ.....	53
3.1 Критерії оцінки ефективності.....	53
3.2 Порівняння результатів до та після модифікації.....	56
Висновки до розділу 3	65

РОЗДІЛ 4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО МОНІТОРИНГУ АВТОПАРКУ	67
4.1 Технічні рекомендації щодо побудови архітектури системи	67
4.2 Рекомендації щодо вибору та підключення датчиків	68
4.3 Рекомендації щодо експлуатації системи моніторингу	68
4.5 Рекомендації щодо подальшого розвитку системи	69
Висновки до розділу 4	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	71
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	73

СПИСОК ТЕРМІНІВ І СКОРОЧЕНЬ

ІКС – інфокомунікаційна система

GPS — Global Positioning System, глобальна система позиціонування

Wi-Fi — Wireless Fidelity — технологія бездротової локальної мережі

LTE — Long-Term Evolution, технологія мобільного зв'язку 4G

IoT — Internet of Things, Інтернет речей

CAN — Controller Area Network, промислова шина передачі даних у транспортних засобах

V2V — Vehicle-to-Vehicle, технологія бездротового обміну даними між транспортними засобами

Galileo — європейська глобальна навігаційна супутникова система

GSM — Global System for Mobile Communications — глобальний стандарт цифрового стільникового зв'язку

USSD — Unstructured Supplementary Service Data — протокол обміну повідомленнями між мобільним пристроєм і оператором стільникового зв'язку

Starlink — глобальна супутникова система зв'язку

CPU — Central Processing Unit — центральний процесор, основний обчислювальний елемент комп'ютера або мікроконтролера

RAM — Random Access Memory — оперативна пам'ять

SSD — Solid State Drive— твердотільний накопичувач для зберігання системних даних

eMMC — embedded MultiMediaCard — вбудований флеш-накопичувач

USB — Universal Serial Bus — універсальна послідовна шина для підключення пристроїв

GPIO — General Purpose Input/Output — універсальні порти введення/виведення

BeiDou — китайська глобальна навігаційна супутникова система

NMEA 0183 — National Marine Electronics Association 0183 — стандарт комунікаційного протоколу

RSSI — Received Signal Strength Indicator — індикатор рівня прийнятого радіосигналу

SNR — Signal-to-Noise Ratio — співвідношення сигнал/шум

Ping — RTT, Round Trip Time — середній час затримки між передачею запиту і отриманням відповіді у мережі

PoE — Power over Ethernet— технологія живлення пристроїв

DVR — Digital Video Recorder — цифровий відеореєстратор для запису та зберігання відео

ALPHASMS — система розсилки SMS-повідомлень

LED — Light Emitting Diode display — електронне інформаційне табло

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку транспортної галузі та зростаючих вимог до якості пасажирських перевезень особливого значення набуває впровадження інноваційних інфокомунікаційних систем моніторингу транспортних засобів. Системи моніторингу автобусного парку сьогодні виконують не лише функцію відстеження місцезнаходження транспорту, а й слугують інструментом для оперативного управління перевезеннями, підвищення безпеки руху, оптимізації маршрутів та контролю технічного стану автопарку.

Проте, аналіз існуючих рішень показує, що ряд актуальних проблем і досі залишаються невирішеними. У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення архітектури системи моніторингу автобусного парку за рахунок використання сучасних технологій Інтернету речей (IoT), супутникового зв'язку Starlink, мобільних мереж LTE та локальних мереж Wi-Fi у поєднанні з GPS-трекерами та системами відеоспостереження. Це дозволяє забезпечити більш високу точність і безперервність збору інформації, що є ключовими критеріями ефективності моніторингу транспортних засобів.

Метою роботи є підвищення ефективності моніторингу транспортних засобів автобусного парку за рахунок удосконалення архітектури системи моніторингу. Критерії оцінки ефективності моніторингу: точність та безперервність збору інформації.

Об'єктом дослідження є моніторинг та передача даних у транспортних системах.

Предметом дослідження є інфокомунікаційна система моніторингу автобусного парку.

Методами дослідження є експериментальне дослідження, яке включає проведення власних вимірювань затримок оновлення GPS-даних у реальному

часі для виявлення недоліків існуючих систем моніторингу. Також модифіковано інфокомунікаційну систему моніторингу автопарку, що відрізняється застосуванням Wi-Fi, LTE, Starlink з'єднання з GPS-трекерами та системами відеоспостереження, що покращує безперервність зв'язку та точність передачі даних.

Наукова новизна — модифіковано інфокомунікаційну систему моніторингу автопарку, яка відрізняється застосуванням Wi-Fi, LTE, Starlink з'єднання з GPS-трекерами та системами відеоспостереження, що покращує безперервність зв'язку та точність передачі даних.

Практична цінність — запропоноване рішення може бути застосоване в компаніях автобусних перевезень для ефективного управління автобусним парком за рахунок зменшення затримок у передачі даних, покращення точності моніторингу транспорту.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ І ПРОБЛЕМ У МОНІТОРИНГУ

1.1 Сучасні тенденції в сфері моніторингу транспорту

У сучасному світі транспортна галузь дуже стрімко розвивається, таким чином системи моніторингу стають не просто допоміжним сервісом, а ключовим елементом управління автобусним парком та рейсами. Проте, існуючі системи мають дуже багато недоліків, які часто перешкоджають роботі – а саме контролю місцезнаходження автобусів, моніторингу технічного стану транспорту, взаємодії між пасажирями, диспетчерами та водіями, тобто в загальному ефективності виконання регулярних рейсів.

Саме на фоні цього спостерігається активне впровадження нових технологій, зокрема IoT-пристроїв, телематичних модулів, систем відеонагляду та автоматичного підрахунку пасажирів, супутникових комунікацій. Кількість підключених пристроїв, що взаємодіють у системі, постійно зростає. Як показано на гістрограмі (рис. 1.1), лише за останні п'ять років кількість IoT-модулів у автобусному транспорті зросла у кілька разів. Це свідчить про високий попит на системи контролю нового покоління. Водночас стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій відкриває нові можливості для комплексного управління транспортними процесами: від глибокої аналітики роботи автопарку до підвищення рівня сервісу для пасажирів. Сучасні інфокомунікаційні системи дозволяють не лише оперативно відстежувати стан кожної одиниці транспорту в реальному часі, а й забезпечують інтеграцію з фінансовими, логістичними та адміністративними модулями підприємства. Інтернет речей значно прискорює темпи інновацій у сфері місцевого транспорту та забезпечує реальні практичні рішення [3], [12].

У таких умовах впровадження модифікованих рішень стає важливим чинником підвищення конкурентоспроможності транспортних компаній та ефективності їхньої діяльності.

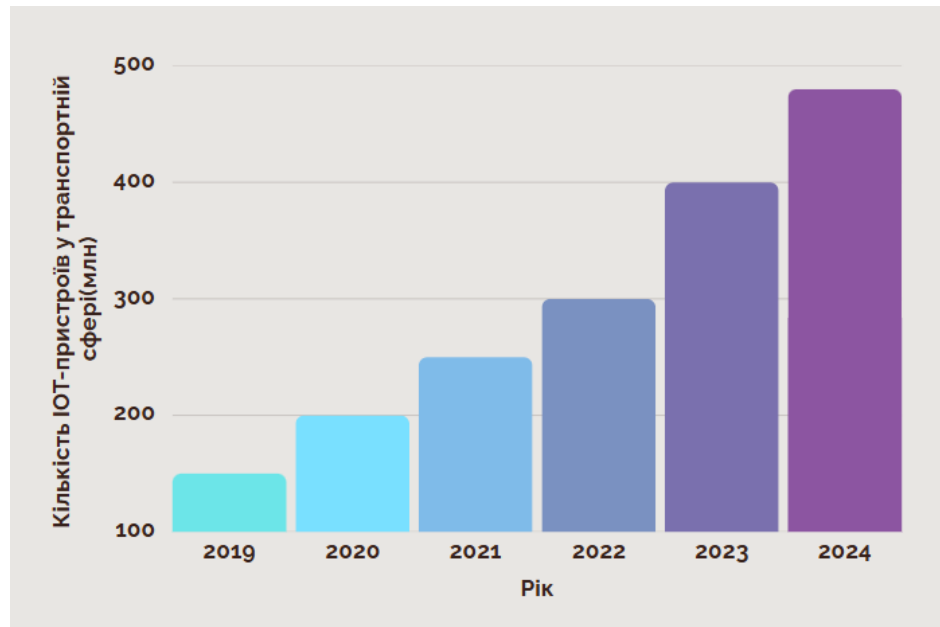


Рис. 1.1 Гістограма, що показує збільшення кількості IoT-пристроїв у транспортній сфері.

Знову ж таки, як показує аналіз реальних даних моніторингу (рис. 1.2), сучасні системи досить часто стикаються з серйозними труднощами: значні затримки в оновленні GPS-координат, збої в роботі трекерів, втрата зв'язку під час руху, затримки у передачі відеопотоків або в загальному - відсутність цілісної картини для диспетчера. Це підтверджується графіком затримок GPS-даних на реальному регулярному рейсі Київ–Володимирець, де фіксувалися системні затримки до 20 хвилин, що не дозволяє диспетчеру швидко реагувати в разі непередбачуваних ситуацій та безперебійно отримувати дані про стан автобуса.



Рис 1.2 Графік затримок GPS-даних автобуса в системі моніторингу на прикладі рейсу Київ-Володимирець 09:45 26.03.2025

Таким чином, функціональність систем моніторингу часто виявляється недостатньою для комплексного контролю за автобусами. В реальних умовах експлуатації вони демонструють ряд обмежень, які ускладнюють ефективне управління рейсами, знижують якість обслуговування пасажирів і не забезпечують стабільного збирання та передачі даних. Це вимагає детального аналізу основних проблем, з якими стикаються транспортні компанії при впровадженні таких рішень, що й буде розглянуто у наступних підпунктах.

1.2 Проблеми нестабільного зв'язку під час руху автобуса

Однією з найпоширеніших і найважливіших проблем, з якою стикаються транспортні компанії, є нестабільність зв'язку в системах моніторингу під час руху автобусів. Особливо це відчутно на міжнародних маршрутах, в умовах постійної зміни місцезнаходження, де якість мобільного покриття часто бажає кращого або взагалі відсутня. Проблема посилюється тим, що більшість систем

моніторингу покладається лише на один тип зв'язку — стільникову мережу (2G/3G/4G), яка не гарантує однакової якості сигналу на всій протяжності маршруту.

LTE (Long Term Evolution) — це базова технологія мобільного зв'язку, що за технічними характеристиками відповідає початковому рівню четвертого покоління (іноді також називається «псевдо-4G»). Вона забезпечує середню швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с, що є достатнім для виконання базових задач: надсилання координат GPS, передача показників з датчиків (температура, тиск, паливо), а також текстових повідомлень від водія до диспетчерського центру. Завдяки невеликій енергоспоживанню LTE добре підходить для роботи з бортовими IoT-пристроями. Водночас її пропускна здатність обмежена у випадках одночасної передачі відео або високочастотних оновлень телеметрії. У щільно забудованих районах або при великій кількості одночасних підключень можливе зростання затримок і зниження стабільності з'єднання [13], [20].

4G, як повноцінний стандарт мобільного зв'язку четвертого покоління (у версії LTE-Advanced), значно розширює можливості транспортної системи. Типова швидкість передачі даних сягає 150–300 Мбіт/с, що дозволяє у режимі реального часу передавати не лише текстову або табличну інформацію, а й відеопотоки з камер спостереження, аналітичні звіти, фотографії порушень, а також забезпечити доступ пасажирів до Wi-Fi з'єднання без істотних затримок. Завдяки ширшому діапазону частот та кращому покриттю, 4G дозволяє автобусу залишатися в мережі навіть під час руху з високою швидкістю, що особливо важливо для міжміських маршрутів. Крім того, 4G дозволяє зменшити навантаження на центральні сервери, передаючи частину обробки даних на бортовий комп'ютер у транспорті.

5G — це найновіший стандарт мобільного зв'язку, який поступово впроваджується в Україні та відкриває принципово нові можливості для транспортної галузі. Теоретична швидкість передачі даних може перевищувати 1

Гбіт/с, а затримка сигналу скорочується до одиниць мілісекунд. Це створює передумови для реалізації таких технологій, як інтелектуальна обробка відео в реальному часі, інтеграція з міською інфраструктурою “Smart City”, а також прямий зв’язок з іншими транспортними засобами (V2V, Vehicle-to-Vehicle). У межах автобусного моніторингу 5G дозволяє впроваджувати системи передбачення поломок, адаптивного планування маршрутів, автоматичного реагування на загрози тощо. Однак на сьогодні ця технологія ще не має повноцінного покриття по всій території України, і тому вона розглядається як перспективне, але допоміжне рішення у межах мультиканальної системи зв’язку.

При переході з однієї базової станції до іншої або при вході в "мертву зону" з’єднання переривається, і передача даних або припиняється повністю, або відбувається з багатохвилинними затримками. Також спостерігається проблема неузгодженості каналів зв’язку: частина систем не підтримує резервні протоколи або не має автоматичного перемикання на альтернативні канали, наприклад, Wi-Fi в депо або супутниковий зв’язок у віддалених районах. Через це диспетчерський контроль фактично втрачається саме тоді, коли він найбільше потрібен. У підсумку, нестабільність каналу зв’язку під час руху автобуса є критичною проблемою для ефективної роботи систем моніторингу. Вона потребує впровадження гнучкіших, багатоканальних рішень, здатних забезпечити безперервну передачу даних незалежно від умов покриття чи маршруту.

1.3 Збої та обмеження в роботі GPS-трекерів

GPS-трекери є одним із базових компонентів більшості систем моніторингу транспорту. Їх основна функція — передача координат транспортного засобу в реальному часі через мобільну мережу. Незважаючи на широке впровадження, на практиці їх робота часто супроводжується низкою обмежень, які знижують ефективність усього комплексу моніторингу.

Однією з ключових проблем є затримки в оновленні координат. Часто GPS-трекери працюють з фіксованою частотою оновлення (наприклад, 30 або 60 секунд), що може бути недостатнім у разі аварійної ситуації або швидкої зміни маршруту. У критичних ситуаціях диспетчер отримує координати із запізненням, що унеможливорює оперативне реагування. Ще одним поширеним обмеженням є відсутність локальної буферизації. У випадку втрати зв'язку з мережею дані про переміщення просто не передаються або безповоротно втрачаються. Це призводить до появи “провалів” у маршрутних звітах і знижує достовірність історії руху. У кращому випадку трекер надсилає лише останню точку після відновлення з'єднання, без проміжної траєкторії. Також багато бюджетних GPS-трекерів не мають підтримки супутникових альтернатив (Galileo) та працюють лише з GPS. У містах з щільною забудовою або в гірських районах це часто призводить до спотворення координат або повної втрати сигналу. Крім того, деякі моделі демонструють низьку точність фіксації положення — похибка може перевищувати 10–15 метрів, що є критичним для зупинок або вузьких вулиць. Окремою проблемою є обмеженість функціоналу: GPS-трекери здебільшого не збирають інші важливі параметри, як-от технічний стан автобуса, стан дверей, температура в салоні, тощо. Вони не передбачають глибокої інтеграції з системою відеоспостереження чи пасажирським інтерфейсом, і не мають логіки перемикання зв'язку або адаптації до середовища [4].

У висновку, застосування GPS-трекерів у класичному вигляді є виправданим лише для базових задач відстеження маршруту. Для повноцінного контролю, який вимагає стабільної передачі, мультиканального зв'язку, інтеграції з іншими підсистемами та високої точності — їх функціоналу недостатньо.

1.4 Відеоспостереження та затримки у відеопотоках

Системи відеоспостереження вже давно стали важливою частиною інфраструктури громадського транспорту. Вони забезпечують візуальний

контроль за ситуацією в салоні, допомагають у розслідуванні конфліктів, фіксують нештатні події та підвищують рівень безпеки пасажирів (рис 1.3). Проте на практиці реалізація відеоспостереження в автобусах часто супроводжується серйозними технічними труднощами — насамперед затримками у відеопотоках та нестабільністю передачі зображення в режимі реального часу. Однією з головних причин затримок є обмежена пропускна здатність мобільних мереж. Передача потокового відео вимагає стабільного каналу зв'язку з мінімальною затримкою та достатньою швидкістю. У реальних умовах руху, особливо в зонах зі слабким покриттям або високим навантаженням на мережу, якість відео різко погіршується або потік повністю обривається. У таких ситуаціях диспетчер не може оперативно переглянути відео в момент події, що зводить нанівець саму ідею віддаленого моніторингу.



Рис 1.3. Кадри з камер відеоспостереження, передані у реальному часі.

Ще одна проблема полягає у відсутності адаптивної компресії. Багато систем використовують фіксований бітрейт для відео, незалежно від якості каналу. Внаслідок цього зображення або надсилається з великою затримкою, або спотворюється до непридатного для аналізу стану. Деякі системи не підтримують буферизацію подій — у разі розриву зв'язку відео не зберігається, а втрачається

повністю. Також поширеною практикою є локальний запис відео на накопичувач у салоні автобуса. Це частково вирішує проблему втрати даних, проте створює іншу — відсутність можливості швидкого віддаленого перегляду. У разі інциденту диспетчер не має змоги оперативно оцінити ситуацію і змушений чекати фізичного повернення автобуса для перегляду запису.

Крім того, система відеоспостереження майже завжди працює окремо від інших підсистем моніторингу — вона не пов'язана з координатами, тривожними подіями або системами інформування. Через це неможливо автоматично зафіксувати момент події у відео у зв'язці з GPS або тривожним сигналом від водія. Усе це свідчить про те, що традиційна модель відеоспостереження в транспорті потребує переосмислення. Щоб відео дійсно виконувало свою функцію, потрібна інтеграція з іншими системами, буферизація подій, адаптивне стиснення відео, а головне — стабільні та гнучкі канали передачі даних.

1.5 Відсутність загального сервера обробки даних

Ще однією поширеною проблемою сучасних систем моніторингу є відсутність централізованої обробки даних. У багатьох випадках компоненти системи — GPS-трекери, камери, датчики технічного стану, табло, звукові модулі — функціонують ізольовано один від одного або підключені до різних платформ і сервісів. Це ускладнює керування, унеможлиблює єдину аналітику та створює фрагментарну картину для диспетчерського контролю. Найчастіше така проблема виникає при використанні окремих комерційних рішень, кожне з яких виконує лише свою вузьку функцію: GPS-система веде маршрут, відеоспостереження пише у свій реєстратор, а телеметричні дані збираються взагалі на інший сервер. У результаті, дані з різних джерел не синхронізуються між собою за часом або подією, що значно знижує оперативність реагування. У випадках, коли серверної частини немає взагалі, а дані обробляються тільки локально (на трекері або у відеореєстраторі), диспетчер фактично втрачає доступ до повної інформації. Частина подій залишається “в середині автобуса” без

можливості дистанційного перегляду, аналізу або реагування. Така архітектура особливо вразлива у випадках аварій, непередбачених зупинок, або викликів, де необхідно бачити все — координати, відео, стан систем — в одному місці й у реальному часі. Також варто відзначити, що відсутність єдиного серверного вузла робить систему складною для масштабування. Додавання нових автобусів або модулів вимагає окремого налаштування кожного компонента, що збільшує витрати часу й ресурсів на адміністрування. Таким чином, фрагментарність архітектури без централізованої обробки даних є суттєвим недоліком сучасних систем моніторингу. Для повноцінної роботи потрібна єдина серверна платформа, яка приймає, обробляє та синхронізує всі дані з автобусів у режимі реального часу, а також забезпечує доступ диспетчерів до кожного з компонентів у межах однієї системи.

1.6 Технічні обмеження існуючих рішень

Більшість систем моніторингу, які використовуються на підприємствах пасажирського транспорту, стикаються з об'єктивними технічними обмеженнями, що суттєво впливають на їхню функціональність, надійність та адаптивність до змінних умов експлуатації. Насамперед йдеться про обмеження апаратної частини, сумісності компонентів і здатності системи працювати в реальному часі з великою кількістю пристроїв. Одним із таких обмежень є вузький функціонал окремих модулів. Наприклад, класичні GPS-трекери зазвичай обмежуються лише фіксацією координат і не підтримують обробку супутніх даних — таких як температура в салоні, напруга на акумуляторі, стан дверей чи наявність пасажирів. Це означає, що для розширення функціоналу доводиться додатково встановлювати інші модулі, які працюють паралельно, але не завжди узгоджено. Ще одна проблема — відсутність підтримки одночасної роботи з кількома інтерфейсами та протоколами. У більшості доступних систем відсутня підтримка багатоканального зв'язку (наприклад, GSM + Wi-Fi + супутник), і вони не мають алгоритмів автоматичного перемикання між

каналами. У разі втрати мобільного сигналу система просто припиняє роботу, що неприйнятно в умовах тривалого рейсу.

Також обмеження стосуються швидкості обробки даних. При великій кількості підключених пристроїв (камер, сенсорів, трекерів) типовий маршрутизатор або сервер не справляється з навантаженням, що призводить до затримок у відображенні або втрати окремих повідомлень. А це, своєю чергою, знижує ефективність диспетчерського контролю і викликає “сліпі зони” в аналітиці. Окремо варто згадати про низьку енергоефективність багатьох пристроїв. Частина модулів не розрахована на роботу в режимі постійного живлення від автобусної мережі та споживає надлишкову потужність, що особливо критично для автономного транспорту чи електробусів. Нарешті, технічне обмеження проявляється і в труднощах із масштабуванням: більшість систем не дозволяють легко додати нові вузли без повної переналаштування серверної частини або встановлення окремих компонентів для кожного автобуса. Усі ці фактори показують, що традиційні рішення не пристосовані до реальних умов масштабованого, швидкого та гнучкого моніторингу. Вони можуть виконувати лише базові функції і не відповідають вимогам до сучасної, інтегрованої транспортної системи з високим рівнем автоматизації.

У ході аналізу було встановлено, що більшість існуючих систем моніторингу транспорту мають обмежений функціонал, нестабільну передачу даних та працюють без єдиного центру обробки. Найбільш критичними залишаються проблеми зв’язку, затримки GPS та ізольованість окремих модулів. Також виявлено технічні обмеження у масштабуванні, енергоефективності та адаптації до реального навантаження. Усе це вимагає створення більш гнучкої, інтегрованої та стійкої архітектури системи моніторингу, яку буде розглянуто у наступному розділі.

Висновки до розділу 1

У результаті аналізу сучасних систем моніторингу автобусного транспорту було виявлено низку проблем і обмежень, що впливають на ефективність управління автопарком та якість транспортного обслуговування. Серед основних недоліків слід відзначити нестабільність зв'язку під час руху транспорту, збої у роботі GPS-трекерів, затримки у передачі відеопотоків і телеметричних даних, відсутність централізованої обробки інформації, а також обмежені можливості інтеграції існуючих систем. Проаналізовано тенденції розвитку інфокомунікаційних технологій у транспортній сфері, які свідчать про актуальність впровадження багатоканальних архітектур зв'язку, використання IoT-пристроїв та сучасних телематичних рішень для комплексного моніторингу технічного стану транспорту та підвищення рівня взаємодії між диспетчерськими службами, водіями та пасажирями.

Визначені проблеми та сучасні напрями розвитку стали основою для формулювання вимог до модифікованої системи моніторингу автобусного парку, що розробляється у подальших розділах дипломної роботи.

РОЗДІЛ 2

МОДИФІКАЦІЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АВТОБУСНОГО ПАРКУ

2.1 Модифікована система зв'язку.

На основі всіх попередніх досліджень та аналізу існуючих систем, представлена модифікована інфокомунікаційна система моніторингу автобусного парку, яка інтегрує декілька різних типів каналів зв'язку та забезпечує з'єднання з диспетчерським центром (рис. 2.1).

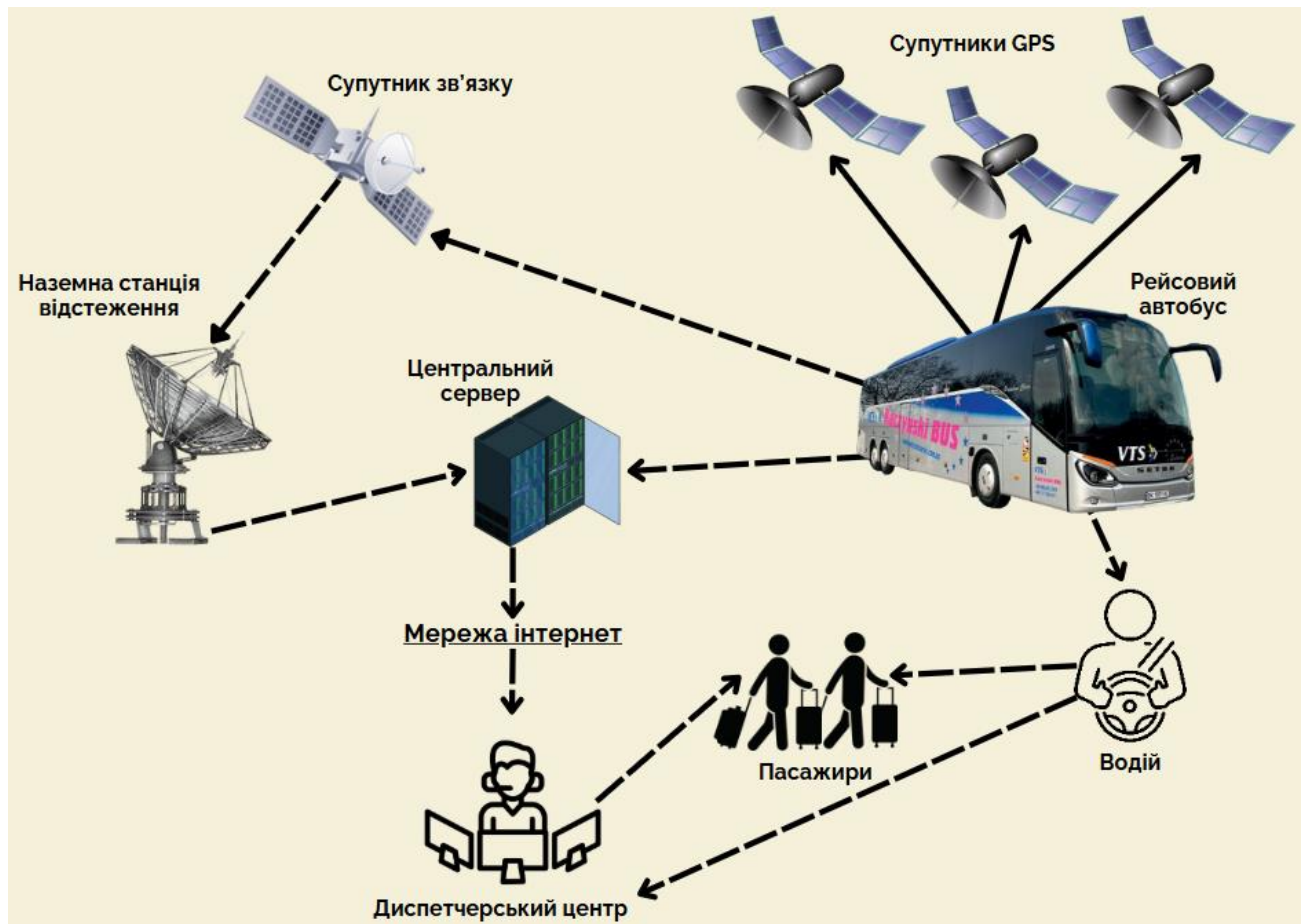


Рис 2.1 Архітектура модифікованої інфокомунікаційної системи моніторингу автобусного парку

У центрі всієї системи зображено рейсовий автобус, обладнаний різними бортовими пристроями для збору інформації, такими як GPS-трекери, ІОТ-датчики, камери відеоспостереження, тощо. Комунікація всередині системи відбувається безпосередньо від цього автобуса до центрального сервера. Після цього всі передані дані обробляються сервером та передаються до диспетчерського центру, де фактично відбувається моніторинг, аналітика та маршрутизація. Невід'ємними складовими системи також є водій та пасажир.

Водій виступає передавачем даних в обох напрямках – отримує актуальну інформацію від диспетчера, таку як повідомлення про затори, оновлення маршруту, місце посадки та висадки пасажирів, зміни у їх кількості, але натомість він також надає зворотний зв'язок про стан автобуса – різні технічні проблеми, нештатні ситуації та затримки.

Пасажири є кінцевими користувачами цієї системи, адже вони отримують актуальну інформацію про час прибуття автобуса, зміни маршрутів, затримки від диспетчерів через різні канали, такі як розсилка, мобільний зв'язок та застосунки, тому можуть коригувати свій час очікування на зупинках. Також вони користуються всіма наявними зручностями у автобусі та надають зворотний зв'язок після поїздки.

У запропонованій модифікованій інфокомунікаційній системі моніторингу автобусного парку ключову роль відіграє система зв'язку, яка забезпечує передачу даних між автобусом, супутниковими системами, центральним сервером та диспетчерським центром. Гібридна структура, яка представлена на рисунку 2.1, є головною відмінністю цієї системи від інших, адже вона включає різні канали комунікації – як внутрішні, так і зовнішні.

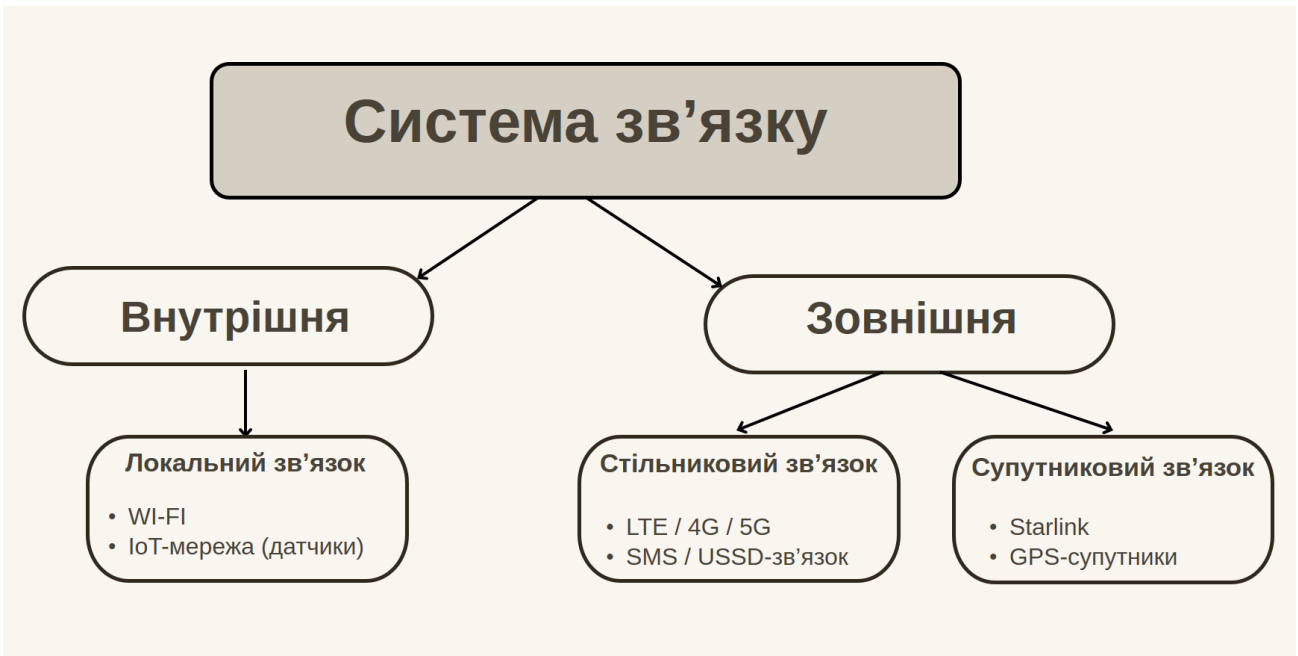


Рис 2.2 Структура системи зв'язку

Внутрішній зв'язок у транспорті

Внутрішня система зв'язку охоплює всі локальні канали передачі даних безпосередньо в межах автобуса – тобто обмін інформацією між усіма датчиками, пристроями, модулями та іншим обладнанням, яке встановлене у транспортному засобі. Така система фактично утворює єдину внутрішню мережу, яка працює автономно і дозволяє забезпечити злагоджену роботу всіх пристроїв у автобусі. Особливістю внутрішньої системи є те, що вона функціонує незалежно від зовнішніх мереж і постійно підтримує взаємодію ІОТ-мережі датчиків та локальне Wi-Fi-з'єднання, тобто водії завжди можуть відстежити рівень пального, температуру двигуна, стан дверей, присутність пасажирів по камерах, якщо це двохповерховий автобус, а також пасажирів, в свою чергу, мають доступ до персональних USB-роз'ємів для зарядки телефону, можливість підключення до Wi-Fi, а також користуються іншими зручностями: персональні підсвітки, системи кондиціонування, інформування через табло тощо. Завдяки цій системі

в салоні створюється технологічне середовище, що забезпечує як комфорт, так і контроль.

Ця технологія забезпечує створення повноцінної автономної внутрішньої мережі автобуса, яка продовжує функціонувати навіть при втраті зв'язку із зовнішніми каналами. Всі локально зібрані дані тимчасово зберігаються в кеші та передаються на зовнішні системи відразу після відновлення доступу до мережі. Це дозволяє зберігати цілісність телеметричної інформації та не втрачати важливі показники у випадках, коли автобус перебуває поза зоною дії мобільного сигналу або супутникового інтернету.

Зовнішній зв'язок у транспорті

Зовнішня система зв'язку відповідає за передачу всіх даних, зібраних у транспортному засобі, за його межі — тобто на центральний сервер, у хмарні сервіси та безпосередньо до диспетчерського центру. Саме через зовнішню систему реалізується зв'язок між рейсовим автобусом та всією зовнішньою інфраструктурою, такою як супутники, інтернет, системи навігації та обробки даних.

Стільниковий зв'язок

У міських районах та зонах з надійним покриттям мобільної мережі основним засобом передачі даних є стільниковий зв'язок, що дозволяє забезпечити стабільну та ефективну комунікацію через інфраструктуру операторів мобільного зв'язку.

Для таких задач, як передача телеметрії, координат GPS, сигналів з камер або тривожних повідомлень, використовується стандартний набір мобільних технологій — LTE, 4G та 5G. Автобус обладнаний модемом або маршрутизатором, який підтримує ці протоколи, та SIM-картою оператора, що забезпечує підключення до інтернету. На схемі 2.3 зображено базове підключення маршрутизатора до інфраструктури

автобуса для забезпечення стільникового зв'язку. Це один із ключових компонентів для передачі GPS-даних, телеметрії та іншої інформації від бортових систем у диспетчерський центр.



Рис.2.3 Схема підключення модему у автобусі

Зовнішня спрямована антена

Антену розташовується на даху автобуса. Її головною функцією є покращення прийому сигналу від базових станцій мобільного зв'язку. Саме завдяки спрямованості антена зменшує втрати сигналу, що особливо важливо під час руху на великій швидкості або в зонах зі слабким покриттям.

Коаксіальний кабель

Електричний кабель зі співвісними провідниками, що з'єднує антену з маршрутизатором та передає радіочастотний сигнал з найменшими втратами. Кабель має бути екранованим, достатньої довжини, з надійними конекторами, захищений від механічних пошкоджень.

Модем / маршрутизатор

Модем встановлюється всередині автобуса, найчастіше поруч з бортовим комп'ютером або в технічному відсіку. Підтримує LTE/4G/5G-зв'язок і має слот для SIM-карти мобільного оператора. Забезпечує роздачу інтернету для бортових

систем, пасажирського Wi-Fi, а також збір і пересилання даних до диспетчерського центру.

Підключення живлення від електромережі автобуса

Маршрутизатор живиться безпосередньо від бортової електромережі (зазвичай 12 або 24 В). Для цього використовується стабілізатор напруги або адаптер з захистом від стрибків і перешкод. Це дозволяє пристрою працювати стабільно незалежно від стану акумулятора чи генератора.

Маршрутизатор через SIM-карту підключається до стільникової мережі оператора. GPS-координати надходять від окремого GPS-модуля, а далі передаються по мережі (рис. 2.4). Уся система працює автоматично (без участі водія) і забезпечує стабільну передачу даних у русі.

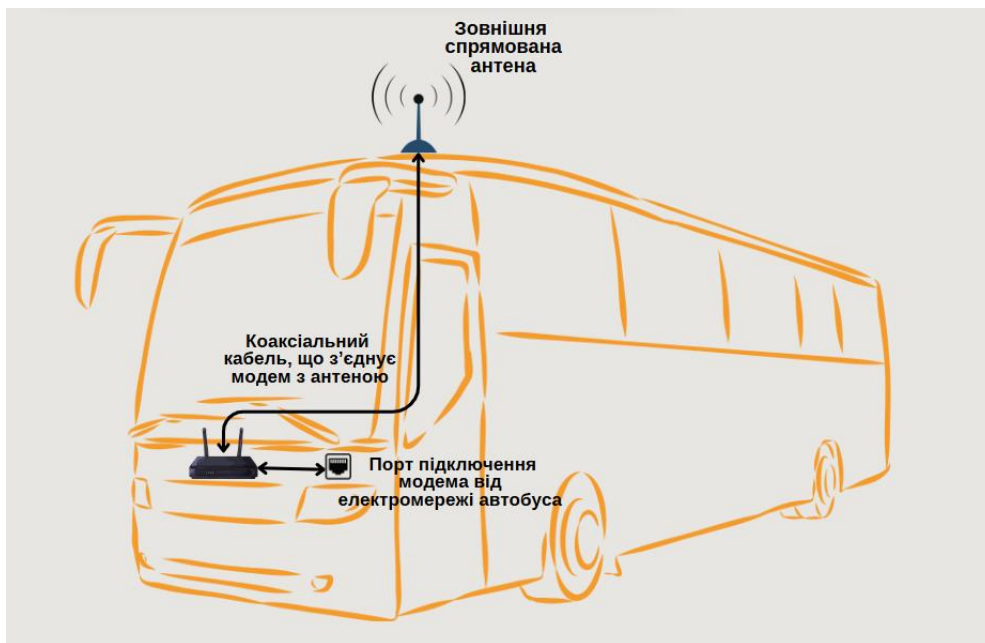


Рис. 2.4 Модем та SIM-карта у автобусі

Стільниковий зв'язок у модифікованій інфокомунікаційній системі моніторингу автопарку виконує функцію основного каналу передачі даних, через який відбувається постійний обмін інформацією між автобусом та центральною

інфраструктурою. Саме через цей канал у реальному часі передаються ключові дані: актуальні координати транспортного засобу, телеметрія від бортових датчиків, а також потоки відео з камер спостереження. Це дає змогу диспетчерському центру безперервно відстежувати рух автобуса на мапі, контролювати технічний стан основних систем та, якщо потрібно, підключатися до відеопотоку з салону для моніторингу ситуації. Це може бути актуально, якщо пасажир залишив речі у автобусі, або ж якщо виникнуть інші непередбачені ситуації.

Стільниковий канал не розглядається як єдине джерело передачі. У системі передбачена резервні канали, які дозволяють автоматично перемикатися на супутниковий зв'язок у випадках, коли мобільне з'єднання нестабільне або повністю відсутнє. Такий підхід дозволить уникнути критичних втрат даних та зберігати цілісність моніторингу навіть у складних умовах експлуатації.

У процесі побудови інфокомунікаційної системи моніторингу автопарку було важливо враховувати специфіку стандартів мобільного зв'язку, що використовуються для передавання даних. Серед доступних технологій мобільного зв'язку в Україні найбільш поширеними є LTE, 4G та 5G. Незважаючи на тісну взаємопов'язаність цих стандартів, кожен з них має власні технічні особливості, які безпосередньо впливають на можливості побудови інфокомунікаційної системи у транспортній сфері. Окрім мобільного інтернету, система також може використовувати інші допоміжні канали стільникового зв'язку, а саме SMS- та USSD-зв'язки. Вони виступають резервними засобами передавання інформації саме у випадках нестабільного інтернет-з'єднання. Загалом, SMS та USSD-зв'язок може застосовуватись як резервний шлях зв'язку у екстрених ситуаціях, або як повноцінні робочі запити в регіонах з обмеженим доступом до мережі.

Супутниковий зв'язок

Враховуючи те, що покриття мобільної мережі не може бути стабільним по всьому маршруту рейсу, модифікована інфокомунікаційна система забезпечує можливість автоматичного перемикавання на супутниковий зв'язок. Для цього в системі використовується термінал супутникового зв'язку, зокрема на базі технології Starlink [12], [26], яка забезпечує широкосмуговий інтернет-зв'язок через низькоорбітальні супутники. Starlink у даній архітектурі виконує роль резервного (або паралельного) каналу зв'язку для передачі даних між автобусом і центральною диспетчерською інфраструктурою у тих випадках, коли стільниковий зв'язок є нестабільним або відсутнім. Його завдання — гарантована безперебійна передача координат GPS, телеметрії з IoT-модулів, тривожних повідомлень та відеопотоків у будь-яких умовах.

На рисунку 2.5 зображена повна структурна схема підключення обладнання Starlink у межах модифікованої інфокомунікаційної системи моніторингу. Схема демонструє, як компоненти фізично та логічно зв'язані між собою всередині автобуса, і як через них здійснюється передача даних у випадках втрати мобільного зв'язку.

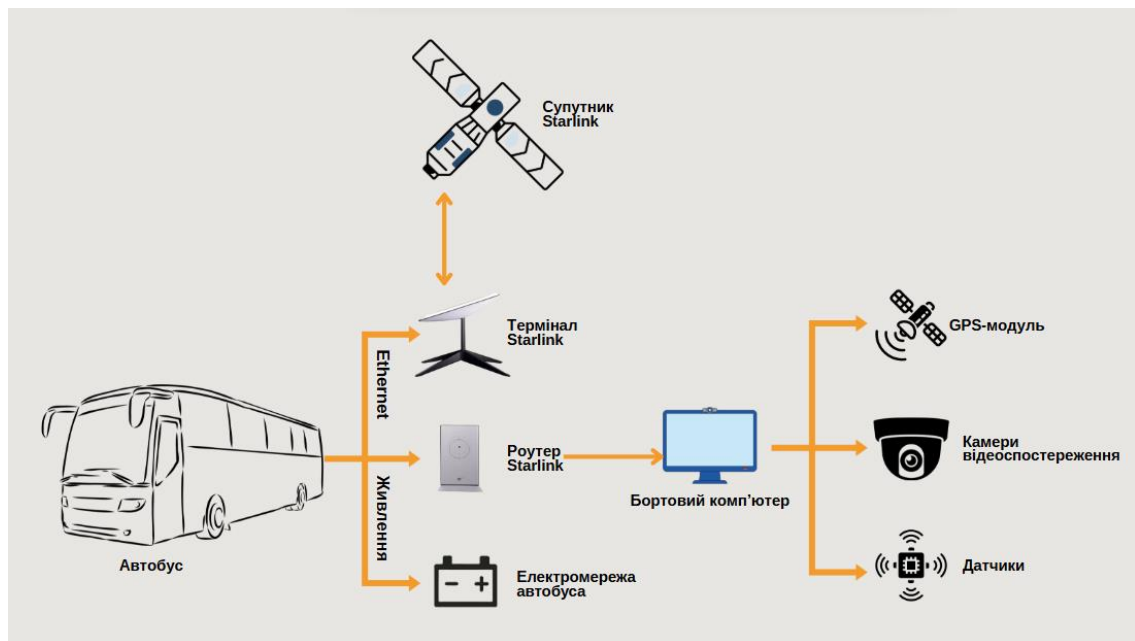


Рис.2.5 Схема підключення обладнання Starlink до системи автобуса

Центральним компонентом є безпосередньо термінал Starlink, який встановлюється на даху, або задній частині автобуса та забезпечує стабільний прийом сигналу з супутника (рис. 2.6). Цей пристрій обробляє вхідний супутниковий сигнал і передає його далі через маршрутизатор у внутрішню мережу автобуса.



Рис. 2.6 Термінал Starlink, встановлений на автобусі

Термінал отримує живлення від електромережі автобуса (12В або 24В), яка забезпечується через окремий канал із захистом від перепадів напруги. Це дозволяє системі працювати стабільно незалежно від режиму руху або стану акумуляторної батареї. Далі сигнал потрапляє до роутера Starlink, який роздає інтернет у внутрішню систему автобуса. Ключовим вузлом тут виступає бортовий комп'ютер, який керує передачею даних, отримує телеметрію, обробляє зображення з камер відеоспостереження, координати з GPS-модуля, сигнали від IoT-датчиків (наприклад, температура, паливо, напруга, присутність пасажирів) та передає цю інформацію у диспетчерський центр у режимі реального часу.

Таким чином, система Starlink не є ізольованим каналом, а повноцінно вбудована в архітектуру транспортного моніторингу. Вона активується

автоматично у разі втрати LTE-з'єднання або за умов нестабільного сигналу, і забезпечує безперервну передачу ключових даних, критично важливих для диспетчерського контролю. Пропускна здатність супутникового зв'язку дозволяє повноцінно передавати телеметрію, координати, статуси обладнання, а в окремих випадках — і відео з камер. У випадку збереження мобільного сигналу, але на низькому рівні якості, система аналізує показники та вирішує, на якому каналі працювати далі — перемикання виконується автоматично без втручання водія чи диспетчера.

Однією з переваг використання супутникового зв'язку є незалежність від інфраструктури наземного оператора. Це особливо актуально в умовах війни, стихійних лих або техногенних аварій, коли мобільна мережа може бути недоступною. В українських реаліях це набуло особливого значення з початком повномасштабного вторгнення росії, коли під час обстрілів часто виходили з ладу вежі стільникового зв'язку, а покриття в окремих регіонах зникало повністю. У відповідь на це багато перевізників почали встановлювати термінали Starlink на автобуси, щоб забезпечити безперервний зв'язок навіть у кризових ситуаціях. Це рішення дозволило зберігати стабільну передачу координат, телеметрії та зворотного зв'язку з диспетчером, навіть якщо мобільна мережа була частково або повністю зруйнована (рис. 2.7).



Рис. 2.7 Зруйнована вежа мобільного зв'язку на деокупованій Херсонщині.

Також додатково варто розглянути бортовий комп'ютер (рис 2.8), адже він відіграє роль основного логічного центру в межах автобуса як компонента усієї інфокомунікаційної системи моніторингу автобусного парку. Він забезпечує збирання, обробку, збереження та маршрутизацію даних, що надходять від усіх підсистем, встановлених у транспортному засобі [27]. Пристрій зазвичай встановлюється у спеціальному технічному відсіку біля водія або в електронному боксі автобуса. Корпус повинен мати захист від пилу, вібрацій та перепадів температури (стандарт IP54 або вище), а також систему стабілізованого живлення.

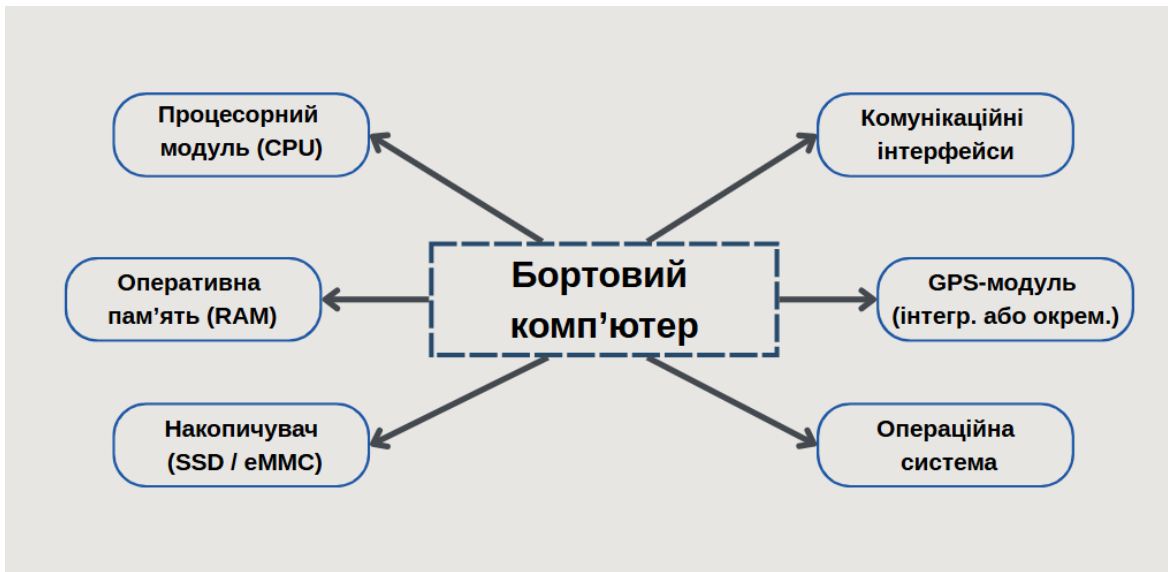


Рис. 2.8 Складові компоненти бортового комп'ютера

Складові компоненти бортового комп'ютера

Процесорний модуль (CPU), який відповідає за виконання обчислювальних процесів: обробку телеметрії, координат, відео, логіки перемикавання каналів зв'язку; типово – ARM Cortex або x86 (наприклад, Intel Atom/AMD Ryzen Embedded)

Оперативна пам'ять (RAM), що використовується для буферизації відео, тимчасових даних, роботи операційної системи, її обсяг в більшості від 2 до 8 ГБ.

Накопичувач (SSD / eMMC), що зберігає системні журнали, локальні записи телеметрії, кеш відео та виконує функцію резервного накопичувача на випадок втрати зв'язку.

Комунікаційні інтерфейси, такі як підключення до LTE-модему, Starlink, камер, Wi-Fi: взаємодія з локальною мережею, CAN-шина: обмін з датчиками технічного стану автобуса, USB / GPIO: підключення зовнішніх модулів, тривожної кнопки

GPS-модуль (інтегрований або окремих), що приймає супутникові сигнали для визначення координат у реальному часі

Операційна система (Linux Embedded / Windows IoT), підтримка MQTT, TCP/IP, REST API, VPN, SSH

Типова конфігурація бортового комп'ютера залежить від особливостей інфраструктури кожного перевізника, вимог до відео, кількості підключених датчиків та обраного програмного середовища. У рамках даної системи було обрано збалансований варіант з достатнім обсягом пам'яті, необхідним набором інтерфейсів та підтримкою стандартних протоколів передачі даних. Така конфігурація дозволяє повноцінно обробляти всі вхідні сигнали з бортових модулів, забезпечувати стабільний зв'язок з диспетчерським центром, а також зберігати критично важливу інформацію у випадку втрати зв'язку.

У таблиці 2.1 наведено основні технічні характеристики, рекомендовані для бортового комп'ютера, що використовується в модифікованій інфокомунікаційній системі моніторингу автобусного парку.

Таблиця 2.1 Типова конфігурація бортового комп'ютера

Параметр	Значення
Процесор	Intel Atom x5 / AMD Ryzen Embedded
RAM	4 ГБ DDR4
Накопичувач	64 ГБ SSD
Інтерфейси	2 × Ethernet, 2 × USB, 1 × CAN, Wi-Fi
Вбудовані модулі	GPS, LTE (опціонально), Bluetooth
Живлення	12–24 В (від електромережі автобуса)
ОС	Linux Debian / Ubuntu Core / Windows IoT
Захист	IP54+, вібростійкий корпус

Ще одним обов'язковим елементом зовнішньої системи зв'язку є супутникова навігація, яка забезпечує постійне визначення координат автобуса в реальному часі. Для цього в транспортному засобі встановлюється GPS-приймач, який синхронізується із сигналами кількох супутників одночасно, що дозволяє з високою точністю визначити широту, довготу, швидкість руху, а також

напрямок. Приймач зазвичай монтується в передній частині автобуса, ближче до вітрового скла або на даху, в точці з максимально відкритим оглядом на небо. Найчастіше використовується виносна GPS-антена, з'єднана з основним приймачем, інтегрованим у бортовий комп'ютер або підключеним до нього через інтерфейс UART або USB.

Сучасні GPS-приймачі підтримують одночасний прийом сигналів щонайменше з 4 супутників, а також можуть працювати з декількома навігаційними системами — GPS, Galileo, BeiDou. Для системи моніторингу типово використовується оновлення координат з частотою 1 Гц (одне оновлення щосекунди), що забезпечує достатню точність для транспорту [9], [12].

Формат даних — NMEA 0183 (текстові повідомлення типу \$GPRMC, \$GPGGA), які містять координати, швидкість, напрямок руху, час та дату.

GPS-приймач має тісні зв'язки з іншими елементами системи, оскільки безперервна передача координат є критично важливою для роботи моніторингу. У більшості випадків приймач підключається до бортового комп'ютера через інтерфейс UART або USB. Якщо використовується інтегрований GPS-модуль, то його дані надходять безпосередньо у внутрішню шину обробки. Всі координати, отримані з модуля, об'єднуються з телеметричними показниками та надсилаються до диспетчерського центру через активний канал зв'язку — LTE або Starlink. Частота передачі координат може варіюватись від одного до п'яти секунд залежно від налаштувань системи та умов руху. У разі втрати зв'язку дані не губляться: вони буферизуються в оперативній пам'яті бортового комп'ютера і передаються пізніше, після відновлення каналу [9].

Функціонально GPS-приймач дозволяє визначати точне місцезнаходження автобуса з похибкою до 2–5 метрів. Окрім координат, він також розраховує швидкість руху, напрямок та прискорення. Ці дані можуть використовуватись для внутрішньої логіки системи, наприклад, для прогнозування часу прибуття на

зупинку. Вони також можуть виводитися на інформаційне табло в салоні у вигляді повідомлень типу: «наступна зупинка через 200 м». Крім того, GPS-модуль реєструє точний час прибуття та відправлення автобуса із зупинок, що дозволяє створювати детальну хронологію маршруту. Якщо автобус затримується, зупиняється поза розкладом або з'їжджає з маршруту — це також фіксується системою на основі координат і швидкості.

У загальній архітектурі GPS-приймач виконує функцію просторової орієнтації всієї системи. Саме його дані використовуються не лише для навігації, а й для таких завдань, як визначення точок заторів, об'їздів, технічних зупинок або надзвичайних ситуацій. Зокрема, у випадку натискання тривожної кнопки координати, зафіксовані GPS-приймачем, додаються до екстреного повідомлення, що передається диспетчеру. Таким чином, модуль GPS є основою просторової логіки моніторингу та відіграє критичну роль у забезпеченні повноти та достовірності даних у системі.

У модифікованій системі координати не лише зчитуються, а й одразу обробляються бортовим комп'ютером, після чого надсилаються у диспетчерський центр через основний або резервний канал зв'язку. Таким чином, диспетчер у режимі реального часу бачить точне положення автобуса на карті, що дозволяє ефективніше планувати маршрути, інформувати пасажирів про прибуття транспорту та реагувати на відхилення від графіка. У разі втрати зовнішнього зв'язку GPS-приймач продовжує працювати автономно, а дані зберігаються в локальному кеші. Це дозволяє синхронізувати зібрану інформацію одразу після відновлення з'єднання, без втрат у телеметрії. Водночас система може також використовувати буферизацію маршрутних точок, тобто зберігати послідовність координат для подальшого аналізу — наприклад, для виявлення ділянок зі стабільними втратами сигналу або затримками руху.

У перспективі можлива інтеграція GPS-навігації з інерціальними сенсорами, які дозволяють орієнтуватись навіть у тих зонах, де супутниковий сигнал

недоступний — наприклад, у тунелях або щільній міській забудові. Це забезпечить ще вищий рівень точності позиціонування та безперервності контролю руху.

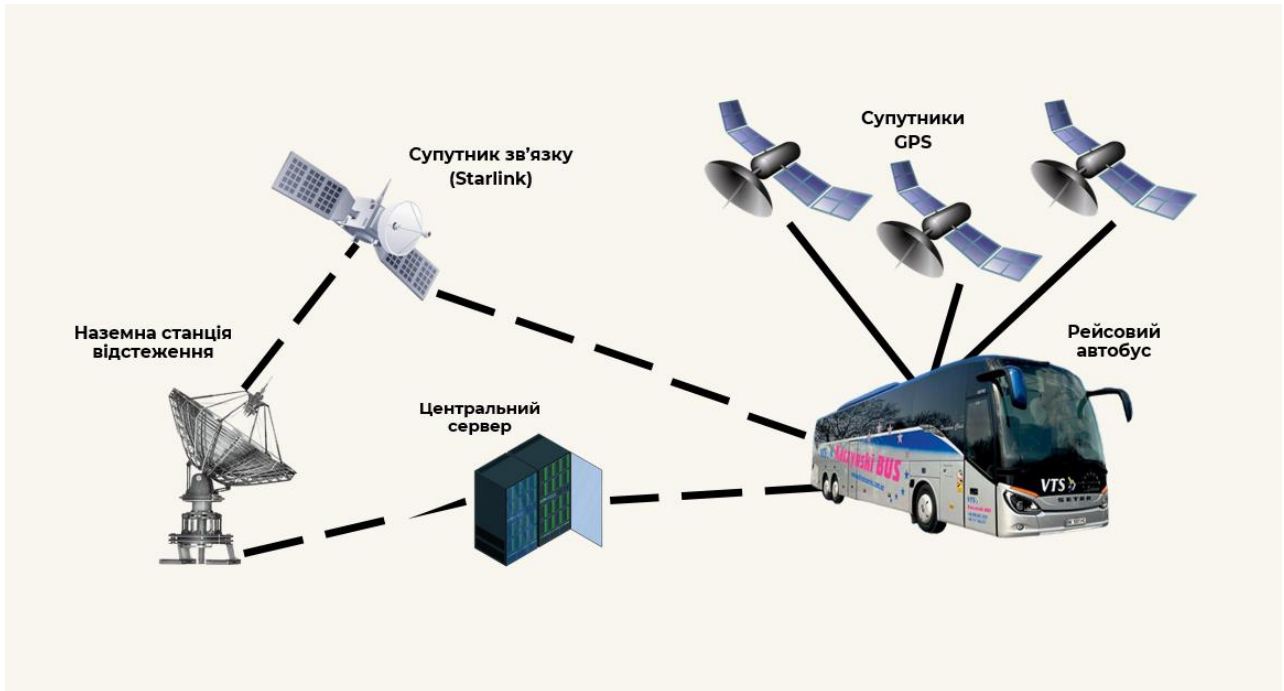


Рис 2.9 Канали зв'язку та інфраструктура передачі даних

На рисунку 2.9 зображено структуру зв'язку, яка реалізована в межах модифікованої інфокомунікаційної системи моніторингу автобусного парку. Основна ідея — це поєднання кількох незалежних каналів передачі даних, зокрема GPS, мобільного інтернету та супутникового зв'язку Starlink. Такий підхід дозволяє зберігати стабільне з'єднання на всіх етапах маршруту, включаючи ті ділянки, де традиційне покриття мобільного оператора або нестабільне, або повністю відсутнє. GPS-супутники забезпечують фіксацію координат автобуса в реальному часі. Ці координати разом із телеметричними даними з бортових сенсорів передаються на центральний сервер через основний або резервний канал зв'язку. У разі нормального покриття використовується LTE або 4G-зв'язок. Якщо сигнал слабкий або повністю втрачено, активується супутниковий канал через термінал Starlink. Це дає змогу уникати втрат зв'язку і

зберігати безперервність передачі даних. Зовнішні канали об'єднуються через центральний сервер, який приймає, обробляє й зберігає інформацію, отриману з автобусів. Далі ці дані надходять до диспетчерського центру, де оператор може оперативно переглядати місцезнаходження транспорту, бачити технічний стан окремих систем, а також приймати рішення у випадку надзвичайних ситуацій або порушень у роботі маршруту.

У стандартному режимі система функціонує через LTE-модем. Вся телеметрія з датчиків, координати з GPS-модуля, відео з камер спостереження та службовий трафік передаються через мобільного оператора. За замовчуванням саме цей канал вважається основним через нижчу затримку, стабільну швидкість і вищу економічність передачі даних.

Однак для контролю якості з'єднання в системі реалізовано постійний моніторинг параметрів каналу. Відповідальний за це компонент — бортовий комп'ютер або маршрутизатор. Він аналізує технічні показники мережі: рівень сигналу (RSSI), співвідношення сигнал/шум (SNR), кількість втрачених пакетів, середній пінг (затримку) та швидкість передачі. У разі, якщо хоча б один із параметрів опускається нижче встановленого порогу — наприклад, RSSI нижче -105 dBm, ping вище 300 мс або втрата пакетів перевищує 10% — система розцінює це як нестабільний стан каналу [18], [19]. У такому випадку автоматично активується резервне з'єднання через термінал Starlink. Включення відбувається без втручання водія або диспетчера, а передача даних перемикається на супутниковий канал без переривання сесії. Система не дублює трафік на два канали одночасно, а виконує повноцінний перехід, зберігаючи цілісність даних. Протягом цього часу основний LTE-канал продовжує тестуватись у фоновому режимі. Як тільки параметри мобільного зв'язку повертаються до стабільного рівня (рівень сигналу, пінг, втрати — у межах норми протягом заданого часу), система ініціює повернення на LTE-з'єднання. Це дозволяє мінімізувати

використання супутникового каналу, який має вищу вартість та енергоспоживання.

Таблиця 2.2 Умови перемикання каналів зв'язку

Параметр мережі	Поріг для перемикання	Умови повернення на LTE
Рівень сигналу (RSSI)	менше -105 dBm	вище -95 dBm протягом 60 сек
Затримка (Ping)	більше 300 мс	менше 150 мс протягом 1 хв
Втрати пакетів	понад 10%	менше 2% втрат пакетів
Швидкість передачі даних (Download)	менше 2 Мбіт/с (стабільно > 30 сек)	понад 5 Мбіт/с стабільно

Реалізована логіка перемикання (рис 2.2) забезпечує керування каналами зв'язку, гарантує надійну доставку даних навіть у складних умовах руху, дозволяє не втрачати керованість над транспортом та оптимізує навантаження на мережу.

2.2 Модифікована система моніторингу

У межах оновленої інфокомунікаційної системи було змінено не лише канали зв'язку, а й підхід до самого моніторингу транспортного засобу та взаємодії між усіма учасниками процесу перевезення. Система не обмежується передачею координат, натомість вона охоплює кілька рівнів контролю, аналітики й обміну інформацією в реальному часі. Це дає змогу бачити комплексну картину стану автобусу та всього маршруту. На рисунку 2.10 показано загальну логіку функціонування модифікованої системи моніторингу та взаємодії в громадському транспорті.

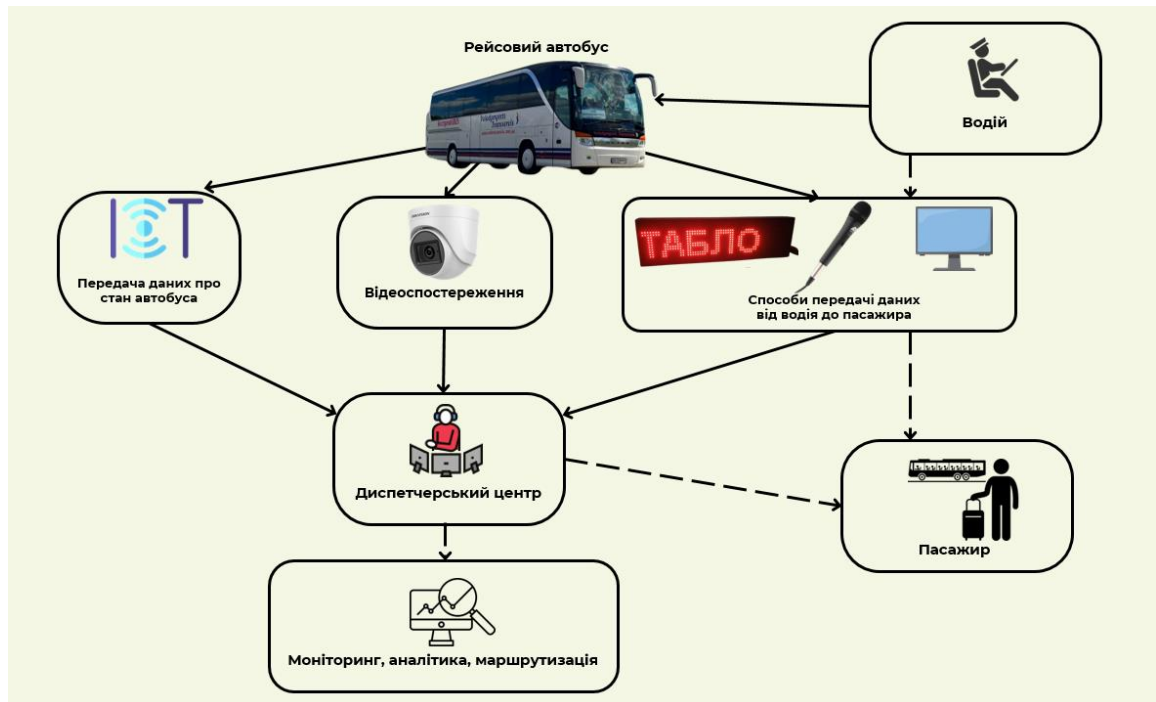


Рис 2.10 Система моніторингу та взаємодії в громадському транспорті

2.3 Компоненти, що взаємодіють у системі

Рейсовий автобус

Центральним елементом системи виступає сам автобус, який є основним джерелом усіх даних. Саме з нього надходить інформація про технічний стан транспортного засобу, відеоспостереження у салоні, маршрут та координати в реальному часі. На борту встановлено кілька окремих модулів, які працюють паралельно: IoT-датчики, камери, GPS-приймачі та модулі зв'язку. Уся ця інформація фіксується, обробляється на бортовому рівні і передається до диспетчерського центру. Оскільки автобус є рухомим об'єктом і постійно змінює своє положення в просторі, використання дротового з'єднання є неможливим, тому вся система передачі даних побудована виключно на базі бездротових технологій. Це дозволяє підтримувати зв'язок на ходу, зберігати стабільність обміну даними та забезпечувати роботу всіх модулів незалежно від географічного розташування.

Передача даних про технічний стан

В автобусі встановлений IoT-модуль, який збирає дані з різних сенсорів (рис. 2.11): швидкість руху, рівень пального, температура охолоджувальної рідини, напруга в електромережі, стан дверей, сигнали запалювання, гальмування тощо [18], [19]. Ці показники постійно зчитуються в реальному часі, і при виявленні аномалій або відхилень від норми диспетчер може оперативно реагувати. Дані надходять через мобільну мережу або супутниковий зв'язок у центральну систему, де зберігаються, аналізуються та виводяться у вигляді аналітичних графіків або повідомлень про несправності. Такий підхід дозволяє проводити попередню діагностику і зменшує ризики аварійних зупинок на маршруті.

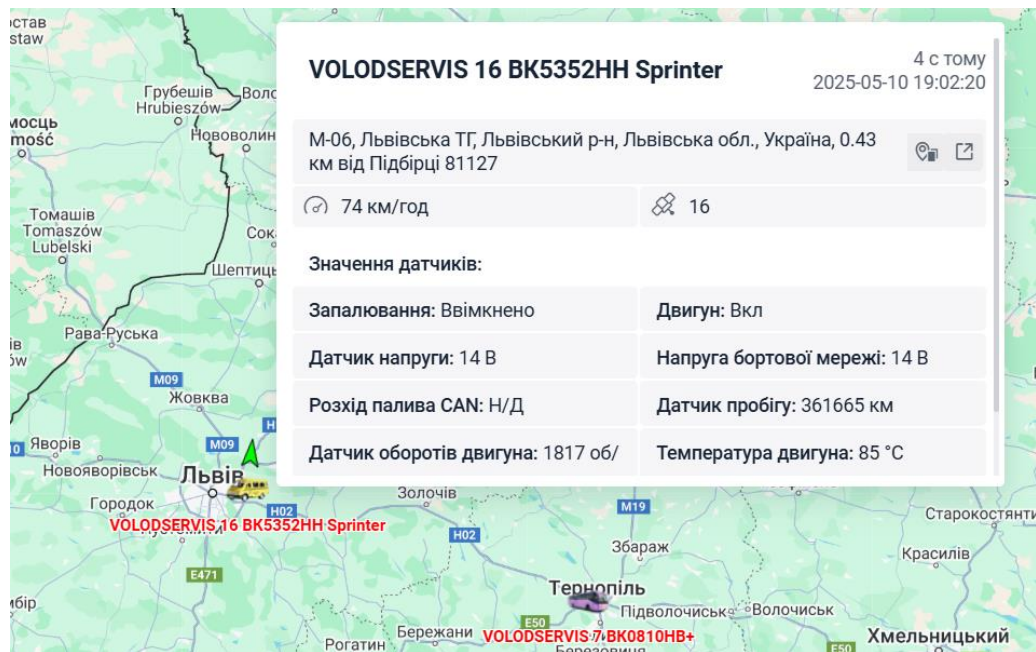


Рис. 2.11 Показники автобуса, передані у систему в реальному часі
Відеоспостереження

У рамках модифікованої системи моніторингу автобусного парку впроваджена інтегрована система відеоспостереження, яка складається з декількох камер різного функціонального призначення. Вона не лише забезпечує безпеку пасажирів і водія, а й виконує завдання контролю, фіксації інцидентів, збору статистичних даних та виводу інформації для диспетчерського аналізу.

Типи камер та їхнє розміщення

Камери загального огляду, що встановлюються у передній частині салону, над входами/виходами, а також над водійським місцем. Вони фіксують дії пасажирів під час посадки/висадки, поведінку в салоні, а також допомагають у вирішенні конфліктних ситуацій. Деякі моделі можуть мати функцію нічного бачення або широкий кут огляду (120–180°).

Камера перед лобовим склом (опціонально), яка служить для запису дорожньої ситуації — її можна використовувати як доказ у разі ДТП чи раптового гальмування.

Камера автоматичного підрахунку пасажирів, що розміщується над дверима автобуса або у спеціальному блоці над входом. Вона оснащена глибинним сенсором або подвійною ІЧ-камерою і здатна в режимі реального часу рахувати кількість людей, які заходять і виходять із салону. Алгоритм машинного зору аналізує рух, напрямок і кількість фігур, не зберігаючи персональні дані. Точність обліку — до 95%. Отримані дані автоматично передаються у диспетчерський центр або локально обробляються на бортовому комп'ютері.

Усі камери з'єднані з бортовим комп'ютером або через PoE-комутатор (у випадку IP-камер), або через локальний DVR (у випадку аналогових моделей). Передача зображення може здійснюватися в режимі реального часу або вестися локальний запис у буфер на накопичувачі. Бортовий комп'ютер аналізує сигнали, фіксує події за тригерами (наприклад, натискання тривожної кнопки, відкриття дверей, вібрація від різкого гальмування) й автоматично відправляє відповідний фрагмент відео на сервер або у диспетчерський центр через LTE чи Starlink.

Способи передачі інформації від водія до пасажирів

Для взаємодії між водієм і пасажирами використовуються інформативні канали: табло в салоні, голосові оголошення, гучномовці, а також монітори (при їх наявності). Це дозволяє водієві оперативно повідомити пасажирів про зміну маршруту, затримку, аварійну ситуацію або інші події. У випадках, коли водій

отримує інструкції від диспетчера — він одразу може передати відповідну інформацію пасажирам. Наявність таких засобів комунікації підвищує комфорт поїздки та знижує напругу у випадках нестандартних ситуацій.

Диспетчерський центр

Це центральна ланка всієї системи. Саме сюди надходить уся інформація з автобусів — як у вигляді телеметрії, так і у вигляді відео, повідомлень від водія або даних від пасажирських сервісів. Диспетчер має доступ до інтерактивної карти руху транспорту (рис 2.12), де може контролювати кожен автобус в режимі реального часу. Крім того, він бачить технічний стан транспорту, отримує сповіщення про несправності, має змогу переглядати відео або зв'язуватись із водієм. У разі потреби — диспетчер оперативно приймає рішення, передає інструкції, змінює маршрут або інформує пасажирів про зміни. Усе це значно підвищує гнучкість і безпеку перевезень.

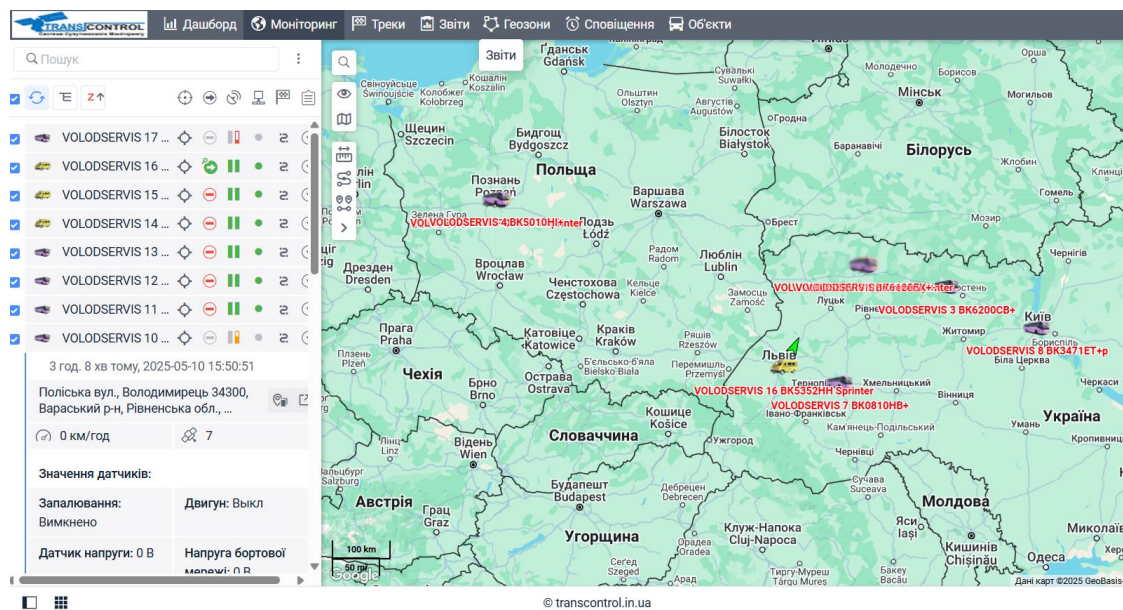


Рис 2.12 Система моніторингу

Пасажир

Інформація для пасажирів може надходити двома шляхами. Перший — безпосередньо від водія, через інформаційне табло або голосові повідомлення. Другий — через диспетчерський центр, наприклад у вигляді SMS-повідомлень

або даних в мобільному застосунку. У нашій реалізації поки що передбачено можливість надсилання повідомлення пасажиру з актуальним часом прибуття автобуса, попередженням про затримку чи зміну маршруту через ALPHASMS (Рис 2.13). Це дозволяє зробити систему перевезень більш прозорою та передбачуваною для користувачів.

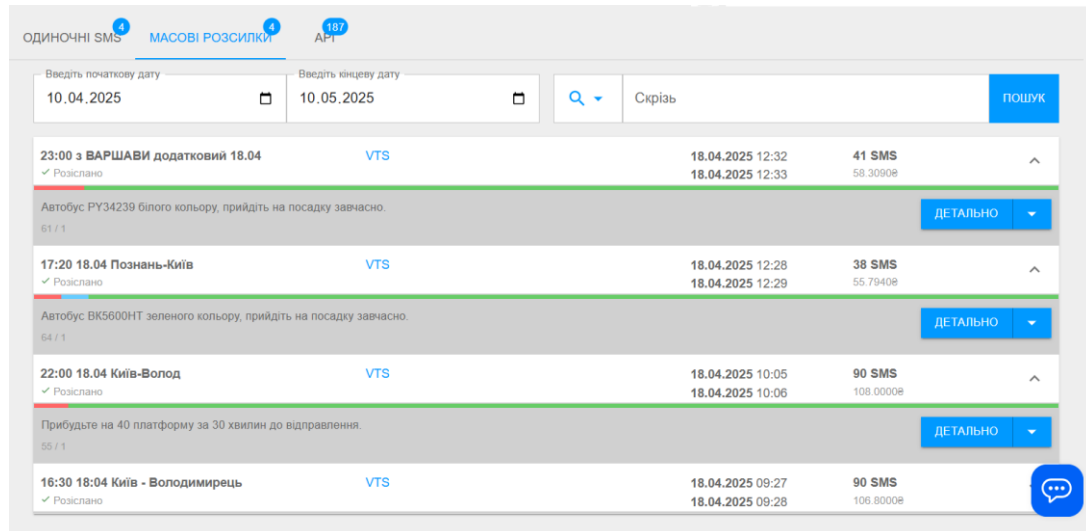


Рис. 2.13 Розсилка повідомлень пасажирам

У перспективі планується реалізація мобільного додатку, за допомогою якого пасажир зможуть спостерігати місцезнаходження свого автобуса у реальному часі, Це дозволить запобігти тривалого очікування на зупинках, правильно скоригувати свій час та покращить якість надання послуг.

2.3 Застосування ІОТ-пристроїв у автобусі

Схема обладнання автобуса

В рамках модифікації системи моніторингу особливу увагу було приділено оснащенню самого транспортного засобу — рейсового автобуса — сучасними ІоТ-пристроями та цифровими модулями зв'язку. На сьогодні недостатньо лише знати координати руху: важливо отримувати повну картину стану автобуса, його взаємодії з пасажирами, а також мати можливість швидко реагувати на нестандартні або аварійні ситуації. Саме тому в модифікованій системі було

реалізовано інтеграцію кількох незалежних підсистем, кожна з яких відповідає за свій блок контролю та обміну даними. Застосування IoT у транспорті дає змогу автоматизувати певні процеси, виключити людський фактор у діагностиці технічного стану, зменшити ризик відмов та поліпшити загальний рівень безпеки й комфорту. У реальних умовах це реалізовано через набір сенсорів, камер, інтерфейсних елементів, терміналів зв'язку та систем оповіщення. Всі ці компоненти працюють в єдиній логіці та обмінюються даними через бортовий комп'ютер.

На рисунку 2.14 зображено попередню схему встановлення IoT-обладнання у салоні та на кузові автобуса. Ця структура є типовою для практичного впровадження модифікованої інфокомунікаційної системи моніторингу, яка була запропонована в межах цього дослідження.

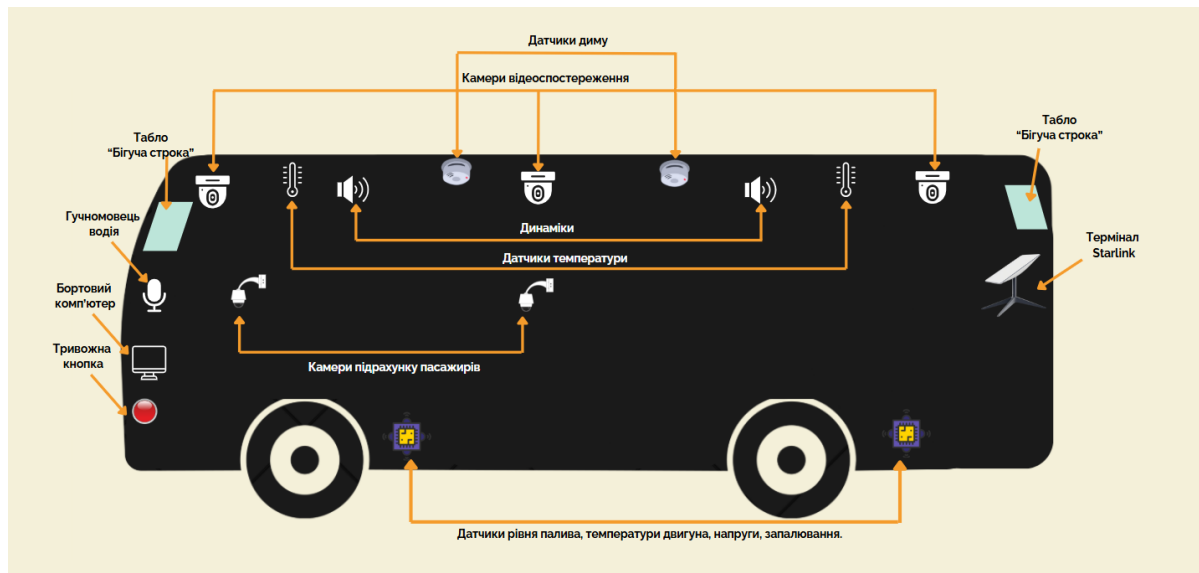


Рис 2.14 Схема обладнання автобуса

Далі ми детально розглянемо кожен із компонентів, зображених на схемі, включно з принципом його роботи, функціональним призначенням та роллю в загальній архітектурі системи.

Бортовий комп'ютер і тривожна кнопка

Бортовий комп'ютер є головним обчислювальним вузлом, до якого підключено всі внутрішні IoT-пристрої. Саме він відповідає за збирання, первинну обробку, тимчасове збереження та маршрутизацію даних, які надходять від датчиків, камер, терміналів зв'язку тощо. У випадках, коли зв'язок із сервером тимчасово втрачено (наприклад, за межами покриття), комп'ютер автоматично зберігає всі вхідні дані у локальній пам'яті, а після відновлення мережі — синхронізує їх з сервером [13].

Розташована поруч тривожна кнопка дозволяє водієві оперативно повідомити диспетчерський центр про надзвичайну ситуацію. При її натисканні система формує повідомлення з поточними координатами, фіксує момент у відеопотоці з камер і пріоритетно передає ці дані на сервер незалежно від поточного навантаження на мережу. Це дає змогу оперативно реагувати на загрози, інциденти чи позаштатні події без затримок.

Гучномовець водія та інформаційне табло

Гучномовець дає змогу водієві передавати усні оголошення пасажиром. Такий канал використовується для оперативного інформування про зміну маршруту, несправності, вимушені зупинки або інші важливі події. Його використання особливо важливе в ситуаціях, коли пасажирів не мають змоги побачити візуальну інформацію на табло або у випадках надзвичайної ситуації, яка потребує прямого звернення до пасажирів.

Електронне табло типу “біжучий рядок” відображає короткі текстові повідомлення для пасажирів. Тексти можуть вводиться водієм або надходити автоматично з диспетчерського центру, наприклад, у випадку зміни зупинок або затримки рейсу. Табло синхронізується з центральною системою і може оновлюватись віддалено.

Класичне LED-табло закріплюється над лобовим склом або в салоні. Такі табло мають фіксовану конструкцію та обмежену гаму кольорів, однак вони

перевірені на практиці й досить прості в обслуговуванні. На них зазвичай виводиться інформація про маршрут, номер рейсу або короткі службові повідомлення.

На даний момент впроваджено у використання IPixel Color — це нове покоління гнучких дисплейних плівок. Вони можуть кріпитись не лише в стандартних місцях, а й, наприклад, уздовж салону, у вигляді внутрішніх смуг або навіть на вікнах. Їх основна перевага — повноколірне зображення, висока яскравість, змінна форма та можливість дистанційного управління контентом прямо з телефону. Такі табло синхронізуються з бортовим комп'ютером і можуть автоматично змінювати повідомлення залежно від ситуації на маршруті, часу доби або команд диспетчера.

Застосування IPixel Color (рис. 2.15) дає змогу виводити не лише текстову, а й візуальну інформацію (позначки, стрілки, піктограми), що робить систему більш інтуїтивною та зручною для пасажирів, особливо для людей з обмеженим зором або для туристів, які не читають текст, але реагують на візуальні сигнали.



Рис. 2.15. Сучасне табло IPixel Color

2.6. Робота обладнання в реальних умовах

Для оцінки ефективності впровадженої системи було проведено тестування встановленого обладнання безпосередньо в реальному автобусі, що використовується на міжнародних маршрутах. Результати показали, що всі елементи системи повноцінно функціонують в умовах руху, змін температури, вібрацій та навантаження на мережу (рис. 2.16).

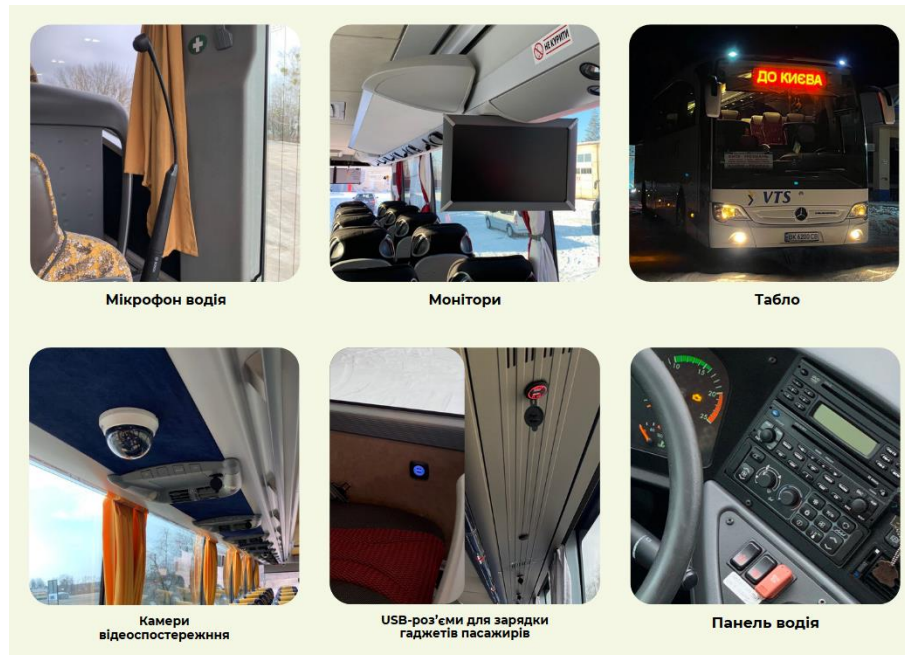


Рис. 2.16 Робота обладнання в реальних умовах

На рисунку 2.3.3 представлено ключові елементи, які забезпечують взаємодію між пасажирями, водієм та диспетчерським центром. Мікрофон водія використовується для голосових оголошень у салоні, а табло дозволяє виводити службову інформацію (пункт призначення, затримка рейсу, маршрутні зупинки). Монітори, розміщені всередині автобуса, можуть бути використані як для трансляції мультимедійної інформації, так і для дублювання повідомлень.

Камери відеоспостереження, встановлені у передній і центральній частині салону, забезпечують контроль ситуації в режимі реального часу та запис у разі інцидентів. Особливу увагу під час впровадження було приділено комфорту пасажирів: для цього реалізовано USB-роз'єми для зарядки гаджетів, що дозволяє

користуватись електронними пристроями протягом усього маршруту. Панель водія інтегрована з бортовим комп'ютером, що дозволяє не лише керувати автобусом, а й взаємодіяти з інформаційною системою: приймати повідомлення від диспетчера, керувати оповіщеннями, запускати або зупиняти відеофіксацію.

Випробування системи в динаміці підтвердили її працездатність, адаптивність до змін маршруту, стійкість до вібрацій і чітку синхронізацію між усіма модулями. Це доводить практичну придатність обраного технічного рішення для впровадження у транспортну інфраструктуру.

Висновки до розділу 2

У цьому розділі було розглянуто структуру та принцип роботи модифікованої інфокомунікаційної системи моніторингу автобусного парку. На відміну від традиційних рішень, запропонована архітектура базується на поєднанні кількох типів зв'язку (стільниковий, супутниковий, локальний Wi-Fi) та включає повноцінну систему збору даних з IoT-пристроїв, камер відеоспостереження, навігаційних модулів і елементів взаємодії з пасажирями.

Система зв'язку реалізована у вигляді гібридної моделі з можливістю автоматичного перемикавання між каналами — що забезпечує стабільну передачу даних навіть у складних географічних умовах. Інтеграція супутникового терміналу Starlink дозволила вирішити проблему втрати зв'язку у зонах, де відсутнє покриття мобільної мережі.

Було детально описано компоненти модифікованої системи моніторингу, зокрема: передача телеметрії, відеоспостереження, канали зв'язку між водієм, пасажиром і диспетчерським центром. Усі дані автоматично збираються та передаються до диспетчерського центру, де обробляються в реальному часі, що дозволяє швидко реагувати на будь-які зміни ситуації на маршруті.

Окрему увагу приділено практичному розміщенню обладнання в автобусі. Схеми, фотофіксація та опис роботи пристроїв підтвердили доцільність і

реальність впровадження запропонованої моделі. Реальні випробування показали, що система ефективно функціонує в умовах руху, вібрації та змін мережевого середовища.

Таким чином, модифікована система не лише підвищує точність і надійність моніторингу, а й покращує взаємодію з пасажирями, забезпечує більшу безпеку та дозволяє підприємству оперативно управляти парком у режимі реального часу.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ

3.1 Критерії оцінки ефективності

Оцінка ефективності впровадженої модифікованої інфокомунікаційної системи моніторингу автопарку здійснюється шляхом аналізу якісних та кількісних показників надійності зв'язку, безперервності контролю та точності передачі даних у реальному часі. Критерії оцінки ефективності моніторингу: точність та безперервність збору інформації.

Модифікована система моніторингу використовує багатоканальну архітектуру зв'язку, яка об'єднує GPS для позиціонування, LTE для мобільної передачі даних та супутниковий канал Starlink. Завдяки інтеграції цих трьох каналів істотно зменшується ризик повної втрати зв'язку порівняно з попередніми рішеннями, що базувалися лише на одному або двох каналах.

Оцінка точності системи моніторингу здійснюється шляхом аналізу кількості використовуваних каналів зв'язку, параметрів їх надійності та фактичної точності роботи під час руху транспортних засобів.

В удосконаленій системі застосовано три канали зв'язку, що дозволяє забезпечити більш стабільну передачу даних:

- GPS — для забезпечення точного позиціонування транспортного засобу;
- LTE — для передачі телеметричних даних через мобільну мережу;
- Starlink — як резервний супутниковий канал для забезпечення зв'язку у зонах із недостатнім покриттям мобільної мережі.

Одним з ключових параметрів є ймовірність втрати зв'язку. Для порівняння ефективності системи введемо наступні позначення:

$P_c(\text{старе})$ – ймовірність втрати зв'язку у попередній версії системи.

$P_n(\text{нове})$ – ймовірність втрати зв'язку після впровадження модифікованої архітектури.

Для кількісної оцінки використовуємо час, коли транспортний засіб перебуває без зв'язку, відносно до загального часу поїздки. Введемо такі позначення:

$t_{бз}$ – час без зв'язку

$t_{п}$ – час поїздки

t_3 – час зі зв'язком

Загальний час поїздки обчислюється як:

$$t_{п} = t_{бз} + t_3$$

або, з урахуванням довжини маршруту S та середньої швидкості V :

$$t_{п} = \frac{S}{V}$$

S – довжина шляху

V – середня швидкість (постійно змінюється)

Відносний показник втрати зв'язку визначається формулою:

$$P_c = \frac{t_{бз}}{t_{п}}$$

Очевидно, що в удосконаленій системі значення $t_{бз}$ суттєво зменшується завдяки застосуванню резервних каналів зв'язку. Відповідно, P_n буде значно меншим за P_c , що підтверджує підвищення ефективності моніторингу.

$$P_n < P_c$$

Зазначимо також, що з точки зору теорії ймовірностей:

- P — ймовірність відсутності зв'язку;
- q — ймовірність наявності зв'язку.

За теорією ймовірностей, якщо p та q є взаємовиключними подіями, то їх сума становить одиницю:

$$p + q = 1$$

Чим більше значення q , тим вища ефективність системи.

Одним із важливих аспектів підвищення точності моніторингу є використання багатоканальної архітектури зв'язку, що дозволяє мінімізувати ризик повної втрати інформації. На практиці застосовуються два незалежні канали:

P_1 – ймовірність втрати LTE-з'єднання.

P_2 – ймовірність втрати зв'язку Starlink.

У випадку, коли хоча б один з каналів залишається активним, система продовжує передавати інформацію. Відповідно, ймовірність повної відмови системи (тобто ситуації, коли обидва канали одночасно не працюють) визначається як добуток відповідних ймовірностей:

$$P_n = P_1 \times P_2$$

З іншого боку, ймовірність того, що принаймні один канал буде працювати (тобто передача даних відбудеться), розраховується як:

$$Q_{\text{усп}} = 1 - P_n = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2)$$

Таким чином, при введенні додаткових каналів загальна ймовірність відмови системи зменшується, що значно підвищує надійність моніторингу. На практиці це означає, що навіть у випадку втрати сигналу з одного каналу транспортний засіб залишається під контролем за рахунок резервних каналів.

3.2 Порівняння результатів до та після модифікації

Приклад розрахунку ефективності на рейсі Київ-Володимирець

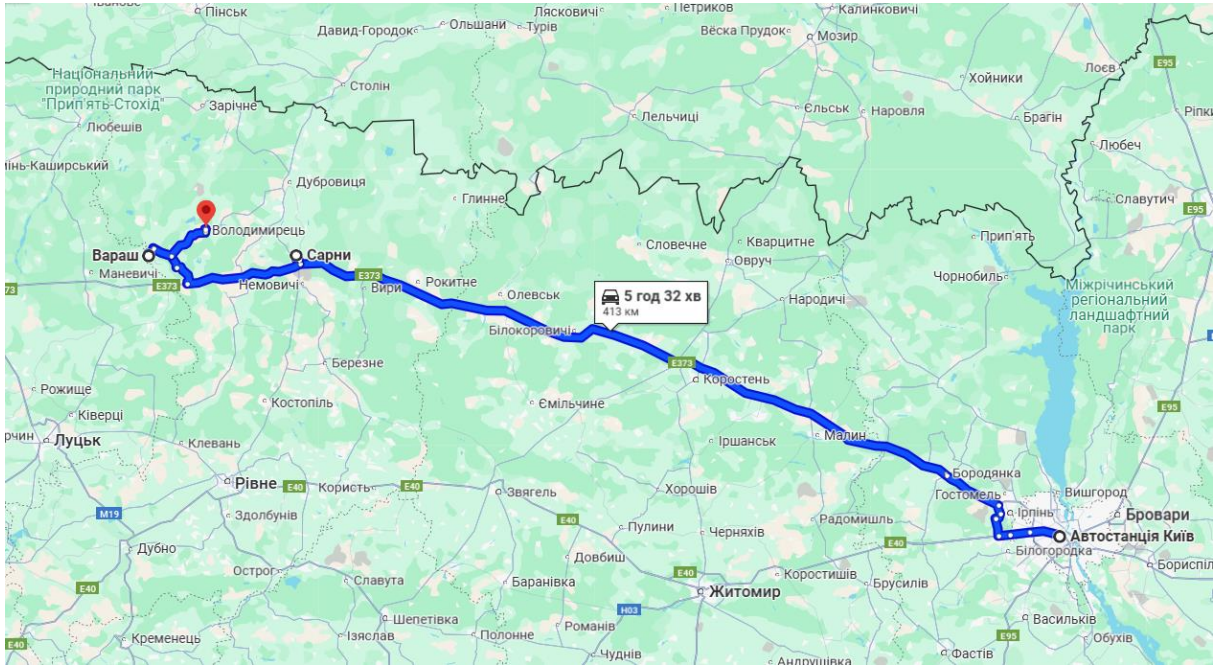


Рис. 3.1 Маршрут рейсу «Київ-Володимирець»

Таблиця 3.1 Виміри затримок передачі місцезнаходження автобуса
«Київ-Володимирець»

Розклад	Рейс 12.02	Рейс 15.05
9:45	0	0
10:00	0	0
10:15	6	0
10:30	18	3
10:45	0	2
11:00	0	0
11:15	0	0
11:30	5	0
11:45	7	0
12:00	21	2
12:15	15	0
12:30	0	4
12:45	5	0
13:00	9	0
13:15	10	0
13:30	17	0
13:45	15	2
14:00	10	2
14:15	0	0
14:30	0	0
14:45	5	0
15:00	5	4
15:15	5	0
15:30	16	3
15:45	10	2
16:00	0	0
16:15	0	0



Рис. 3.2 Порівняльний графік затримки зв'язку по рейсах «Київ-Володимирець»

Для наочного підтвердження підвищення ефективності системи проведено порівняння фактичного часу втрат зв'язку на маршруті "Київ — Володимирець" до і після впровадження модифікованої системи.

Параметри маршруту:

$$S = 410 \text{ км}$$

$$V = 70 \text{ км/год}$$

$$t_{\text{п}} = \frac{410}{70} \approx 5.86 \text{ год} \approx 5 \text{ год } 52 \text{ хв} \approx 352 \text{ хв.}$$

За даними моніторингу:

Таблиця 3.2 Розрахунки відносної ймовірності втрати зв'язку.

Стан системи	Час без зв'язку, $t_{\text{бз}}$, хв	Відносна ймовірність втрати зв'язку $P_{\text{с}}$
До модифікації	~ 100 хв	$\frac{100}{352} = 0.284$ (28%)
Після модифікації	~ 20 хв	$\frac{20}{352} = 0.056$ (5.6%)

Таким чином, час перебування автобуса без зв'язку після модифікації системи зменшився приблизно у 5 разів.

Приклад розрахунку ефективності на рейсі Київ-Познань

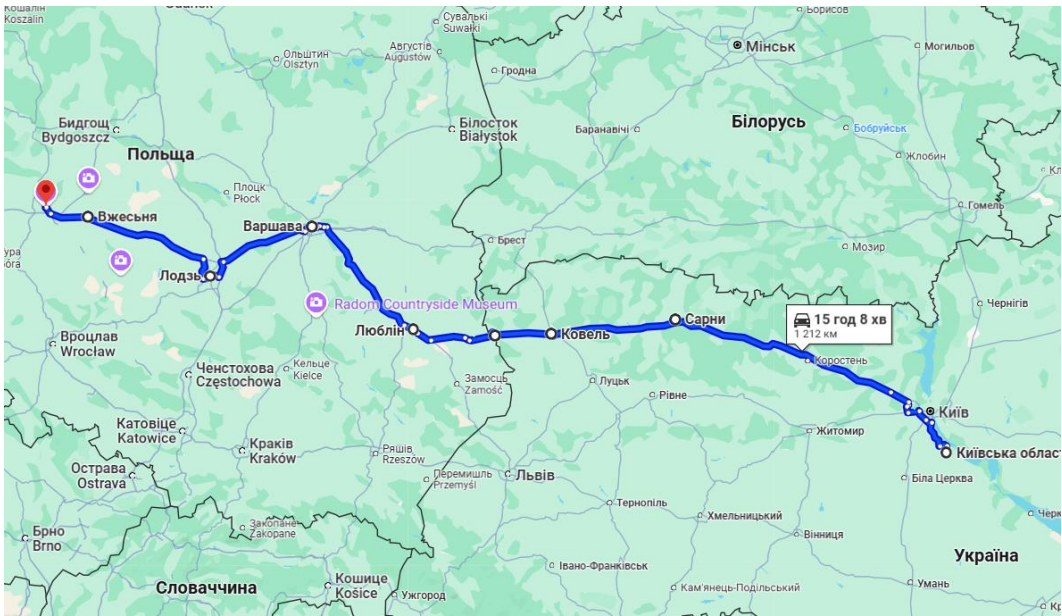


Рис. 3.3 Маршрут рейсу «Київ-Познань»

Таблиця 3.3 Виміри затримок передачі місцезнаходження автобуса «Київ-Познань»

Розклад	Рейс 13.02	Рейс 20.05
16:30	0	0
17:30	0	0
18:30	10	0
19:30	0	0
20:30	6	2
21:30	20	3
22:30	16	0
23:30	0	0
0:30	10	0
1:30	6	4
2:00	20	0
3:00	0	0
4:00	17	5
5:00	7	2
6:00	10	0
7:00	0	0
8:00	20	0
9:00	16	0
10:00	7	0
11:00	20	0
12:00	0	5

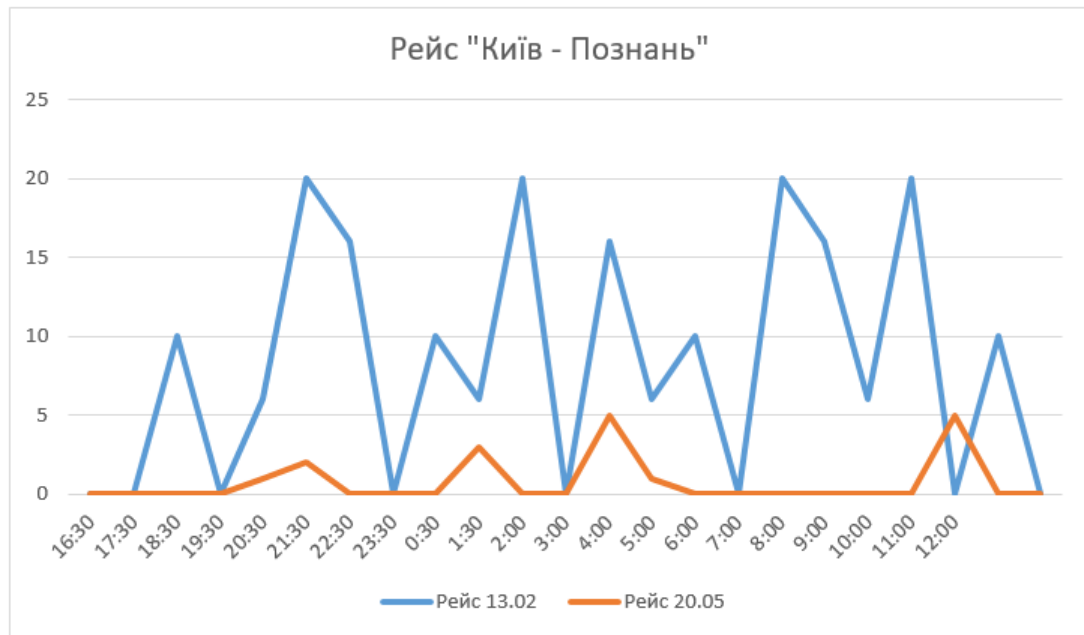


Рис. 3.4 Порівняльний графік затримки зв'язку по рейсах «Київ-Познань»

Для наочного підтвердження підвищення ефективності системи проведено порівняння фактичного часу втрат зв'язку на маршруті "Київ — Володимирець" до і після впровадження модифікованої системи.

Параметри маршруту:

$$S = 1200 \text{ км}$$

$$V = 70 \text{ км/год}$$

$$t_{\text{п}} = \frac{1200}{70} \approx 17.14 \text{ год} \approx 1029 \text{ хв.}$$

За даними моніторингу:

Табл. 3.4 Розрахунки відносної ймовірності втрати зв'язку.

Стан системи	Час без зв'язку, $t_{\text{бз}}$, хв	Відносна ймовірність втрати зв'язку P_c
До модифікації	~150 хв	$\frac{150}{1029} = 0.146 \text{ (14.6\%)}$
Після модифікації	~35 хв	$\frac{35}{1029} = 0.034 \text{ (3.4\%)}$

Таким чином, час перебування автобуса без зв'язку після модифікації системи зменшився приблизно у 4 рази.

Приклад розрахунку ефективності на рейсі Київ-Кельн

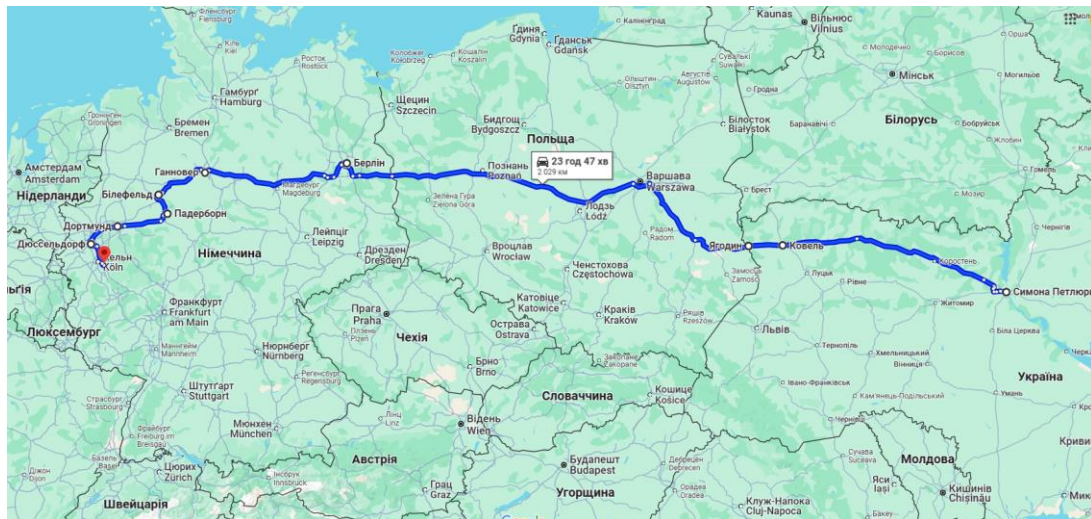


Рис. 3.5 Маршрут рейсу «Київ-Кельн»

Таблиця 3.5 Виміри затримок передачі місцезнаходження автобуса
«Київ-Кельн»

Розклад	Рейс 15.02-16.02	Рейс 10.05-11.05
9:45	0	0
11:45	0	0
13:45	17	5
15:45	15	7
17:45	10	0
19:45	0	0
21:45	25	8
23:45	20	5
1:45	5	0
3:45	10	0
5:45	0	6
7:45	15	2
9:45	10	4
11:45	4	0
13:45	0	0
15:45	18	2
17:45	5	5
19:45	22	6
20:25	0	0

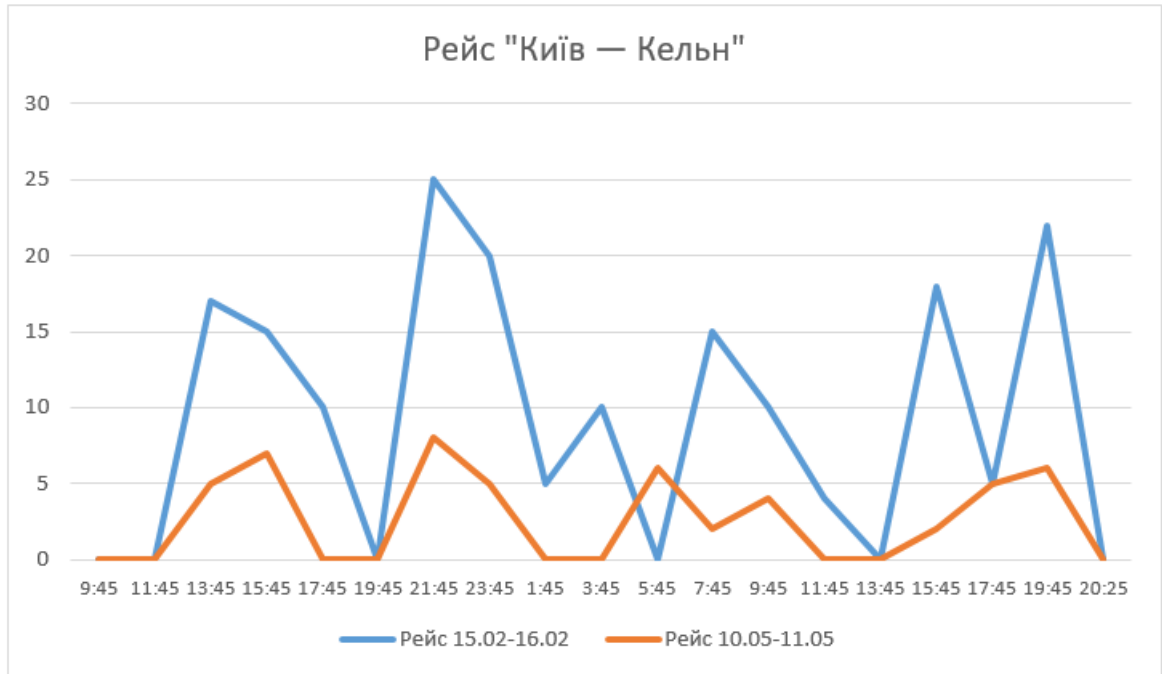


Рис. 3.6 Порівняльний графік затримки зв'язку по рейсах «Київ-Кельн»

Для наочного підтвердження підвищення ефективності системи проведено порівняння фактичного часу втрат зв'язку на маршруті "Київ — Кельн" до і після впровадження модифікованої системи.

Параметри маршруту:

$$S = 2130 \text{ км}$$

$$V = 70 \text{ км/год}$$

$$t_{\pi} = \frac{2130}{70} \approx 30.43 \text{ год} \approx 1826 \text{ хв.}$$

За даними моніторингу:

Таблиця 3.6 Розрахунки відносної ймовірності втрати зв'язку.

Стан системи	Час без зв'язку, $t_{\text{бз}}$, хв	Відносна ймовірність втрати зв'язку P_c
До модифікації	~197хв	$\frac{197}{1826} = 0.107 \text{ (10.7\%)}$
Після модифікації	~59 хв	$\frac{59}{1826} = 0.032 \text{ (3.2\%)}$

Таким чином, час перебування автобуса без зв'язку після модифікації системи зменшився приблизно у 3 рази.

Запровадження багатоканальної архітектури також дозволяє досягти вищої точності даних завдяки взаємній перевірці каналів. На відміну від старої схеми, де при виході з ладу одного каналу спостерігалася повна втрата зв'язку, у модифікованій системі кожен із каналів працює незалежно і забезпечує резервування інформаційного обміну. Технології Інтернету речей (IoT), які інтегровані у нову систему, забезпечують паралельний обмін даними по кількох каналах та автоматичне виявлення збоїв. Таким чином, у випадку втрати сигналу з одного джерела, інформація продовжує надходити через альтернативні канали.

Практично це можна проілюструвати наступним чином. Раніше, у випадку стоянки автобуса (наприклад, на території без прямої видимості супутників або у міській забудові), при відмові GPS система втрачала позицію і переходила у режим очікування. У новій архітектурі, навіть при тимчасовій недоступності одного з каналів (наприклад, GPS), система продовжує отримувати дані через LTE та/або Starlink (рис. 3.7).

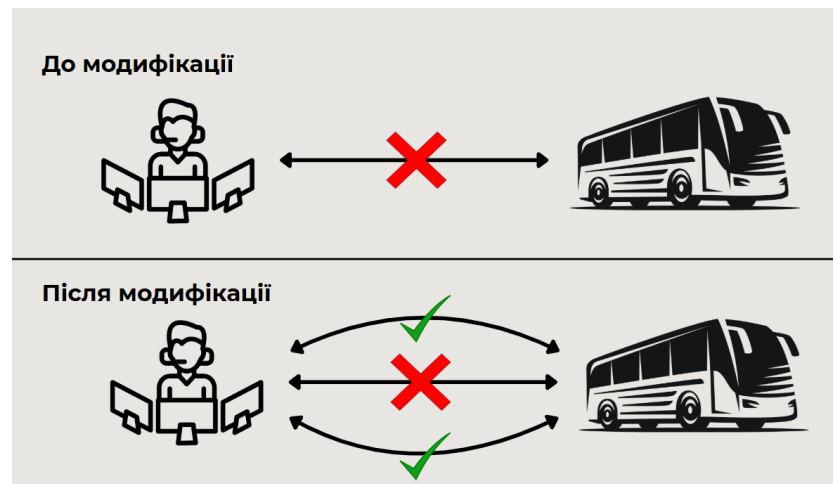


Рис. 3.7 Порівняння одноканальної та багатоканальної структури системи моніторингу автопарку.

Ще одним важливим результатом модифікації інфокомунікаційної системи моніторингу стало розширення переліку контрольованих параметрів транспортних засобів. На прикладі рисунка видно, що у попередній версії система фіксувала лише базові параметри, натомість зараз відображається розширений набір показників:

- додано датчик пробігу (CAN-шина);
- інтегровано датчик температури двигуна;
- додано інформацію про оберти двигуна;
- реалізовано канал зчитування розходу палива (фактичного).

Таким чином, кількість параметрів моніторингу істотно зросла, що дозволяє оператору отримувати набагато повнішу картину технічного стану транспортного засобу у реальному часі (рис 3.8).

VOLODSERVIS 16 BK5352HH Sprinter		4 с тому 2025-05-10 19:02:20
М-06, Львівська ТГ, Львівський р-н, Львівська обл., Україна, 0.43 км від Підбірці 81127		 
 74 км/год	 16	
Значення датчиків:		
Запалювання: Ввімкнено	Двигун: Вкл	
Датчик напруги: 14 В	Напруга бортової мережі: 14 В	
Розхід палива CAN: Н/Д	Датчик пробігу: 361665 км	
Датчик оборотів двигуна: 1817 об/	Температура двигуна: 85 °C	
VOLODSERVIS 13 PY 09702+		11 с тому 2025-05-30 18:12:17
М-07, Поліці 34375, Вараський р-н, Рівненська обл., Україна		 
 0 км/год	 18	
Значення датчиків:		
Запалювання: Ввімкнено	Двигун: Ввімкнено	
Датчик напруги: 28 В	Датчик рівня палива 1: 215	
Датчик рівня палива 2: 209	Датчик палива сумарно: 425 л	

Рис. 3.8 Передача показників автобуса у системі.

Тепер також з'явилася можливість відстежувати фактичний розхід палива у режимі реального часу - це дало змогу впровадити автоматизований контроль за заправками та зливами пального. Завдяки розширенню системи датчиків, інформація про рівень і витрати палива тепер автоматично фіксується у звітних формах, що дозволяє оперативно виявляти несанкціоновані зливи пального, забезпечувати повний облік заправок на маршрутах та контролювати фактичний розхід палива для кожного транспортного засобу (рис 3.9).

Заправки							
№	Групування	Час	Поч. рівень	Заправлено	Кінц. рівень	Місцезнаходження	Кіл-сть
1	VOLODSERVIS 4 BK5010HI+	2025-05-22 15:44:38	315 л	189 л	504 л	М-07, Малинська ТГ, Коростенський р-н, Житомирська обл., Україна, 2.04 км від Українка 11633	1
-----	Всього	-----	-----	189 л	-----	-----	1

Зливи			
Групування	Час	Злито	Кіл-сть
VOLODSERVIS 4 BK5010HI+	2025-05-22 19:52:04	243 л	3

Рис. 3.9 Автоматизований звіт про заправки та зливи пального.

Висновки до розділу 3

Після проведення аналізу можна підсумувати, що модифікація інфокомунікаційної системи моніторингу автопарку забезпечила суттєве підвищення її ефективності за кількома напрямками.

По-перше, впровадження багатоканальної архітектури зв'язку значно зменшило ймовірність повної втрати зв'язку з транспортними засобами. Теоретичні розрахунки та практичні результати підтверджують, що часи перебування без зв'язку скоротилися у 5–7 разів порівняно з попередньою архітектурою.

По-друге, модифікація дозволила розширити перелік параметрів, які підлягають моніторингу в режимі реального часу. Завдяки інтеграції нових

датчиків тепер фіксуються такі додаткові показники, як розхід палива, температура двигуна, оберти двигуна та інші дані з CAN-шини.

По-третє, з'явилася можливість автоматизованого контролю за заправками та зливами пального, що відкриває нові можливості для оперативного управління витратами та підвищення економічної ефективності автопарку.

Загалом, проведений порівняльний аналіз підтверджує, що модифікована система забезпечує вищу надійність, більшу точність та розширений функціонал моніторингу, що безпосередньо сприяє підвищенню якості управління транспортною логістикою підприємства.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО МОНІТОРИНГУ АВТОПАРКУ

З огляду на результати аналізу, проведеного у попередніх розділах, можна сформулювати ряд рекомендацій щодо ефективного впровадження та використання інфокомунікаційної системи моніторингу автобусного парку (рис. 4.1).



Рис. 4.1 Рекомендації щодо ефективного моніторингу автопарку.

4.1 Технічні рекомендації щодо побудови архітектури системи

З технічної точки зору, при побудові сучасної інфокомунікаційної системи моніторингу автобусного парку доцільно впроваджувати багатоканальну архітектуру зв'язку, що поєднує GPS, LTE та супутникові канали (зокрема Starlink). Такий підхід дозволяє забезпечити максимальну надійність обміну даними та звести до мінімуму ризику втрати зв'язку. Важливим є також впровадження резервування каналів на апаратному рівні — для цього слід використовувати відповідні модеми та антени з можливістю автоматичного перемикавання між каналами у разі збоїв або зниження якості зв'язку. Крім того, рекомендується застосовувати сучасні телематичні пристрої з підтримкою CAN-

шини, що дає змогу інтегрувати значно розширений перелік контрольованих параметрів та отримувати більш повну і достовірну інформацію про технічний стан транспортних засобів у реальному часі.

4.2 Рекомендації щодо вибору та підключення датчиків

1. Обов'язкове підключення датчиків:

- GPS-модуль для визначення позиції;
- датчики рівня палива (щонайменше два — для підвищення точності);
- датчики обертів двигуна;
- температурні датчики двигуна;
- датчики напруги бортової мережі

2. За можливості — інтеграція з CAN-шиною транспортного засобу для зчитування пробігу, даних по витраті палива, стану двигуна та інших параметрів.

3. Використовування каліброваних сертифікованих датчиків, що забезпечують точність вимірювань, достатню для формування звітів.

4.3 Рекомендації щодо експлуатації системи моніторингу

Для ефективної експлуатації системи моніторингу автобусного парку важливо організувати постійну фонову передачу даних з усіх транспортних засобів у централізовану систему збору та обробки інформації. Це забезпечить своєчасне надходження актуальних даних та їх використання для прийняття управлінських рішень. Не менш важливим є впровадження механізмів автоматичної генерації звітів за ключовими параметрами, зокрема щодо маршрутів руху, витрат пального, заправок і зливів, а також технічного стану транспортних засобів. Рекомендується встановити чіткий регламент перевірки коректності роботи системи та підключених датчиків, що дозволить підтримувати високу якість моніторингу. Крім того, слід регулярно проводити аналіз зібраних даних для виявлення тенденцій у роботі автопарку, оптимізації

маршрутів та підвищення загальної ефективності використання транспортних засобів.

4.5 Рекомендації щодо подальшого розвитку системи

- Розглянути можливість впровадження аналітичних модулів на основі штучного інтелекту для прогнозування технічного обслуговування та оптимізації маршрутів [30], [31].
- Інтегрувати систему моніторингу з касовими модулями та системами обліку пасажиропотоку.
- Поступово впроваджувати моніторинг параметрів безпеки руху (аналіз манери водіння, різких гальмувань, перевищення швидкості тощо).
- Забезпечити масштабованість системи для оперативного підключення нових транспортних засобів до моніторингу.

Реалізація зазначених рекомендацій дозволить не лише підвищити технічний рівень системи моніторингу, але й створити єдине інформаційне середовище, що об'єднуватиме усіх учасників транспортного процесу — від водіїв та диспетчерів до керівництва підприємства та пасажирів. Впровадження автоматизованої аналітики, інтеграції з суміжними системами обліку та обслуговування, а також розвиток сервісів для пасажирів сприятиме підвищенню якості транспортних послуг, оперативності управлінських рішень та ефективності використання ресурсів автопарку в цілому.

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі було сформовано практичні рекомендації щодо впровадження та подальшого розвитку інфокомунікаційної системи моніторингу автобусного парку. Запропоновано технічні рішення щодо побудови

багатоканальної архітектури зв'язку, вибору та підключення телематичних датчиків, а також організації ефективної експлуатації системи.

Наголошено на доцільності впровадження автоматизованих механізмів збору, аналізу та обробки даних, інтеграції з інформаційними сервісами для диспетчерів та пасажирів, а також розвитку системи на базі сучасних IoT-платформ. Запропоновано напрями подальшої еволюції системи — впровадження аналітичних модулів на основі ШІ, розширення функціональності для контролю безпеки руху та забезпечення масштабованості для роботи з великим автопарком.

Сформовані рекомендації створюють основу для практичного впровадження та довгострокового розвитку системи, спрямованої на підвищення ефективності управління транспортними процесами та якості надання послуг.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У ході виконання дипломної роботи було здійснено комплексне дослідження проблем і перспектив розвитку інфокомунікаційних систем моніторингу автобусного парку. Робота включала аналітичний, проектний та експериментальний етапи, що дозволило досягти поставлених цілей та виконати основні завдання.

На першому етапі було проведено аналіз сучасних систем моніторингу автобусного транспорту. За рахунок вивчення публікацій, досвіду впровадження комерційних рішень та аналізу практичної експлуатації визначено основні проблеми, притаманні сучасним системам. До них віднесено нестабільність зв'язку під час руху, збої у роботі GPS-трекерів, затримки у передачі відео- та телеметричних даних, відсутність централізованого оброблення інформації, а також фрагментарність інтеграції з іншими компонентами транспортної системи. Це дало змогу сформулювати вимоги до модифікованої архітектури системи моніторингу.

На другому етапі було розроблено та запропоновано модифіковану архітектуру інфокомунікаційної системи моніторингу. За рахунок впровадження багатоканальної архітектури зв'язку (поєднання GPS, LTE та супутникового каналу Starlink), розширення складу датчиків (CAN-шина, датчики рівня пального, температури двигуна, обертів, напруги тощо), а також інтеграції нових механізмів інформаційної взаємодії (автоматизовані розсилки повідомлень через ALPHASMS, використання сучасних LED-табло для інформування пасажирів), було забезпечено підвищення надійності, функціональності та зручності експлуатації системи.

На третьому етапі було здійснено оцінку ефективності запропонованої модифікованої системи. За рахунок практичного дослідження на реальних маршрутах — "Київ — Володимирець", "Київ — Познань", "Київ — Кельн" —

було отримано об'єктивні показники роботи до і після впровадження нових рішень. Порівняльний аналіз результатів продемонстрував істотне зменшення часу втрат зв'язку (у 5–7 разів), зростання точності та повноти зібраних телеметричних даних, а також забезпечення стабільності каналів зв'язку навіть у складних умовах маршруту.

Додатково було протестовано автоматизований моніторинг заправок та зливів пального, що дозволить підвищити прозорість обліку пального та запобігти можливим зловживанням.

У четвертому розділі було сформовано практичні рекомендації щодо подальшого вдосконалення системи моніторингу автобусного парку. За рахунок аналізу отриманих результатів та сучасних тенденцій у розвитку транспортної телематики було обґрунтовано доцільність впровадження інтегрованого інформаційного середовища для взаємодії диспетчерів, технічних служб та пасажирів, а також регулярного аналізу накопичених даних для оптимізації маршрутів, підвищення ефективності використання транспортних засобів і планування технічного обслуговування. Окрему увагу було приділено розвитку сервісів для пасажирів — зокрема, оперативному інформуванню про зміни у розкладі, прогнозу прибуття автобусів та інших функцій, що підвищують якість транспортного обслуговування.

Узагальнюючи результати виконаної роботи, можна зробити висновок, що розроблена та впроваджена модифікована інфокомунікаційна система моніторингу автобусного парку дозволяє суттєво підвищити ефективність управління транспортними процесами, покращити взаємодію між усіма учасниками інформаційного обміну — диспетчерами, водіями та пасажирами — а також знизити експлуатаційні витрати підприємства. Запропоновані рішення підтвердили свою ефективність у реальних умовах та можуть бути рекомендовані до впровадження на підприємствах, що здійснюють пасажирські перевезення, зокрема у рамках діяльності ТОВ "Володимирецьтранссервіс".

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Трансконтроль. Офіційний сайт системи моніторингу транспорту. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://transcontrol.com.ua/>
2. Система GPS-моніторингу «Компас». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.compas.org.ua/>
3. UITP. The Internet of Things in Public Transport [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2021/01/IOT-KB-final.pdf>.
4. Capturs. How often do GPS trackers for vehicles send positions? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.capturs.com/en/frequency-positions-vehicules-gps-trackers>
5. ТОВ «Володимирецьтранссервіс». Офіційний сайт компанії [Електронний ресурс] <https://voltransservis.com.ua/>
6. Інструкція користувача сервісом AlfaSMS [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://alfasms.com.ua/>
7. Башинська І. О., Філіппов В. Ю. Розумна система міського пасажирського транспорту як складова Smart City : монографія. — Одеса : Одеський національний політехнічний університет, 2018. — 95-116 с.
8. Власенко Т. І. Аналіз застосування IoT для дослідження трафіку на автошляхах : дипломна робота на здобуття ступеня бакалавра / Тетяна Ігорівна Власенко ; Нац. техн. ун-т України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", ІТС, каф. Інформаційно-телекомунікаційних мереж. — 31-56 с.
9. Беляєв О. В., Кравчук О. М., Беляєв О. П. Системи супутникової навігації і моніторингу : навч. посібник. — Київ : НАУ, 2015. — 208 с.
10. Стрельнікова І. О., Артемова Ю. О. Супутникові системи навігації і моніторингу транспорту; Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2015. — 60 с
11. Intranso. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://intranso.com/products>

12. Срібна І.М., Є.І. Махонін, Власенко Г.М., Кирпач Л.А. Супутникові системи зв'язку і навігації. Навч. посібник. — К.: ДУТ, 2019. — 83 с.
13. IoT in Transportation: Use Cases and Benefits [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.a3logics.com/blog/iot-in-transportation>
14. Богдан А.С., Курдеча В.В. Система зв'язку наземного транспорту пасажирських перевезень// XVII Міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» ПРІТС 2025
15. Богдан А.С., Курдеча В.В. Особливості моніторингу автобусного парку//// XIX Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2025
16. Ключев С.О., Подгорна В.С. Підвищення інформаційної безпеки систем моніторингу та диспетчерського регулювання Інтелектуальні Транспортні Системи: Екологія, Безпека, Якість, Комфорт: збірник тез доповідей міжнародної наукової конференції. Київ: НТУ, 2022. Вип. 1. С.76–79
17. Ключев С. О., Ревунь М. А., Цимбал О. В. Аналіз системи моніторингу та диспетчерського регулювання наземного транспорту // Вісник машинобудування та транспорту. — 2023. — № 1(17). — С. 64–70. — DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-17-1-64-70>.
18. Пітенко М. М., Костюченко В. В. Транспортні телематичні системи : навч. посібник. — Київ : НАУ, 2017. — 244 с
19. Мартинюк І. В., Красніков В. Г. Інфокомунікаційні системи та мережі : навч. посібник. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. — 312 с..
20. Як IoT трансформує транспорт та логістику? [Електронний ресурс] // SYNEX Logistics. — Режим доступу: <https://synexlogistics.com/ua-uk/statti/rol-iot-v-suchasnyh-perevezennyah-i-biznes-logistyczi/>

21. Від оптимізації маршрутів до зменшення витрат: як IoT допомагає в логістиці [Електронний ресурс] // Delo.ua. — Режим доступу: <https://delo.ua/telecom/vid-optimizaciyi-marsrutiv-do-zmensennya-vitrat-yak-iot-dopomagaje-v-logistici-431320/>
22. Мартин Є. В. Об'єктно-орієнтоване управління проектами маршрутних перевезень засобами GPS-моніторингу // Вісник ЛДУБЖД. — Львів : ЛДУБЖД, 2013. — № 8. — С. 101–107
23. Зварич І. А., Дубова С. В. Особливості розвитку наземного пасажирського транспорту в містах України // Містобудування та територіальне планування. — Київ : Київський національний університет будівництва та архітектури. — 2013. — Вип. 50. — С. 207–211
24. О.М. Гончаренко, Г.Л. Авдєєнко «ПРИЙМАЧ СИГНАЛІВ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ GPS»
25. А. Задемленюк «АНАЛІЗ GNSS-ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОБОТИ У RTK РЕЖИМІ»
26. Є.Т. Скорик, В.М. Кондратюк Застосування супутникових технологій навігації та зв'язку у автотранспортній галузі // Наука та інновації. — 2007. — Т. 3, № 1. — С. 67-83. — Бібліогр.: 11 назв. — укр.
27. Паламарчук Л. І. Супутникова система моніторингу автомобільного транспорту : дипломна робота; наук. керівник О. С. Погурельський. — Київ : Національний авіаційний університет, 2021. — 82 с.
28. Бережна Н. Г. Інтернет речей в транспортній системі // Збірник наукових праць ХНТУСГ. — 2020.
29. Янковська Д. А. «Розумна» транспортна система на основі «Інтернет речей» : дипломна робота магістра / ТНТУ ім. І. Пулюя, 2019. — 140 с.
30. Використання технологій Інтернету речей (IoT) для оптимізації логістичних процесів [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://cargofy.ua/uk/blog/vikoristannya-tehnologii-internetu-rechei-iot-dlya-optimizaciji-logistichnih-procesiv>

31. AI та IoT: управління транспортом у розумних містах [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.unite.ai/uk>
32. Шаповалов Д. В. Інформаційно-аналітична система моніторингу транспортного комплексу міста : дипломна робота / Д. В. Шаповалов ; наук. керівник В. Г. Буров. — Київ : Національний технічний університет України "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2021. — 90 с. — Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/items/0f79aa18-73a0-4fb0-b086-1fc4e50a739d>