

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Інтелектуальна система моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів

Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Шифр КвРКІ 301113.23.01.08 ПЗ

Виконав здобувач IV курсу, група KI2c-23-1



Павло ЛАХМАН

Підпис

Ініціали, прізвище

Керівник

Науковий ступінь, учене звання



Підпис

Володимир КИСІЛЬ

Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Науковий ступінь, учене звання



Підпис

Сергій ЛИСЕНКО

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС

01 » червня 2026 р.

дата



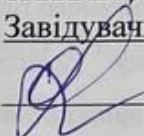
Підпис

Ольга ПАВЛОВА

Ініціали, прізвище

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)
Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ
Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедри КІС

Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лахману Павлу Олеговичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Інтелектуальна система моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів

Керівник проекту (роботи) Кисіль Володимир Володимирович

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Інтелектуальна система моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів та постановка задачі щодо її удосконалення

Проектування інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів

Програмно-апаратна реалізація інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) _____

Апаратне забезпечення проекту

Архітектура інтелектуальної системи

Архітектура ПЗ проекту

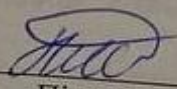
6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	24.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач  Підпис Павло ЛАХМАН
Імя, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи  Підпис Володимир КИСІЛЬ
Імя, ПРІЗВИЩЕ

№ р я д к а	ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л · л и с т і в	№ е к з	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Пояснювальна записка	58		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 30113.23.01.08 Е8	Апаратне забезпечення проєкту	1		
3		КвРКІ 30113.23.01.08 Е8	Архітектура інтелектуальної системи	1		
4		КвРКІ 30113.23.01.08 Е8	Архітектура ПЗ проєкту	1		

КвРКІ 30113.23.01.08 ВП

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дат а
Розроби в		Лахман		01.06
Перевір.		Кисіль		01.06
Н. контр.		Лисенко		01.06
Затв.		Паврова		01.06

Відомість проєкту

Літера	Аркуш	Аркушів
У	1	1

ХНУ, КІ2с-23-1

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Інтелектуальна система моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів».

Автор роботи: Павло ЛАХМАН.

Керівник роботи: Володимир КИСІЛЬ.

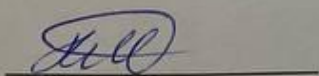
Пояснювальна записка: 58 с., 10 рис., 1 табл., 3 дод., 55 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

МІКРОКОНТРОЛЕР, СЕНСОРИ ВАГИ, АЛГОРИТМ, ЗАПОВНЕНІСТЬ, ПАСАЖИРОПОТІК, ГРОМАДСЬКИЙ ТРАНСПОРТ .

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці та аналізу програмно-апаратної інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та засобів підрахунку пасажирів. Актуальність теми зумовлена зростанням потреби в об'єктивному контролі пасажиропотоку, підвищенні ефективності використання рухомого складу та покращенні якості міських перевезень.

Метою роботи є створення програмно-апаратної системи, здатної автоматично визначати рівень заповненості транспортного засобу шляхом поєднання даних із вагових сенсорів і лічильників пасажирів. Для досягнення поставленої мети проаналізовано особливості функціонування громадського транспорту, розглянуто сучасні підходи до автоматичного підрахунку пасажирів, обґрунтовано вибір апаратних компонентів, сформовано структурну та функціональну схеми системи, розроблено алгоритм визначення заповненості та описано передавання результатів до вебінтерфейсу моніторингу.



Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналіз предметної області та постановка задачі створення інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту.....	6
1.1 Особливості функціонування громадського транспорту та проблема контролю його заповненості.....	6
1.2 Аналіз існуючих підходів до підрахунку пасажирів і оцінки завантаженості транспорту.....	8
1.3 Використання сенсорів ваги та лічильників пасажирів у транспортних і вбудованих системах.....	13
1.4 Інтелектуальні та кіберфізичні системи як основа сучасних систем моніторингу.....	16
1.5 Постановка задачі створення інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту.....	18
1.6 Висновки до першого розділу.....	19
2 Розроблення інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту.....	21
2.1 Загальна архітектура системи моніторингу.....	21
2.2 Обґрунтування вибору апаратних компонентів системи.....	23
2.3 Розроблення структурної схеми системи.....	27
2.4 Організація збору, обробки та аналізу даних.....	34
2.5 Організація передавання даних та взаємодії з користувачем.....	38
2.6 Висновки до другого розділу.....	41
3 Програмно-апаратна реалізація інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту.....	43
3.1 Формування апаратного вузла системи моніторингу.....	43
3.2 Реалізація програмної логіки мікроконтролера ESP32.....	46

КвРКІ 30113.23.01.08 ПЗ

Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Павло ЛАХМАН		02.06	Інтелектуальна система моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів. Пояснювальна записка	у	2	58
Перевір.		Володимир КИСІЛЬ		02.06				
Н.контр.		Сергій ЛИСЕНКО		02.06				
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		02.06				

ХНУ КІ2с-23-1

ВСТУП

Кваліфікаційна робота присвячена створенню інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту на основі використання сенсорів ваги та засобів підрахунку пасажирів. Актуальність обраної тематики зумовлена сучасними умовами розвитку міської транспортної інфраструктури, у межах яких щоденно здійснюється перевезення значної кількості пасажирів за маршрутами зі змінним і нерівномірним навантаженням. Практика експлуатації громадського транспорту показує, що протягом доби та тижня інтенсивність пасажиропотоку істотно коливається, унаслідок чого в години пік спостерігається перевантаження салонів, а в інші періоди - неефективне використання рухомого складу. За відсутності об'єктивної та безперервної інформації про реальний рівень заповненості транспортних засобів планування роботи маршрутів і прийняття управлінських рішень часто ґрунтується на узагальнених або застарілих даних, що не відображають поточний стан системи перевезень.

Сучасний розвиток інформаційних і вбудованих технологій уже сформував передумови для переходу від приблизних оцінок до автоматизованого збору та аналізу даних у режимі, близькому до реального часу. У транспортній галузі дедалі більшого значення набувають інтелектуальні та кіберфізичні системи, у яких фізичні вимірювання поєднуються з програмною обробкою та аналітикою. Контроль заповненості громадського транспорту в цьому контексті розглядається як один із ключових показників, що безпосередньо впливає на рівень комфорту й безпеки перевезень, ефективність використання ресурсів і можливість адаптивного керування маршрутною мережею. Водночас наявні підходи до підрахунку пасажирів або оцінки навантаження часто мають обмеження, пов'язані з похибками вимірювань, складністю умов експлуатації та накопиченням помилок у часі. Це створює потребу в комбінованих рішеннях, де постійний облік пасажирів

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доповнюється фізичним вимірюванням навантаження за допомогою сенсорів ваги.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є створення інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту, яка забезпечує отримання об'єктивних і відтворюваних даних про рівень навантаження транспортного засобу в процесі експлуатації на основі поєднання сенсорів ваги та засобів підрахунку пасажирів. Досягнення поставленої мети передбачає формування узгодженої програмно-апаратної архітектури, здатної виконувати збір, обробку та узагальнення сенсорної інформації з урахуванням реальних умов роботи міського транспорту.

Об'єктом кваліфікаційної роботи є процес моніторингу заповненості та пасажиропотоку в громадському транспорті в умовах міської експлуатації. Предметом кваліфікаційної роботи є програмно-апаратні засоби та методи побудови вбудованої інтелектуальної системи контролю заповненості транспортного засобу на основі сенсорів ваги та лічильників пасажирів.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання низки взаємопов'язаних завдань, спрямованих на поступове формування програмно-апаратного рішення. Насамперед проаналізовано особливості функціонування громадського транспорту та наявні підходи до підрахунку пасажирів, після чого обґрунтовано доцільність використання комбінованого методу на основі сенсорів ваги та лічильників проходу. Далі сформовано загальну архітектуру системи, визначено склад апаратних компонентів, описано принципи збору й обробки даних, а також передбачено організацію передавання інформації до вебінтерфейсу моніторингу. Практична частина роботи орієнтована на реалізацію апаратного вузла, програмної логіки мікроконтролера ESP32, алгоритму визначення заповненості та перевірку працездатності системи в тестових умовах.

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ СТВОРЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАПОВНЕНОСТІ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

1.1 Особливості функціонування громадського транспорту та проблема контролю його заповненості

У кваліфікаційній роботі сфера громадського транспорту розглядається як складна багаторівнева система, у межах якої поєднуються технічні, організаційні та соціальні процеси [6, 7, 38]. Перевезення пасажирів у міських умовах уже відбувається в середовищі з постійно змінними параметрами, де на інтенсивність руху та рівень завантаженості впливають не лише розклад і кількість задіяних транспортних засобів, а й щільність міської забудови, структура робочих і житлових районів, погодні умови, сезонні коливання та подієві фактори [8, 14, 19]. Унаслідок цього система громадського транспорту функціонує в режимі постійної динаміки, коли одні й ті самі маршрути протягом дня переходять від стану майже повного завантаження до стану помітного недовантаження [13, 18, 41]. Така нерівномірність уже сформувала стійку проблему ефективного використання рухомого складу та планування графіків руху [10, 17].

Практика експлуатації міського транспорту показує, що основні управлінські рішення щодо кількості рейсів, інтервалів руху та розподілу транспортних засобів часто приймаються на основі узагальнених або історичних даних [12, 15]. При цьому реальна картина заповненості салонів у конкретний момент часу залишається лише частково відомою або взагалі не фіксується в автоматичному режимі [1, 32]. У багатьох випадках оцінка кількості пасажирів здійснюється візуально або за допомогою періодичних перевірок, що не дозволяє отримати безперервний і об'єктивний потік інформації [2, 29]. У підсумку між фактичним станом системи та даними, на основі яких відбувається планування, виникає розрив, що безпосередньо

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

впливає на якість перевезень і економічну ефективність роботи перевізників [9, 20].

Особливо помітною ця проблема стає в години пікового навантаження, коли перевищення місткості транспортного засобу перетворюється на звичне явище [11, 16]. Переповнений салон ускладнює посадку та висадку пасажирів, збільшує час зупинок на зупинках, погіршує умови перебування людей у транспорті та створює додаткові ризики з погляду безпеки руху [3, 21, 36]. Водночас у міжпікові періоди частина маршрутів працює з недостатнім завантаженням, що призводить до нераціонального використання ресурсів, зростання витрат на експлуатацію та зниження загальної ефективності транспортної системи [17, 24]. За відсутності точних і оперативних даних про реальну кількість пасажирів ці процеси залишаються важкокерованими, а можливості їх оптимізації суттєво обмежуються [5, 28].

Сучасний розвиток міської інфраструктури вже орієнтується на використання автоматизованих засобів збору та аналізу інформації, які дозволяють переходити від приблизних оцінок до вимірювань, заснованих на реальних даних [6, 14, 37]. У транспортній галузі такий підхід поступово стає основою для побудови інтелектуальних систем управління, де рішення щодо організації руху приймаються з урахуванням поточної ситуації на маршрутах [7, 23, 38]. Проте на практиці впровадження подібних рішень часто стримується складністю технічної реалізації, високою вартістю обладнання або необхідністю суттєвих змін у наявній інфраструктурі [25, 31]. Унаслідок цього значна частина перевізників продовжує працювати в умовах обмеженої інформації про реальний стан заповненості транспорту [1, 12].

Контроль заповненості салонів у цьому контексті набуває особливого значення, оскільки саме цей показник безпосередньо відображає відповідність між попитом на перевезення та пропозицією транспортних послуг [18, 22]. Наявність об'єктивних даних про кількість пасажирів дозволяє не лише фіксувати перевантаження або недовантаження, а й аналізувати тенденції

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пасажиропотоку, виявляти проблемні ділянки маршрутної мережі та оцінювати ефективність прийнятих управлінських рішень [4, 10, 27]. Це створює передумови для більш гнучкого планування роботи транспорту, коригування інтервалів руху та раціональнішого розподілу рухомого складу між маршрутами [13, 17, 35].

У межах цієї кваліфікаційної роботи проблема контролю заповненості громадського транспорту вже розглядається як одна з ключових для підвищення якості та ефективності перевезень [8, 19, 41]. Сформувалася потреба у впровадженні технічно доступного та надійного рішення, яке забезпечує автоматичну фіксацію кількості пасажирів і фактичного навантаження на транспортний засіб у процесі експлуатації [1, 26, 33]. Використання таких даних дозволяє перейти від суб'єктивних оцінок до точних вимірювань, а також створює основу для побудови більш адаптивної та керованої системи міських перевезень [6, 23, 30]. Унаслідок цього контроль заповненості перестає бути допоміжною функцією і перетворюється на важливий елемент сучасної транспортної інфраструктури, що відповідає вимогам розвитку інтелектуальних систем управління міським середовищем [7, 38, 41].

1.2 Аналіз існуючих підходів до підрахунку пасажирів і оцінки завантаженості транспорту

Реальна експлуатація маршрутів показує, що перевізнику потрібні не разові підрахунки, а стабільний потік даних, прив'язаний до конкретного рейсу, зупинки, часу та напрямку руху [10, 12, 27]. Саме тому історично сформувалися два великі підходи: ручний облік і автоматизовані системи Automatic Passenger Counting (APC) [1, 29]. Ручний облік часто використовується як тимчасове рішення, але він майже завжди дає фрагментарну картину: охоплюються лише окремі рейси й часові вікна, на результат впливають людський фактор і

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

складність контролю в години пік [2, 15]. На цьому фоні автоматизовані системи стали базовим інструментом для регулярного збору показників пасажиропотоку, а також для подальшої аналітики, планування інтервалів і контролю відповідності попиту та пропозиції на маршрутах [6, 18, 41].

Найпоширеніший технічний принцип APC у наземному транспорті пов'язаний із встановленням сенсорів у дверних зонах [1, 31]. Саме двері є “контрольним перетином”, через який проходить потік посадки та висадки, тому сенсори в цій області дозволяють отримати подієві дані: скільки пасажирів зайшло, скільки вийшло, а також як змінюється наповнення салону між зупинками [3, 9]. У практичних системах ці події зазвичай доповнюються часовими мітками, координатами та прив'язкою до розкладу, щоб дані не перетворювалися на абстрактні числа, а стали основою для управлінських рішень [12, 23]. Сам підрахунок може виконуватися різними сенсорними методами: інфрачервоні промені, стерео/відеоаналіз, 3D-сенсори, а також альтернативні підходи на основі сигналів пристроїв пасажирів [1, 16, 32]. Узагальнено такі компоненти APC систем описуються і в прикладних галузевих матеріалах, де згадуються дверні інфрачервоні масиви, камери та інші джерела даних, що поєднуються в єдину систему обробки [31, 38].

Окрему категорію складають готові рішення на базі 3D-сенсорів, які вимірюють “глибину сцени” у зоні дверей і рахують людей за просторовим профілем [1, 33]. Одним із найбільш відомих промислових прикладів є IRMA MATRIX від IRIS [34]. У продуктових матеріалах підкреслюється, що сенсор працює на технології Time-of-Flight і формує 3D-уявлення про об'єкти у зоні контролю, завдяки чому підрахунок виконується стабільніше за умов змін освітлення та фону, а також зручніше інтегрується у транспортні задачі [34, 35]. У технічному описі прямо зазначено, що IRMA MATRIX є сенсором автоматичного підрахунку пасажирів із ToF-матрицею, орієнтованим на транспортні застосування [34]. Такі сенсори часто обираються саме тоді, коли

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потрібно мінімізувати вплив типових “міських” факторів: нестабільне світло, тіні, відблиски, сезонний одяг і щільний потік людей у години пік [1, 33].

Паралельно на ринку закріпилися виробники, які пропонують не лише сенсор як окремий пристрій, а й закінчену APC-екосистему з методиками калібрування, збором телеметрії та аналітикою [36]. Як приклад можна навести DILAX з лінійкою Automatic Passenger Counting, де акцент зроблено на промисловій готовності та високій точності підрахунку посадок і висадок із можливістю розширеної класифікації подій у дверній зоні [36, 37]. У публічних матеріалах DILAX сенсори позиціонуються як рішення для надійного підрахунку в громадському транспорті та наводяться показники точності для практичних сценаріїв [36].

Ще одним показовим прикладом готового рішення є INIT MOBILE-APC, яке орієнтоване на інтеграцію з диспетчеризацією та аналітичними модулями [37]. У матеріалах INIT наголошується, що система забезпечує автоматичну та безперервну реєстрацію посадок і висадок, а також може виконувати узгодження підрахунків із розкладом і формувати звіти для аналізу попиту та планування [37, 23]. Система автоматичного підрахунку пасажирів GPSM Pass-track зображена на рисунку 1.1.

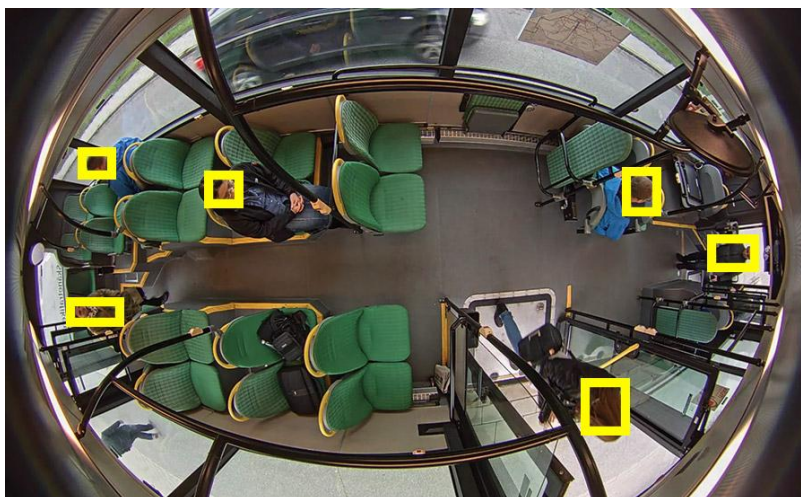


Рисунок 1.1 - GPSM Pass-track система автоматичного підрахунку пасажирів [53]

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На сторінках рішень INIT згадується використання IRMA-сенсора як одного з точних сенсорних модулів, а також описується застосування даних для оперативної аналітики й передачі в режимі, близькому до реального часу [34, 37]. Це демонструє, як APC у реальних впровадженнях перетворюється на частину ширшої системи управління транспортом, де підрахунок є лише першим рівнем, а далі підключається програмна обробка та аналітика [6, 23].

На ринках Північної Америки широко відомі рішення Clever Devices, зокрема лінійка CleverCount [39]. У матеріалах Clever Devices APC описується як інструмент для планування перевезень на основі реального попиту, із використанням сенсорних технологій у дверній зоні та наведенням типових для комерційних систем рівнів заявленої точності [39, 40]. У таких платформах важливим є не тільки сам лічильник, а й програмна частина: звіти, тренди, порівняння періодів і оцінка завантаження по напрямках, що безпосередньо впливає на рішення щодо додаткових рейсів або зміни інтервалів [10, 18, 39].

Окремо варто згадати альтернативні підходи, які не прив'язані жорстко до дверної зони. У технічних оглядах і публікаціях описуються рішення на основі Wi-Fi, коли кількість пристроїв у салоні оцінюється за сигналами, що випромінюються смартфонами [4, 16]. Такі підходи можуть знижувати вартість інфраструктури, але мають природні обмеження, пов'язані з неповнотою охоплення пасажирів, множинністю пристроїв та впливом зовнішніх сигналів на зупинках [4, 16, 32]. Тому подібні методи частіше розглядаються як допоміжні або як джерело наближених оцінок, а не як точний еквівалент підрахунку посадок і висадок [1, 16]. Саме через це в практичних системах для транспортних підприємств частіше домінують рішення, де підрахунок прив'язаний до дверей і забезпечується спеціалізованими сенсорами, які контролюють реальну подію проходу [1, 31].

У підсумку огляд існуючих підходів і готових рішень показує, що ринок APC уже сформував набір зрілих технологій і комерційних продуктів, зокрема IRMA MATRIX, DILAX APC, який зображено на рисунку 1.2, INIT MOBILE-

APC і CleverCount, які довели практичність автоматичного підрахунку пасажирів [34, 36, 37, 39].

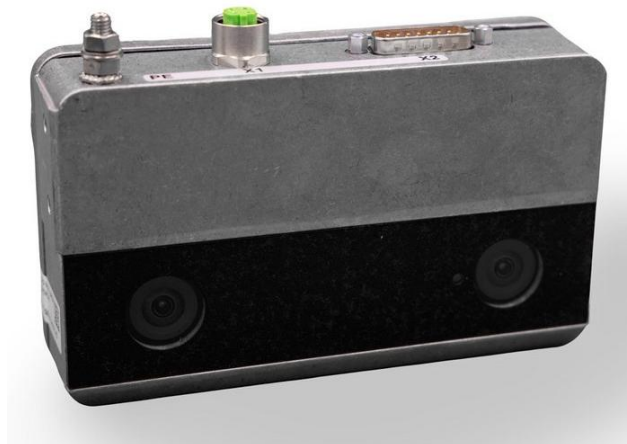


Рисунок 1.2 - Приклад APC сенсорів Xovis для транспорту [54]

У контексті оцінки завантаженості транспорту важливо підкреслити, що підрахунок пасажирів і завантаженість не завжди є одним і тим самим показником у реальній експлуатації [22, 33]. Підрахунок по дверях добре описує поточкові події й дозволяє обчислити кількість пасажирів у салоні як накопичувану різницю між входом і виходом [1, 9]. Проте ця модель чутлива до накопичення похибки, оскільки помилки на окремих зупинках можуть переноситися далі по маршруту [22, 28]. Через це в практичних рішеннях цінується або підвищена точність сенсорів, зокрема у сучасних 3D-ToF підходах, або поєднання кількох джерел даних, де один канал підтверджує інший [33, 34]. Саме на цьому ґрунтується ідея комбінованого контролю, коли підрахунок пасажирів доповнюється незалежним виміром навантаження через вагові сенсори, що підвищує стійкість оцінки заповненості за рахунок фізичного показника маси в салоні [21, 22, 26]. IRMA MATRIX зображена на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 - IRMA MATRIX [55]

Разом із цим у транспортній практиці зберігається проблема стійкого визначення саме заповненості як інтегрального показника, особливо в умовах помилок підрахунку та нестабільності пасажиропотоку в години пік [18, 22, 28]. Це формує логічну основу для підходу, де подієвий підрахунок посадок і висадок поєднується з вимірюванням ваги, що дозволяє отримати більш надійну та придатну для аналітики оцінку завантаженості громадського транспорту [21, 22, 26].

1.3 Використання сенсорів ваги та лічильників пасажирів у транспортних і вбудованих системах

У межах роботи сенсори ваги та лічильники пасажирів розглядаються як базові технічні засоби, що дозволяють отримати кількісну оцінку навантаження на транспортний засіб і зафіксувати динаміку пасажиропотоку в реальних умовах експлуатації [22, 26, 33]. Практика побудови сучасних вбудованих і транспортних систем уже показала, що перехід від приблизних оцінок до вимірювань, заснованих на фізичних параметрах і подієвих даних, значно підвищує точність контролю та придатність інформації для подальшого аналізу [6, 14, 23]. Саме тому вагові сенсори та системи підрахунку пасажирів

поступово перетворилися з допоміжних елементів на повноцінні джерела даних у складі кіберфізичних і інтелектуальних транспортних рішень [6, 7, 38].

Сенсори ваги у транспортних системах зазвичай застосовуються для визначення навантаження на конструкцію, контролю перевищення допустимої маси або оцінки розподілу навантаження по осях [21, 26]. У контексті пасажирських перевезень цей підхід уже дозволив отримувати узагальнену інформацію про кількість людсисей у салоні через вимірювання сумарної маси [22, 26]. У вбудованих системах така інформація формується шляхом зчитування сигналів із тензодатчиків або інших чутливих елементів, встановлених у підвісці, підлозі чи опорних конструкціях транспортного засобу [21, 26]. Обробка цих сигналів у мікроконтролерному середовищі дає можливість не лише фіксувати абсолютне значення навантаження, а й відстежувати його зміну в часі, що особливо важливо для аналізу процесів посадки та висадки пасажирів на зупинках [22, 23].

Разом із цим вагові вимірювання мають свою специфіку, оскільки вони відображають не кількість людей безпосередньо, а сумарну масу, яка може змінюватися залежно від багатьох факторів [22, 26]. Вага пасажирів, наявність багажу, технічний стан підвіски та навіть дорожні умови здатні впливати на результати вимірювання [21, 22]. Проте в межах вбудованих систем ці особливості вже враховуються шляхом калібрування сенсорів, фільтрації сигналів і використання відносних змін навантаження, а не лише абсолютних значень [21, 26]. Унаслідок цього сенсори ваги перетворилися на надійне джерело інформації про загальний рівень завантаженості, особливо коли їхні показники розглядаються в поєднанні з іншими каналами даних [22, 26, 33].

Лічильники пасажирів у транспортних системах орієнтовані на фіксацію подій проходження через двері або інші контрольні зони [1, 31]. У вбудованих рішеннях для цього застосовуються інфрачервоні бар'єри, оптичні пари, 3D-сенсори або інші типи датчиків, які реагують на перетин певної області простору [1, 16, 33]. Кожна зафіксована подія інтерпретується як вхід або вихід

пасажира, а накопичення цих подій у часі дозволяє обчислити поточну кількість людей у салоні [1, 9]. Такий підхід добре масштабується, легко інтегрується у мікроконтролерні системи та вже довів свою придатність у комерційних рішеннях автоматичного підрахунку пасажирів [34, 36, 39].

Саме тому у сучасних транспортних і кіберфізичних системах все частіше застосовується комбінований підхід, коли лічильники пасажирів і сенсори ваги працюють разом у межах єдиної архітектури [22, 26, 33]. Лічильники забезпечують детальну інформацію про потоки посадки та висадки, а вагові сенсори дають інтегральну оцінку реального навантаження на транспортний засіб [22, 33].

Поєднання цих джерел даних дозволяє взаємно перевіряти результати, зменшувати вплив окремих похибок і підвищувати загальну достовірність оцінки заповненості [22, 28]. У вбудованих системах така інтеграція реалізується на рівні мікроконтролерного програмного забезпечення, де виконується синхронізація вимірювань, фільтрація сигналів і формування узагальнених показників для подальшого використання [6, 23, 26].

Застосування сенсорів ваги та лічильників пасажирів у транспортних системах уже продемонструвало, що ці технології добре вписуються в концепцію розподілених вимірювальних вузлів, які працюють автономно та передають дані до вищих рівнів обробки [6, 7, 23]. У контексті вбудованих рішень це означає можливість створення компактних, енергоефективних і відносно недорогих пристроїв, здатних безперервно працювати в умовах реальної експлуатації транспорту [6, 14]. Отримана інформація може використовуватися як для оперативного моніторингу, так і для накопичення статистики, аналізу пасажиропотоків і підтримки управлінських рішень [10, 18, 41].

1.4 Інтелектуальні та кіберфізичні системи як основа сучасних систем моніторингу

Сучасні системи моніторингу розглядаються крізь призму розвитку інтелектуальних і кіберфізичних підходів, які вже стали визначальними для багатьох галузей техніки та міської інфраструктури [6, 7, 38]. Традиційні системи збору даних, що обмежувалися лише фіксацією окремих параметрів, поступово поступилися місцем комплексним рішенням, у яких вимірювання, обробка інформації та формування керуючих впливів поєднані в єдиному технологічному контурі [14, 23, 30]. Саме така інтеграція фізичних процесів і програмної логіки визначає сутність кіберфізичних систем, де реальний об'єкт і його цифрове представлення взаємодіють у режимі, близькому до реального часу [6, 7].

Інтелектуальні системи в цьому контексті спираються на можливість не лише накопичувати дані, а й аналізувати їх, виявляти закономірності та приймати рішення на основі поточного стану середовища [18, 38]. У транспортних застосуваннях це означає перехід від простого спостереження за параметрами до активного використання отриманої інформації для оптимізації процесів перевезення [10, 12, 41]. Дані про рух, навантаження, інтенсивність пасажиропотоку та часові характеристики маршрутів перестають бути статичною статистикою і перетворюються на основу для адаптивного керування, коригування графіків і більш раціонального використання ресурсів [10, 18, 27]. Унаслідок цього система моніторингу вже не обмежується роллю “реєстратора подій”, а набуває ознак повноцінного інтелектуального компонента транспортної інфраструктури [7, 38].

Кіберфізичний підхід передбачає тісний зв'язок між фізичними сенсорами, виконавчими пристроями та програмним середовищем, у якому відбувається обробка й інтерпретація даних [6, 7, 23]. У вбудованих системах це зазвичай реалізується на базі мікроконтролерних платформ, які забезпечують

зчитування сигналів із датчиків, попередню фільтрацію та підготовку інформації для подальшої передачі або аналізу [14, 23, 26]. Така архітектура дозволяє будувати розподілені вузли моніторингу, здатні працювати автономно, але водночас залишатися частиною більшої інформаційної системи [6, 23]. Для транспортних задач це має особливе значення, оскільки кожен окремий транспортний засіб може розглядатися як самостійний кіберфізичний об'єкт, що формує власний потік даних про умови експлуатації та рівень завантаженості [7, 38].

Важливою рисою інтелектуальних і кіберфізичних систем є їхня здатність працювати в умовах невизначеності та змінного середовища [18, 30]. На відміну від жорстко запрограмованих схем, такі рішення орієнтуються на адаптацію до поточної ситуації, що досягається за рахунок аналізу даних у часі та використання узагальнених показників стану системи [18, 23]. У транспортному контексті це означає можливість не лише фіксувати перевантаження або недовантаження, а й оцінювати тенденції, порівнювати різні періоди роботи маршрутів і виявляти нетипові режими експлуатації [10, 12, 27]. Унаслідок цього моніторинг набуває прогностичного та аналітичного характеру, що істотно підвищує його практичну цінність [18, 41].

У межах цієї кваліфікаційної роботи інтелектуальні та кіберфізичні системи розглядаються як методологічна основа побудови сучасної системи моніторингу заповненості громадського транспорту [6, 7, 38]. Поєднання сенсорних вимірювань, мікроконтролерної обробки та програмної логіки аналізу створює передумови для формування цілісного рішення, здатного не лише збирати дані, а й надавати змістовну інформацію про стан транспортного процесу [14, 23, 30]. У підсумку такий підхід дозволяє перейти від фрагментарного контролю до системного спостереження за роботою транспорту, що відповідає сучасним уявленням про інтелектуальні та кіберфізичні системи моніторингу [6, 7, 38].

1.5 Постановка задачі створення інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту

Сформовано задачу створення інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту, яка має забезпечувати об'єктивне та безперервне отримання даних про фактичне навантаження на транспортний засіб у процесі його експлуатації. Вихідною передумовою стало усвідомлення того, що наявні підходи до оцінки пасажиропотоку або спираються на приблизні спостереження, або використовують окремі автоматизовані засоби, які не завжди дають стійкий і відтворюваний результат у реальних умовах міського руху. Через це виникла потреба у рішенні, де подієвий підрахунок пасажирів поєднується з фізичним вимірюванням навантаження за допомогою сенсорів ваги, а обробка інформації виконується в межах єдиної вбудованої та програмної архітектури.

Постановка задачі ґрунтується на необхідності побудови такої системи, яка вже забезпечує зчитування сигналів із сенсорних модулів, їх попередню обробку та формування узагальнених показників стану заповненості салону. Передбачається, що система працює в режимі, близькому до реального часу, зберігає результати вимірювань і надає можливість подальшого аналізу динаміки пасажиропотоку на рівні окремого рейсу або маршруту. У межах цього підходу особлива увага приділяється узгодженню даних із різних джерел, оскільки саме поєднання показників лічильників проходів і сенсорів ваги дозволяє зменшити вплив окремих похибок і підвищити загальну достовірність оцінки завантаженості.

Сформульована задача також передбачає, що технічна реалізація системи виконується на базі мікроконтролерної платформи, яка забезпечує інтеграцію сенсорних модулів, керування процесом вимірювання та обмін даними з програмним рівнем обробки. Така архітектура дозволяє розглядати кожен транспортний засіб як автономний вузол кіберфізичної системи, що самостійно

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формує потік даних про власний стан і водночас залишається частиною більшої інформаційної інфраструктури. У межах цієї кваліфікаційної роботи вже визначено, що система має бути орієнтована на стабільну роботу в умовах змінного навантаження, вібрацій і впливу зовнішнього середовища, що є типовими для міського транспорту.

Важливим елементом постановки задачі стало визначення функціональної спрямованості розроблюваного рішення. Система має не лише фіксувати окремі події або значення вимірювань, а формувати цілісне уявлення про рівень заповненості салону в часі, пов'язуючи ці дані з конкретними ділянками маршруту та моментами руху. Це створює передумови для переходу від фрагментарного контролю до системного моніторингу, де інформація використовується як для оперативного спостереження, так і для накопичення статистики та подальшого аналізу. Унаслідок цього система набуває ознак інтелектуального компонента транспортної інфраструктури, здатного підтримувати прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

У підсумку постановка задачі в цій кваліфікаційній роботі зводиться до створення інтелектуальної кіберфізичної системи, яка поєднує сенсорні вимірювання, вбудовану обробку та програмну логіку аналізу з метою отримання достовірної та відтворюваної оцінки заповненості громадського транспорту. Такий підхід дозволяє перейти від приблизних оцінок до вимірювань, заснованих на реальних даних, і формує технічну основу для подальшого розвитку систем моніторингу та оптимізації роботи міських перевезень.

1.6 Висновки до першого розділу

У першому розділі розглянуто предметну область, пов'язану з моніторингом заповненості громадського транспорту, та визначено основні проблеми, які виникають під час оцінювання пасажиропотоку в міських умовах.

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Показано, що громадський транспорт функціонує в умовах постійної зміни навантаження, коли протягом доби один і той самий маршрут може мати як перевантажені рейси, так і періоди недостатнього використання рухомого складу. Така нерівномірність ускладнює планування інтервалів руху, розподіл транспортних засобів і забезпечення належного рівня комфорту для пасажирів.

Проаналізовано існуючі підходи до підрахунку пасажирів і оцінки завантаженості транспорту, зокрема ручний облік, інфрачервоні лічильники, 3D-сенсори, відеоаналітику, Wi-Fi-методи та готові промислові APC-рішення. Встановлено, що автоматизовані системи підрахунку пасажирів мають значні переваги порівняно з ручними методами, однак у реальних умовах експлуатації вони можуть мати похибки, пов'язані з одночасним проходом кількох людей, нестандартною поведінкою пасажирів або впливом зовнішніх факторів.

Окремо розглянуто використання сенсорів ваги та лічильників пасажирів у транспортних і вбудованих системах. Показано, що лічильники проходів дозволяють фіксувати події входу та виходу, а вагові сенсори дають змогу отримати фізичну оцінку фактичного навантаження на транспортний засіб. Поєднання цих двох джерел даних створює основу для більш достовірного визначення заповненості салону, оскільки один канал може уточнювати або підтверджувати показники іншого.

У розділі також розкрито роль інтелектуальних і кіберфізичних систем у побудові сучасних засобів моніторингу. Встановлено, що система контролю заповненості громадського транспорту не повинна обмежуватися простим збором окремих значень, а має поєднувати сенсорні вимірювання, мікроконтролерну обробку, передавання даних і прикладне відображення результатів. На основі проведеного аналізу сформульовано задачу створення інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту, яка поєднає програмно-апаратні компоненти та забезпечує отримання об'єктивної інформації про рівень завантаження транспортного засобу.

2 РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАПОВНЕНОСТІ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

2.1 Загальна архітектура системи моніторингу

Загальна архітектура системи моніторингу заповненості громадського транспорту формується як узгоджена сукупність апаратних і програмних компонентів, що забезпечують збирання, обробку, передавання та відображення інформації про стан пасажиропотоку. Побудова такої архітектури вже передбачає врахування реальних умов експлуатації транспортних засобів, де система працює під впливом вібрацій, змінного навантаження, нестабільного зв'язку та інших факторів, характерних для міського середовища. Саме тому важливою є не лише функціональність окремих модулів, а й спосіб їх взаємодії в межах єдиної структури.

Архітектура системи реалізована за принципом багаторівневої організації, де кожен рівень виконує окрему роль, але водночас тісно пов'язаний з іншими. Такий підхід дозволяє розділити процес на логічні етапи: отримання даних, їх локальну обробку, передавання та подальше використання. У результаті система стає більш зрозумілою з точки зору проектування, а також більш гнучкою для подальшого вдосконалення.

На одному з рівнів архітектури розміщено сенсорні компоненти, які виконують функцію первинного збору даних. Саме тут формується базова інформація про стан транспортного засобу та пасажиропотоку. Основними джерелами даних виступають сенсори ваги та лічильники пасажирів. Вагові сенсори забезпечують вимірювання сумарного навантаження, що виникає в салоні, тоді як лічильники пасажирів фіксують події входу та виходу через двері. Поєднання цих двох підходів уже дозволяє отримати більш об'єктивну картину, ніж використання лише одного каналу вимірювання.

Сенсорний рівень функціонує не ізольовано, а як узгоджена система, де дані з різних джерел взаємно доповнюють один одного. Наприклад, подія входу

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пасажира, зафіксована лічильником, може підтверджуватися відповідною зміною вагового навантаження. У ситуаціях, коли один із каналів дає похибку, інший дозволяє її частково компенсувати. Такий підхід вже на етапі архітектури закладає підвищену стійкість системи до помилок.

Наступний рівень представлений вбудованим обчислювальним модулем, який виконує роль центрального елемента системи. У якості такого модуля використовується мікроконтролерна платформа, що забезпечує опитування сенсорів, обробку отриманих сигналів та формування первинних результатів. На цьому рівні виконується фільтрація шумів, узгодження даних із різних джерел та визначення поточного стану заповненості. Важливою особливістю є те, що частина обчислень виконується локально, без необхідності постійного підключення до зовнішніх систем.

Такий підхід дозволяє зменшити залежність від якості мережевого з'єднання та підвищити загальну надійність системи. Навіть у випадку тимчасової втрати зв'язку система продовжує виконувати свої функції, накопичуючи дані для подальшого передавання. Це є суттєвою перевагою в умовах рухомого транспорту, де стабільність зв'язку не завжди гарантована.

Рівень передавання даних реалізовано з використанням бездротового інтерфейсу, зокрема технології Wi-Fi. Такий вибір пояснюється простотою інтеграції, достатньою швидкістю передавання та можливістю взаємодії з існуючою мережевою інфраструктурою. Через цей канал здійснюється передавання як вимірюваних параметрів, так і службової інформації про стан системи. Архітектура вже передбачає можливість двонапрямленої взаємодії, що дозволяє не лише передавати дані, а й змінювати параметри роботи системи віддалено.

На верхньому рівні архітектури знаходиться прикладний рівень, де отримані дані перетворюються на зручну для сприйняття інформацію. Це може бути веб-інтерфейс, програмна панель або інший засіб візуалізації. Саме тут відображається поточна кількість пасажирів, рівень заповненості, історія змін

та інші показники. Завдяки цьому користувач отримує не просто набір чисел, а цілісне уявлення про стан транспортного засобу.

Особливе місце в архітектурі займає механізм інтеграції даних із різних джерел. Показники сенсорів ваги та лічильників пасажирів об'єднуються в межах єдиного алгоритмічного підходу. Якщо дані узгоджуються між собою, результат вважається достовірним. У випадку розбіжностей система може застосовувати додаткові перевірки або коригування. Це дозволяє значно підвищити точність визначення заповненості в реальних умовах.

Ще однією важливою характеристикою архітектури є її модульність. Кожен компонент системи може бути замінений або доповнений без необхідності повної перебудови всієї структури. Це відкриває можливість подальшого розвитку системи, наприклад шляхом додавання нових сенсорів, інтеграції з іншими інформаційними системами або розширення функціональних можливостей.

У цілому архітектура системи сформована як багаторівнева структура, що поєднує сенсорні засоби, вбудовану обробку, мережеву взаємодію та прикладні інтерфейси. Такий підхід дозволяє забезпечити баланс між точністю вимірювань, надійністю роботи та зручністю використання. Це створює міцну основу для подальшої деталізації системи, розроблення структурних схем і алгоритмів функціонування.

2.2 Обґрунтування вибору апаратних компонентів системи

Формування апаратної частини системи моніторингу заповненості громадського транспорту виконується з урахуванням цілого комплексу факторів, які безпосередньо впливають на працездатність і практичну цінність розроблюваного рішення. Йдеться не лише про базові технічні характеристики компонентів, а й про їхню здатність стабільно функціонувати в умовах рухомого середовища, де присутні механічні навантаження, вібрації, перепади

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температури, нестабільність живлення та періодичні втрати зв'язку. Саме тому підбір апаратних засобів виконується з урахуванням реальних сценаріїв експлуатації, а не лише лабораторних умов.

Ключовим елементом системи обрано мікроконтролерну платформу, яка виконує роль центрального вузла керування та обробки даних. У якості базового рішення використовується мікроконтролер сімейства ESP32, який уже продемонстрував свою ефективність у задачах Інтернету речей і вбудованих систем. Вибір саме цієї платформи обґрунтовується комплексом її характеристик, що поєднують достатню продуктивність, інтегровані засоби комунікації та гнучкість у роботі з периферією.

ESP32 побудований на двоядерній архітектурі, що дозволяє організувати паралельне виконання задач. Це дає можливість розділити процеси зчитування сенсорних даних, обробки сигналів і передачі інформації, що значно підвищує стабільність роботи системи в умовах реального навантаження. Такий підхід дозволяє уникнути ситуацій, коли виконання однієї задачі блокує іншу, що є критично важливим для систем, які працюють у режимі реального часу.

Важливою перевагою ESP32 є наявність вбудованого модуля Wi-Fi, який дозволяє реалізувати бездротову передачу даних без використання додаткових апаратних компонентів. Це суттєво спрощує електричну схему, зменшує кількість з'єднань і підвищує загальну надійність системи. Крім того, підтримка стандартних мережевих протоколів дає змогу інтегрувати систему в існуючу інфраструктуру без необхідності розробки спеціалізованих засобів зв'язку.

Ще одним важливим аспектом є наявність у мікроконтролера широкого набору інтерфейсів, зокрема цифрових входів/виходів, аналогових каналів, а також шин I2C, SPI та UART. Це дозволяє без додаткових адаптерів підключати як прості датчики, так і складніші модулі, що значно розширює можливості системи та забезпечує її гнучкість. У процесі розроблення це означає, що система не обмежується жорстко заданою конфігурацією, а може бути доповнена новими компонентами без кардинальної перебудови.

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для вимірювання навантаження на транспортний засіб обрано тензометричні датчики, які працюють на основі зміни електричного опору під дією механічного впливу. Такі датчики вже широко застосовуються у ваговимірювальних системах і демонструють високу точність та стабільність. Їх використання в контексті моніторингу заповненості дозволяє отримати інтегральну оцінку маси пасажирів, що перебувають у салоні транспортного засобу.

Розміщення тензодатчиків може здійснюватися в різних точках конструкції, зокрема під елементами підлоги або в опорних вузлах. Це дозволяє отримувати сумарне навантаження без необхідності встановлення великої кількості окремих сенсорів. У процесі роботи датчики формують аналоговий сигнал, який є дуже малим за величиною, тому потребує підсилення та точного перетворення у цифрову форму.

Для вирішення цього завдання використовується спеціалізований модуль НХ711, який поєднує функції підсилювача та аналогово-цифрового перетворювача. НХ711 забезпечує високу роздільну здатність вимірювань і дозволяє працювати з тензометричними мостами без необхідності використання складних зовнішніх схем. Це значно спрощує реалізацію апаратної частини та підвищує її надійність.

Особливістю використання тензодатчиків є необхідність калібрування та компенсації впливу зовнішніх факторів. Оскільки система працює в умовах руху, на вимірювання можуть впливати вібрації, нерівності дороги та інші динамічні ефекти. У зв'язку з цим апаратна частина вже підбирається таким чином, щоб забезпечити можливість подальшої програмної фільтрації сигналів і зменшення впливу шумів. Саме поєднання апаратної стабільності та програмної обробки дозволяє отримати прийнятну точність у реальних умовах.

Для підрахунку пасажирів обрано сенсорний підхід, що базується на фіксації подій проходження через дверну зону. У найпростішому варіанті для цього використовуються інфрачервоні датчики, які формують контрольний бар'єр.

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При його перетині система реєструє факт проходження та визначає напрям руху. Такий підхід є достатньо простим у реалізації, має невисоку вартість і дозволяє отримати прийнятну точність у більшості сценаріїв.

Разом із тим у процесі аналізу враховано можливість використання більш складних сенсорів, зокрема оптичних або 3D-ToF датчиків. Вони забезпечують вищу точність і дозволяють краще працювати в умовах щільного потоку пасажирів, проте мають більшу вартість і складність інтеграції. У зв'язку з цим для прототипу обрано рішення, яке забезпечує баланс між доступністю та функціональністю, з можливістю подальшого розширення.

Окрему увагу приділено організації живлення системи. Оскільки транспортний засіб використовує бортову мережу, яка може мати нестабільні параметри, необхідно забезпечити перетворення напруги до рівня, придатного для роботи електронних компонентів. Для цього використовуються стабілізатори або імпульсні DC-DC перетворювачі, які забезпечують стабільну напругу та захист від перепадів. Надійність цього вузла є критичною, оскільки від нього залежить стабільність роботи всієї системи.

Під час вибору компонентів також враховано питання доступності та сумісності. Усі використані модулі є поширеними, мають велику кількість технічної документації та підтримуються програмними бібліотеками. Це значно спрощує процес розроблення та зменшує ризики виникнення технічних проблем. Крім того, така конфігурація дозволяє легко замінювати окремі елементи або модернізувати систему без значних витрат.

Важливою характеристикою обраної апаратної конфігурації є її модульність. Кожен компонент виконує окрему функцію, але водночас інтегрується в загальну структуру системи. Це дозволяє гнучко змінювати конфігурацію залежно від вимог, додавати нові сенсори або змінювати спосіб передавання даних. Такий підхід забезпечує довгострокову придатність системи та можливість її адаптації до нових умов.

У підсумку обрана сукупність апаратних компонентів формує збалансовану основу для побудови системи моніторингу. Використання мікроконтролера ESP32, тензодатчиків із модулем HX711, сенсорів підрахунку пасажирів і вбудованого бездротового зв'язку дозволяє створити рішення, яке поєднує достатню точність, надійність і доступність. Така конфігурація забезпечує можливість ефективного збору даних у реальних умовах експлуатації та створює основу для подальшого розроблення структурної схеми й алгоритмів функціонування системи.

2.3 Розроблення структурної схеми системи

Розроблення структурної та функціональної схеми системи моніторингу заповненості громадського транспорту є одним із ключових етапів побудови всього програмно-технічного рішення, оскільки саме на цьому рівні вже формується цілісне уявлення про склад системи, взаємозв'язки між її елементами та логіку проходження інформації від моменту виникнення фізичного сигналу до отримання кінцевого результату у вигляді показника заповненості салону. Якщо в попередньому підрозділі основна увага зосереджувалася на виборі окремих апаратних компонентів, то тепер ці компоненти мають бути поєднані в єдину узгоджену структуру, у межах якої кожен елемент виконує чітко визначену функцію та взаємодіє з іншими частинами системи без логічних суперечностей.

Структурна схема системи розглядається як узагальнене графічне подання складу апаратних вузлів і каналів зв'язку між ними. Її головне призначення полягає в тому, щоб показати, з яких саме блоків складається система, які сигнали або дані передаються між цими блоками та яке місце кожного вузла в загальній архітектурі. На відміну від електричної принципової схеми, структурна схема не деталізує кожне окреме з'єднання на рівні провідників і контактів, а відображає систему на більш високому рівні, де

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

головною є логіка побудови. Саме завдяки такому поданню вже на ранньому етапі можна оцінити повноту системи, виявити відсутні функціональні вузли або, навпаки, надмірні елементи, що не дають суттєвої користі для реалізації поставленої задачі.

У контексті розроблюваної системи структурна схема формується навколо кількох основних груп компонентів. До першої групи належать сенсорні вузли, які безпосередньо сприймають фізичні параметри, пов'язані із заповненістю транспортного засобу. Тут передусім виділяються вагові сенсори, що забезпечують вимірювання сумарного навантаження, та лічильники пасажирів, розміщені в зоні дверей і призначені для фіксації подій входу та виходу. Ці вузли вже виконують роль первинного джерела інформації, без якого робота всієї системи втрачає зміст. Саме з них розпочинається весь процес моніторингу, оскільки будь-які подальші обчислення, фільтрація чи візуалізація є лише надбудовою над вимірюваними даними.

Наступним елементом структурної схеми виступає блок узгодження та перетворення сигналів. Його роль полягає в тому, щоб підготувати сигнали від сенсорів до обробки мікроконтролером. У випадку вагових сенсорів це особливо важливо, оскільки тензOMETричні датчики формують дуже слабкий аналоговий сигнал, який потребує підсилення та аналого-цифрового перетворення. Саме тому до структури вже включається модуль НХ711, який виконує функції прецизійного підсилення та оцифрування. Для лічильників пасажирів цей блок може мати простіший вигляд, якщо сенсори вже формують цифрові імпульси, придатні для прямого підключення до входів мікроконтролера. Проте навіть у цьому випадку рівень узгодження сигналів залишається важливим, оскільки саме він забезпечує стабільність сприйняття подій і зменшує ймовірність хибних спрацювань.

Центральним вузлом структурної схеми є мікроконтролерний модуль. У межах цієї роботи саме він виконує функції координації всіх інших блоків системи. На практиці це означає, що мікроконтролер приймає сигнали від

сенсорних вузлів, синхронізує їх у часі, виконує первинну фільтрацію, аналізує зміну стану системи та формує узагальнений висновок про поточну заповненість салону. Крім цього, він реалізує логіку обміну даними із зовнішнім середовищем, керує режимами функціонування системи та, за потреби, забезпечує локальне збереження інформації. Саме тому на структурній схемі мікроконтролер розташовується в центрі, адже через нього проходять усі основні потоки даних.

Окремим структурним блоком виступає комунікаційний модуль. Оскільки в обраній конфігурації використовується платформа ESP32, модуль бездротового зв'язку вже інтегровано в сам мікроконтролерний вузол, однак на структурній схемі доцільно виділити його окремо. Такий підхід дозволяє краще показати, що передавання даних є не побічною, а повноцінною функціональною частиною системи. Через бездротовий канал результати вимірювань, статусні повідомлення та службова інформація можуть надходити до зовнішнього програмного середовища, де виконуються подальше збереження, узагальнення та візуалізація.

Ще одним важливим елементом структурної схеми є блок живлення. Зазвичай цей вузол часто описується коротко, у реальній системі його значення є дуже великим. Від стабільності живлення залежить коректність роботи сенсорів, точність вимірювань і надійність функціонування мікроконтролера. Саме тому в структурі доцільно передбачити окремий блок перетворення та стабілізації напруги, який отримує живлення від бортової мережі транспортного засобу і формує необхідні рівні для роботи сенсорних і обчислювальних модулів. Це дозволяє на схемі показати, що всі функціональні вузли системи мають спільну енергетичну основу, але отримують живлення через захищений та узгоджений контур.

Завершальним елементом структурної схеми виступає користувацький або прикладний рівень. Саме сюди надходить інформація, уже підготовлена до сприйняття людиною або до подальшого машинного аналізу. Такий рівень

може бути поданий у вигляді веб-інтерфейсу, програмної панелі, локального дисплея або сервісу централізованого збирання статистики. На структурній схемі цей блок зазвичай розміщується як кінцева точка інформаційного ланцюга, однак його роль не обмежується лише відображенням. У більш покращеному варіанті він може також надсилати службові команди до мікроконтролерного рівня, змінювати режими роботи або ініціювати запит збережених даних.

На основі описаних елементів структурна схема системи може бути представлена як послідовність взаємопов'язаних блоків: вагові сенсори, лічильники пасажирів, модуль узгодження сигналів, мікроконтролерний блок, бездротовий канал передавання даних, прикладний інтерфейс користувача та блок живлення. Усі ці елементи формують завершену структуру, у межах якої дані проходять шлях від фізичного середовища до рівня аналітичного використання. Уже сам вигляд такої схеми дозволяє зробити висновок, що система має ознаки повноцінного програмно-технічного засобу, а не окремого набору сенсорів без чіткої логіки взаємодії.

Якщо структурна схема відповідає на питання, з яких блоків складається система, то функціональна схема показує, як саме ця система працює в динаміці. Саме функціональна схема відображає внутрішню логіку проходження інформації, послідовність операцій, умови переходу між станами та загальний механізм реалізації задачі моніторингу. У ній важливими стають уже не стільки самі вузли, скільки функції, які вони виконують, і взаємозалежність між цими функціями.

Функціональна схема розроблюваної системи починається з етапу ініціалізації. На цьому етапі мікроконтролер виконує запуск основних модулів, перевіряє доступність сенсорів, ініціалізує канали зчитування та налаштовує параметри зв'язку. Такий початковий етап є обов'язковим, оскільки без нього подальша робота системи не може вважатися надійною. Якщо під час запуску виявлено, що один із ключових сенсорів недоступний або повертає некоректні

значення, система має або сигналізувати про це користувачу, або перейти в деградований режим функціонування, де використовуються лише доступні канали вимірювання.

Після успішної ініціалізації система переходить до циклічного режиму зчитування даних. На цьому етапі відбувається опитування вагових сенсорів і лічильників пасажирів. Ваговий канал формує поточні значення навантаження, а лічильники пасажирів подають інформацію про вхід або вихід людей. Оскільки обидва канали мають різну природу сигналу, уже на функціональному рівні передбачено окрему обробку для кожного з них. Для вагових даних виконується фільтрація шумів, усереднення та, за потреби, компенсація короткочасних коливань. Для подієвого каналу аналізуються імпульси або послідовності спрацювань, на основі яких визначається факт проходження пасажиром та напрямок його руху.

Після зчитування даних система переходить до етапу їх узгодження. Саме тут функціональна схема вже демонструє ключову особливість розроблюваного рішення - комбіноване використання двох каналів вимірювання. Якщо за певний інтервал часу лічильник зафіксував вхід пасажирів, а ваговий модуль одночасно показав приріст навантаження, така подія вважається підтвердженою. Якщо ж канали дають суперечливі результати, система виконує додаткову логічну перевірку. Наприклад, подія може бути тимчасово позначена як невизначена, а кінцевий висновок формується лише після появи наступних даних. Саме такий підхід дозволяє підвищити стійкість системи до похибок і уникнути надмірної залежності від одного джерела інформації.

Наступним функціональним етапом є обчислення поточного рівня заповненості. На цьому рівні система вже переходить від окремих сирих сигналів до узагальненого показника стану транспортного засобу. Поточна кількість пасажирів може визначатися як накопичувана різниця між подіями входу та виходу, скоригована на основі вагового каналу. Паралельно може розраховуватися рівень завантаження у відсотках від умовно прийнятої

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

місткості транспортного засобу або рівень перевищення допустимого навантаження. Саме тут з'являється той інтегральний показник, який має найбільше практичне значення для диспетчеризації, аналітики та подальшого прийняття рішень.

Після розрахунку основних показників система переходить до етапу формування вихідних даних. На цьому етапі результати можуть бути збережені у внутрішній пам'яті, підготовлені до передавання мережею або виведені в локальний інтерфейс користувача. Якщо бездротовий зв'язок доступний, система надсилає інформацію до зовнішнього прикладного середовища. Якщо ж зв'язок тимчасово відсутній, дані можуть накопичуватися локально до моменту відновлення каналу. Така логіка вже закладає функціональну стійкість рішення та дозволяє не втрачати вимірювану інформацію в умовах нестабільного середовища.

У функціональній схемі доцільно також передбачити блок контролю стану системи. Його роль полягає у відстеженні справності окремих модулів, рівня сигналу зв'язку, коректності показань і стабільності живлення. Якщо виявляється аномальна ситуація, наприклад сенсор перестає реагувати, система може формувати службове повідомлення про помилку або переходити в режим часткової функціональності. Структурну схему подано на рисунку 2.1. Це підвищує надійність рішення і демонструє, що система вже орієнтується не лише на отримання ідеальних вимірювань, а й на роботу в умовах відмов і перешкод.

апаратних блоків і канали їх взаємодії, а функціональний рівень описав послідовність обробки інформації від моменту зчитування до формування кінцевого результату. Це створює надійну основу для подальшого розроблення алгоритмів роботи системи, програмної реалізації та побудови прикладних засобів візуалізації та аналізу отриманих даних.

2.4 Організація збору, обробки та аналізу даних

Організація збору, обробки та аналізу даних у системі моніторингу заповненості громадського транспорту розглядається як центральний елемент її функціонування, оскільки саме на цьому етапі неопрацьовані сигнали з апаратних компонентів перетворюються на осмислену інформацію, придатну для практичного використання. Якщо апаратна частина відповідає за отримання первинних вимірювань, то програмна логіка визначає, наскільки ці вимірювання є коректними, узгодженими між собою та придатними для формування кінцевого результату у вигляді оцінки заповненості транспортного засобу.

Процес збору даних організовано таким чином, щоб забезпечити безперервне отримання інформації від усіх сенсорних каналів системи. Основними джерелами даних виступають вагові сенсори та лічильники пасажирів, які працюють за різними принципами і формують сигнали різної природи. Вагові сенсори генерують аналогові значення, що відображають сумарне навантаження, тоді як лічильники пасажирів формують дискретні події, пов'язані з проходом людей через дверну зону. Саме різниця в природі цих сигналів визначає особливості їх подальшої обробки.

Зчитування даних із вагових сенсорів виконується через модуль НХ711, який забезпечує перетворення аналогового сигналу у цифрову форму. Цей процес відбувається з певною частотою, що визначається параметрами системи та вимогами до точності. Важливою особливістю є те, що сигнал із

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тензодатчиків може містити значну кількість шумів, спричинених вібраціями транспортного засобу, нерівностями дорожнього покриття та іншими динамічними факторами. У зв'язку з цим уже на етапі збору даних передбачається накопичення кількох послідовних вимірювань для подальшого усереднення або фільтрації.

Збір даних із лічильників пасажирів організовано за подієвим принципом. У цьому випадку система реагує не на постійний потік значень, а на окремі сигнали, що відповідають факту проходження пасажиром. Кожна така подія фіксується разом із часовою міткою, що дозволяє надалі аналізувати динаміку пасажиропотоку. Окремо враховується напрямок руху, оскільки система повинна розрізняти вхід і вихід. Для цього використовуються відповідні алгоритми інтерпретації сигналів, які дозволяють визначити, чи відбулося збільшення, чи зменшення кількості пасажирів у салоні.

Після етапу збору даних система переходить до їх первинної обробки. Для вагового каналу це передусім означає фільтрацію сигналів. У найпростішому випадку застосовується ковзне середнє, яке дозволяє згладити короточасні коливання та зменшити вплив шумів. У більш складних варіантах можуть використовуватися адаптивні фільтри або методи, що враховують динаміку зміни сигналу. Головною метою цього етапу є отримання стабільного значення навантаження, яке можна використовувати для подальших розрахунків.

Для подієвого каналу обробка полягає у перевірці коректності спрацювань і виключенні хибних подій. У реальних умовах експлуатації можливі ситуації, коли сенсор реагує на частковий рух або перешкоди, що не пов'язані з фактичним проходженням пасажиром. Тому система вже на цьому етапі застосовує логіку перевірки, наприклад обмеження мінімального часу між подіями або аналіз послідовності сигналів. Це дозволяє зменшити кількість помилкових спрацювань і підвищити достовірність підрахунку.

Наступним етапом є узгодження даних із різних сенсорних каналів. Саме цей процес є ключовим для забезпечення точності всієї системи. Дані про кількість пасажирів, отримані з лічильників, порівнюються з показниками вагових сенсорів. Якщо обидва джерела демонструють узгоджені зміни, система підтверджує достовірність події.

У випадку розбіжностей застосовується додаткова логіка аналізу, яка може враховувати попередні значення, характер зміни сигналу або інші фактори. Такий підхід дозволяє компенсувати недоліки окремих сенсорів і підвищити загальну надійність результату.

Після узгодження даних виконується обчислення основних параметрів системи. Насамперед визначається поточна кількість пасажирів у салоні, яка формується на основі накопичення подій входу та виходу.

Паралельно розраховується рівень заповненості, який може бути поданий у відсотковому вигляді від максимальної місткості транспортного засобу або як абсолютне значення навантаження. За потреби система може також визначати перевищення допустимого рівня, що дозволяє використовувати її для контролю безпеки перевезень.

Окрему роль відіграє аналіз динаміки зміни показників у часі. Накопичення даних дозволяє визначати характер пасажиропотоку, виявляти пікові періоди навантаження та оцінювати ефективність роботи маршруту. Для цього система може зберігати історію вимірювань і формувати узагальнені показники за певні інтервали часу.

Такий підхід уже виходить за межі простого моніторингу і переходить у сферу аналітики, що значно підвищує практичну цінність системи.

Важливою складовою організації обробки даних є забезпечення їхньої надійності та цілісності. У процесі роботи система може стикатися з втратами пакетів, помилками вимірювання або тимчасовими збоями.

У зв'язку з цим передбачається використання буферизації даних, що дозволяє тимчасово зберігати інформацію у внутрішній пам'яті до моменту її

успішної передачі. Крім того, можуть застосовуватися механізми перевірки коректності даних, які дозволяють виявляти аномальні значення та виключати їх із подальшого аналізу.

Завершальним етапом є підготовка даних до передавання та відображення. На цьому рівні результати обробки формуються у структурованому вигляді, зручному для передачі мережею або відображення в інтерфейсі користувача. Це можуть бути числові значення, статусні повідомлення або узагальнені показники. Важливо, що система не передає сирі дані, а вже оброблену інформацію, що зменшує навантаження на канал зв'язку та спрощує подальше використання. Алгоритм збору, обробки та аналізу даних системи моніторингу зображено на рисунку 2.2.

У цілому організація збору, обробки та аналізу даних побудована як послідовний процес, що включає отримання сигналів, їх фільтрацію, узгодження, обчислення показників і підготовку результатів. Такий підхід дозволяє забезпечити достатню точність, стійкість до помилок і практичну придатність системи в умовах реальної експлуатації. Це створює основу для подальшого розроблення алгоритму функціонування та програмної реалізації системи моніторингу заповненості громадського транспорту.

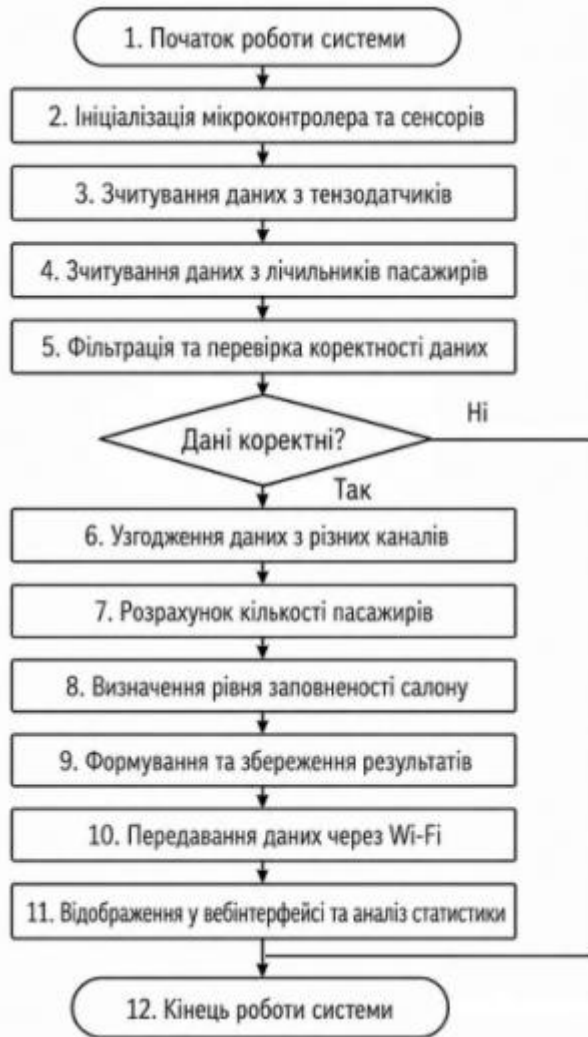


Рисунок 2.2 - Алгоритм збору, обробки та аналізу даних системи моніторингу

2.5 Організація передавання даних та взаємодії з користувачем

Організація передавання даних та взаємодії з користувачем у системі моніторингу заповненості громадського транспорту визначає практичну цінність усього розроблюваного рішення, оскільки саме на цьому етапі результати вимірювань і обробки перетворюються на інформацію, доступну для сприйняття, аналізу та подальшого використання. Якщо на попередніх рівнях система формує внутрішнє уявлення про стан транспортного засобу, то тут відбувається інтеграція цього уявлення в інформаційне середовище, де воно може бути використане для оперативного контролю, планування та оцінювання ефективності перевезень.

Передавання даних у системі реалізовано з використанням бездротового зв'язку, що базується на можливостях мікроконтролерної платформи. Використання Wi-Fi вже дозволяє сформувати універсальний канал обміну інформацією, який не потребує складної апаратної реалізації та добре інтегрується з існуючими мережами. Такий підхід забезпечує достатню пропускну здатність для передачі як поточних вимірювань, так і накопичених даних, а також дозволяє працювати з різними типами клієнтських пристроїв без обмежень за платформою.

У межах організації зв'язку передбачено використання декількох режимів роботи, що дозволяє адаптувати систему до різних умов експлуатації. У режимі прямого підключення мікроконтролер може виступати як точка доступу, до якої підключається користувач або локальний пристрій для отримання інформації. Такий підхід є зручним у випадках тестування або локального використання, коли відсутня необхідність інтеграції з глобальною мережею. В альтернативному варіанті система може підключатися до вже існуючої Wi-Fi мережі, що дозволяє передавати дані до віддаленого сервера або хмарного середовища. Це відкриває можливості централізованого збору інформації з декількох транспортних засобів та подальшої аналітики на більш високому рівні.

Організація передавання даних передбачає чітке структурування інформації. Дані, сформовані на рівні мікроконтролера, уже мають містити не лише значення параметрів, а й контекст їх отримання. До такого контексту належать часові мітки, ідентифікатори пристрою, службові статуси та допоміжні параметри. Використання формату JSON дозволяє зручно об'єднати ці дані в єдину структуру, яка легко інтерпретується як людиною, так і програмними засобами. Завдяки цьому система може передавати як прості повідомлення, так і складні пакети даних, що містять повну інформацію про стан транспортного засобу в конкретний момент часу.

Взаємодія з користувачем організована таким чином, щоб забезпечити максимальну зручність і зрозумілість отриманої інформації. Основним засобом взаємодії виступає веб-інтерфейс, який може відкриватися через звичайний браузер без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення. Такий підхід забезпечує кросплатформеність і дозволяє використовувати систему на різних пристроях, включаючи персональні комп'ютери, планшети та мобільні телефони.

Інтерфейс користувача вже має відображати ключові параметри системи у зручному та інтуїтивно зрозумілому вигляді. Поточна кількість пасажирів може подаватися як числове значення, тоді як рівень заповненості доцільно відображати у вигляді графічного індикатора або шкали. Це дозволяє швидко оцінити ситуацію без необхідності аналізу великої кількості даних. Додатково можуть відображатися статуси системи, зокрема стан сенсорів, рівень сигналу зв'язку та наявність помилок.

Важливим елементом взаємодії є можливість керування параметрами системи. Через інтерфейс користувач може змінювати режими роботи, налаштовувати інтервали передавання даних, встановлювати порогові значення або ініціювати додаткові дії. Це дозволяє адаптувати систему до різних умов експлуатації без необхідності втручання в програмний код.

Особлива увага приділяється питанням безпеки. Оскільки система передає дані через бездротові мережі, необхідно забезпечити захист інформації від несанкціонованого доступу. Для цього використовуються стандартні механізми аутентифікації, а також шифрування переданих даних. Це дозволяє гарантувати, що інформація про стан транспортного засобу доступна лише авторизованим користувачам. Схема взаємодії клієнт–сервер зображена на рисунку 2.3.

фізичні вимірювання переходять у цифрові дані, обробляються мікроконтролером і передаються до вебінтерфейсу для подальшого використання.

Обґрунтовано вибір основних апаратних компонентів системи. Центральним елементом обрано мікроконтролер ESP32, який забезпечує зчитування даних, обробку сигналів і передавання інформації через вбудований Wi-Fi. Для вимірювання навантаження передбачено використання тензометричних датчиків ваги разом із модулем HX711, що виконує підсилення та оцифрування слабкого сигналу. Для фіксації подій входу та виходу пасажирів обрано лічильники пасажирів на основі інфрачервоних датчиків дверної зони. Додатково враховано потребу в стабільному живленні через DC-DC перетворювач, що є важливим для роботи системи в умовах транспортного засобу.

Розроблено структурну та функціональну схеми системи, які показують склад основних вузлів і послідовність їх взаємодії. Структурна схема дала змогу відобразити апаратну організацію системи: сенсори ваги, модуль HX711, лічильники пасажирів, ESP32, Wi-Fi-зв'язок, вебінтерфейс і блок живлення. Функціональна схема розкрила логіку роботи системи від ініціалізації та зчитування даних до фільтрації, перевірки коректності, узгодження різних каналів, розрахунку кількості пасажирів і визначення рівня заповненості.

Описано організацію збору, обробки та аналізу даних. Встановлено, що вагові сенсори та лічильники пасажирів формують дані різної природи, тому для їх спільного використання необхідні фільтрація, перевірка достовірності та узгодження. Особливу увагу приділено передаванню даних і взаємодії з користувачем. Для цього передбачено використання Wi-Fi-зв'язку, структурованих повідомлень у форматі JSON і вебінтерфейсу, у якому можуть відображатися кількість пасажирів, рівень заповненості, статус системи та службові повідомлення.

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАПОВНЕНОСТІ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

3.1 Формування апаратного вузла системи моніторингу

Реалізація інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту розпочинається з формування апаратного вузла, який забезпечує первинне отримання даних від сенсорів, їх передавання до мікроконтролера та підготовку до подальшої програмної обробки. Апаратний вузол у цій системі виконує роль основної вимірювальної частини, оскільки саме через нього фізичні параметри, пов'язані із заповненістю салону, перетворюються на цифрові дані. До таких параметрів належать зміна навантаження на транспортний засіб і події проходження пасажирів через дверну зону.

У процесі формування апаратного вузла використано модульний підхід, за якого кожен елемент системи відповідає за окрему функцію. Центральним компонентом апаратної частини виступає мікроконтролер ESP32, який приймає сигнали від сенсорів, виконує первинну обробку отриманих значень і забезпечує передавання результатів через бездротовий інтерфейс. Вибір ESP32 є доцільним через наявність вбудованого Wi-Fi, достатню кількість цифрових входів/виходів, підтримку роботи з периферійними модулями та можливість виконання задач у режимі, близькому до реального часу.

Для вимірювання навантаження застосовано тензометричні датчики ваги. Їхнє призначення полягає у фіксації зміни маси, що виникає внаслідок перебування пасажирів у салоні транспортного засобу. Оскільки сигнал із тензодатчиків має малу амплітуду і не може напряму використовуватися мікроконтролером, до складу апаратного вузла введено модуль HX711. Цей модуль виконує підсилення сигналу та його аналого-цифрове перетворення, після чого ESP32 отримує вже цифрові значення, придатні для подальшої

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробки. Таке рішення дозволяє спростити апаратну частину та забезпечити достатню точність вимірювання навантаження.

Окремий сенсорний канал сформовано для підрахунку пасажирів. Для цього використано лічильники пасажирів, які можуть бути реалізовані на основі інфрачервоних датчиків або оптичних сенсорів, установлених у зоні дверей. Їхня робота ґрунтується на фіксації факту проходження людини через контрольну область. Якщо датчики встановлено у правильній послідовності, система може визначати не лише сам факт проходження, а й напрям руху пасажирів - вхід або вихід. Це дає змогу вести поточний підрахунок кількості людей у салоні та зіставляти ці дані з показниками вагових сенсорів.

Живлення апаратного вузла організовано через окремий блок стабілізації напруги. Оскільки електронні компоненти потребують стабільного рівня живлення, а бортова мережа транспортного засобу може мати перепади напруги, у структурі передбачено використання DC-DC перетворювача. Він забезпечує зниження та стабілізацію напруги до рівня, безпечного для ESP32, HX711 і сенсорних модулів. Наявність такого вузла підвищує надійність системи та зменшує ризик некоректної роботи через нестабільне електроживлення.

Сформований апаратний вузол поєднує два незалежні канали отримання даних: ваговий і подієвий. Ваговий канал дає інтегральну оцінку навантаження, а канал підрахунку пасажирів фіксує окремі події входу та виходу. Поєднання цих каналів є важливою особливістю реалізації, оскільки воно дозволяє не покладатися лише на один тип сенсорів. Якщо один канал дає похибку, інший може бути використаний для додаткової перевірки. Це підвищує достовірність оцінки заповненості та робить систему більш стійкою до впливу реальних експлуатаційних умов.

Загальну структуру апаратного вузла системи моніторингу заповненості громадського транспорту показано на рисунку 3.1.

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.1 – Структура апаратного вузла системи моніторингу заповненості громадського транспорту

Після формування апаратного вузла забезпечено логічне поєднання всіх компонентів у єдину вимірювальну систему. Тензодатчики через модуль HX711 передають цифрові значення навантаження до ESP32, лічильники пасажирів подають сигнали про проходи через дверну зону, а мікроконтролер об'єднує ці дані в межах спільної логіки роботи. Завдяки цьому апаратна частина не лише збирає окремі сигнали, а створює основу для подальшої інтелектуальної обробки.

Практичне значення сформованого апаратного вузла полягає в тому, що він може працювати автономно на рівні транспортного засобу. Основні операції зчитування даних і первинної обробки виконуються без необхідності постійного підключення до зовнішнього сервера. Це особливо важливо для громадського транспорту, де стабільність мережевого з'єднання не завжди гарантована. У разі тимчасової втрати зв'язку система зберігає можливість отримувати дані від сенсорів і готувати їх до подальшого передавання.

3.2 Реалізація програмної логіки мікроконтролера ESP32

Програмна логіка мікроконтролера ESP32 реалізована як центральна частина інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту, оскільки саме на цьому рівні виконується приймання даних від сенсорних модулів, їх первинна обробка, перевірка коректності та підготовка до подальшого передавання. Якщо апаратний вузол забезпечує фізичне підключення сенсорів і формування сигналів, то програмна частина вже перетворює ці сигнали на зрозумілі цифрові показники, які можуть використовуватися для визначення кількості пасажирів і рівня заповненості салону.

Основою програмної реалізації виступає циклічна логіка роботи, у якій мікроконтролер після запуску ініціалізує всі необхідні модулі, перевіряє готовність сенсорів, підключається до мережі та переходить у режим постійного опитування. Такий підхід дозволяє забезпечити безперервний моніторинг, оскільки ESP32 не очікує окремої команди користувача для кожного вимірювання, а самостійно виконує повторюваний цикл збору й обробки даних. Це особливо важливо для транспортного засобу, де зміна заповненості може відбуватися швидко, наприклад під час зупинки, посадки або висадки пасажирів.

Після подачі живлення програма виконує початкову ініціалізацію. На цьому етапі налаштовуються цифрові входи для лічильників пасажирів, інтерфейс обміну з модулем HX711, параметри зчитування тензодатчиків і мережеві налаштування Wi-Fi. Окремо передбачено перевірку доступності сенсорів, оскільки некоректне підключення або відсутність сигналу може призвести до помилкового визначення заповненості. Якщо один із каналів тимчасово недоступний, система не припиняє роботу повністю, а може перейти в режим часткового моніторингу, коли використовуються доступні джерела даних.

Для роботи з ваговими сенсорами реалізовано зчитування значень через модуль HX711. Оскільки тензодатчики формують дані, чутливі до вібрацій і короткочасних коливань, програмна логіка не використовує одиничне вимірювання як остаточний результат. Натомість організовано послідовне зчитування кількох значень із подальшим усередненням. Це дозволяє зменшити вплив випадкових шумів і отримати більш стабільний показник навантаження. Крім того, передбачено врахування початкового нульового рівня, який визначається після запуску або під час калібрування системи.

Підрахунок пасажирів реалізовано за подієвим принципом. Лічильники, розміщені в дверній зоні, передають мікроконтролеру сигнали про перетин контрольної області. Програмна логіка аналізує послідовність спрацювання датчиків і на її основі визначає напрям руху пасажирів. Якщо спочатку спрацює зовнішній датчик, а потім внутрішній, подія інтерпретується як вхід. Якщо послідовність зворотна, система фіксує вихід. Такий підхід дозволяє вести поточний баланс кількості пасажирів у салоні та уникати простого накопичення всіх проходів без урахування напрямку.

Для зменшення кількості помилкових спрацювань у програмній логіці передбачено часові обмеження між подіями. Це означає, що система не реєструє кілька проходів підряд, якщо сигнали виникають надто швидко або не відповідають очікуваній послідовності. Такий механізм потрібний для того, щоб випадкові перешкоди, рух багажу або короткочасне перекриття датчика не сприймалися як реальний вхід чи вихід пасажирів. У результаті подієвий канал стає більш стійким до умов реальної експлуатації.

Загальну структуру програмної логіки мікроконтролера ESP32 показано на рисунку 3.2.

Після отримання даних із вагового та подієвого каналів виконується їх узгодження. На цьому етапі програмна логіка зіставляє зміну кількості пасажирів зі зміною вагового навантаження. Наприклад, якщо лічильник зафіксував вхід пасажирів, а показник ваги збільшився, система приймає таку

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подію як підтверджену. Якщо ж подія проходу є, але вагове навантаження майже не змінилося, програма може позначити таку ситуацію як сумнівну або врахувати її з нижчим рівнем довіри. Такий механізм дозволяє підвищити точність оцінки, оскільки система не покладається лише на один канал вимірювання.



Рисунок 3.2 – Структура програмної логіки мікроконтролера ESP32

У програмі також реалізовано розрахунок рівня заповненості салону. Для цього поточна кількість пасажирів і показник навантаження порівнюються з умовно заданою максимальною місткістю транспортного засобу. Результат може подаватися у вигляді відсоткового значення або у вигляді стану, наприклад низька, середня, висока чи критична заповненість. Такий формат зручний для подальшого відображення у вебінтерфейсі, оскільки користувач отримує не лише сирі числові значення, а вже узагальнену оцінку стану салону.

Окремий блок програмної логіки відповідає за формування пакета даних. Після обробки вимірювань ESP32 створює структуроване повідомлення, яке містить основні параметри: ідентифікатор транспортного засобу, поточну кількість пасажирів, значення навантаження, рівень заповненості, статус системи та часову мітку. Такий пакет може бути сформований у форматі JSON, оскільки цей формат є зручним для передавання мережею та подальшої обробки вебсервером або інтерфейсом користувача.

Передавання даних організовано через вбудований Wi-Fi модуль ESP32. Програмна логіка передбачає підключення до мережі, перевірку стану з'єднання та відправлення підготовленого пакета даних. Якщо зв'язок доступний, інформація передається одразу після формування. Якщо ж мережа тимчасово недоступна, дані можуть зберігатися локально або передаватися після відновлення з'єднання. Це дозволяє зменшити ризик втрати інформації та підвищити стійкість системи в умовах рухомого транспорту.

Важливим елементом реалізації є контроль службових станів. Програма відстежує помилки зчитування сенсорів, нестабільні показники вагового каналу, втрату Wi-Fi з'єднання та некоректні події проходу. У разі виникнення таких ситуацій формується службове повідомлення, яке може бути передане до вебінтерфейсу разом із основними даними. Це дозволяє не лише бачити результат вимірювання, а й розуміти, у якому стані перебуває сама система.

Програмна логіка ESP32 побудована з урахуванням модульності. Окремо виділяються функції зчитування ваги, обробки сигналів лічильників, розрахунку заповненості, формування пакета даних і передавання інформації мережею. Такий підхід спрощує налагодження системи, оскільки кожен функціональний блок може перевірятися окремо.

Крім того, у майбутньому це дозволяє доповнити систему новими сенсорами або змінити спосіб передавання даних без повного переписування програмної частини.

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Реалізація алгоритму визначення заповненості транспортного засобу

Алгоритм визначення заповненості транспортного засобу реалізовано як центральний логічний механізм системи, оскільки саме він перетворює окремі показники сенсорів на зрозумілий результат про стан салону. На відміну від простого підрахунку пасажирів, у цьому алгоритмі враховано одразу два джерела даних: подієвий канал, який фіксує вхід і вихід людей через дверну зону, та ваговий канал, який показує зміну фактичного навантаження на транспортний засіб. Завдяки такому поєднанню система отримує не лише числовий показник кількості пасажирів, а й додаткове підтвердження того, що зміна кількості людей у салоні справді супроводжується зміною маси.

Початковим етапом алгоритму є отримання даних із лічильників пасажирів. У дверній зоні транспортного засобу розміщено сенсори, які реагують на проходження людини через контрольну область. Якщо сенсори спрацьовують у певній послідовності, система визначає напрям руху. Наприклад, послідовність сигналів від зовнішнього датчика до внутрішнього трактується як вхід пасажира, а зворотна послідовність - як вихід. Після цього значення поточної кількості пасажирів збільшується або зменшується на одиницю. Такий підхід дозволяє вести динамічний облік пасажиропотоку без ручного втручання.

Паралельно з подієвим підрахунком виконується аналіз показників вагових сенсорів. Тензодатчики через модуль HX711 передають мікроконтролеру цифрові значення, які відображають поточне навантаження. Оскільки транспортний засіб під час руху може зазнавати вібрацій, нахилів і короткочасних механічних коливань, одиничне значення ваги не використовується як остаточний показник. Для підвищення стабільності алгоритм передбачає усереднення кількох вимірювань, фільтрацію випадкових відхилень і порівняння поточного значення з попереднім контрольним рівнем.

Це дозволяє визначити, чи справді навантаження змінилося, чи зафіксоване коливання є наслідком зовнішнього впливу.

Ключовою частиною алгоритму є узгодження даних із двох каналів. Після того як лічильник пасажирів зафіксував подію входу або виходу, система перевіряє, чи відповідає цій події зміна вагового навантаження. Якщо зафіксовано вхід і одночасно спостерігається збільшення маси, подія вважається достовірною. Якщо зафіксовано вихід і вагове навантаження зменшується, система також підтверджує правильність обліку. У випадку, коли подієвий канал і ваговий канал не узгоджуються між собою, алгоритм не приймає результат одразу як остаточний, а переводить подію в умовно аномальний стан. Це потрібно для того, щоб випадкове спрацювання датчика, перекриття променя багажем або короткочасне коливання тензодатчика не спотворювали загальний результат.

Після перевірки подій система переходить до розрахунку кількості пасажирів. Основою для цього є змінна поточної кількості пасажирів, яка змінюється залежно від зафіксованих входів і виходів. При кожному підтвердженому вході значення збільшується, при кожному підтвердженому виході - зменшується. У програмній логіці також передбачено обмеження, яке не дозволяє кількості пасажирів ставати від'ємною. Це важливо для уникнення некоректних станів у разі випадкових помилок підрахунку або запуску системи в середині маршруту.

Для визначення рівня заповненості використано співвідношення між поточною кількістю пасажирів і умовно заданою максимальною місткістю транспортного засобу. Максимальна місткість задається як параметр системи та може змінюватися залежно від типу транспорту. Наприклад, для автобуса, тролейбуса або трамвая це значення може бути різним, тому алгоритм не прив'язується до одного конкретного числа. Завдяки цьому система залишається гнучкою та може бути адаптована до різних моделей транспортних засобів без зміни загальної логіки роботи.

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рисунку 3.3 подано алгоритм визначення рівня заповненості транспортного засобу, у якому показано послідовність отримання даних, перевірки їх коректності, узгодження показників і формування кінцевого результату.

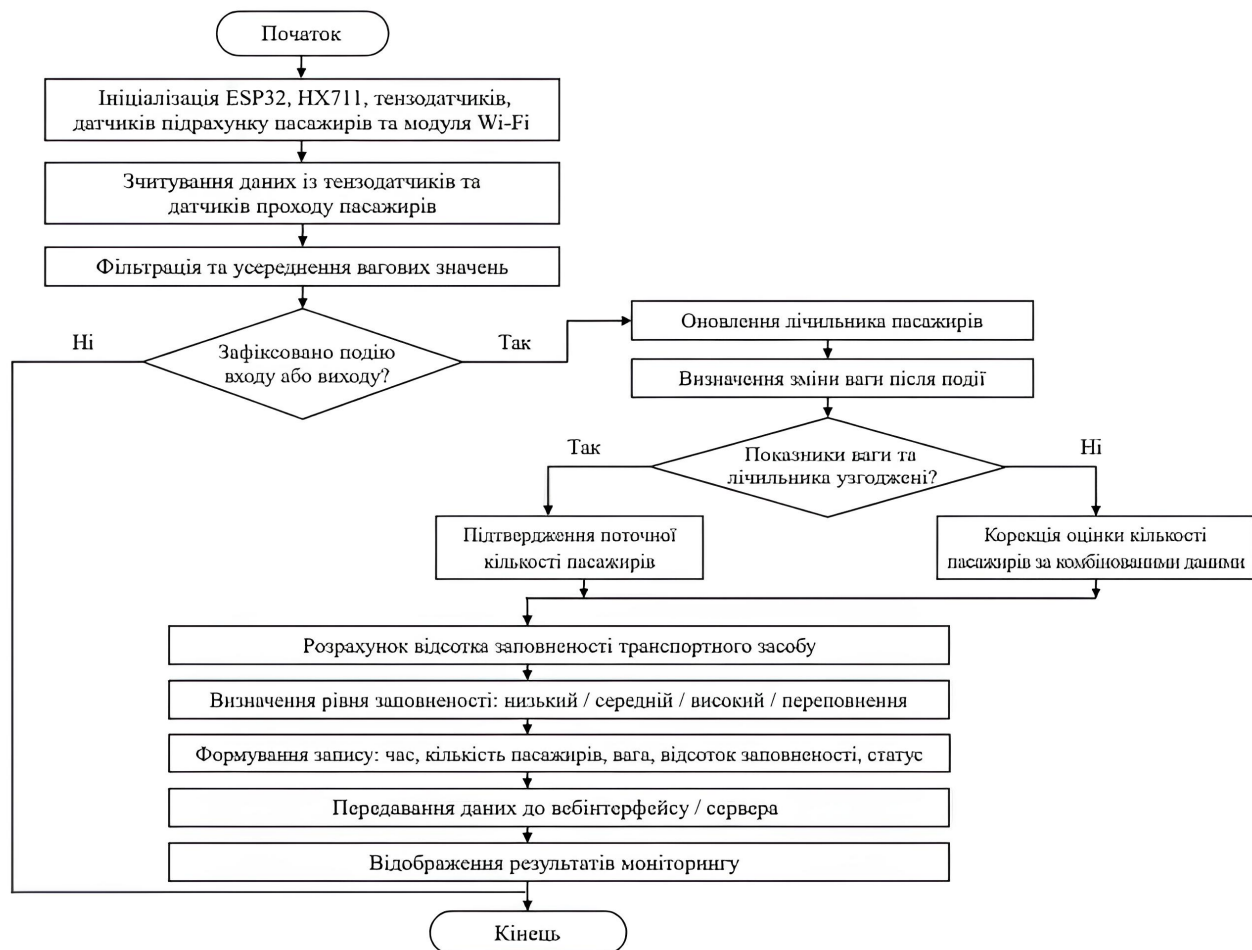


Рисунок 3.3 – Алгоритм визначення рівня заповненості транспортного засобу

Окрім підрахунку пасажирів, у розрахунку заповненості враховується ваговий показник. Це потрібно для підвищення надійності результату, оскільки кількість пасажирів не завжди повністю відображає реальне навантаження салону. Наприклад, пасажирів можуть мати багаж, а середня маса людей може відрізнятися залежно від конкретної ситуації. Через це ваговий канал використовується як додатковий контрольний параметр. Якщо кількість пасажирів за лічильником зростає, але вагове навантаження майже не

змінюється, система може зменшити рівень довіри до такого підрахунку. Якщо обидва показники змінюються узгоджено, результат вважається більш надійним.

Рівень заповненості може подаватися у відсотках або у вигляді узагальненого стану. Для практичного використання зручним є поділ на кілька умовних рівнів: низька, середня, висока та критична заповненість. Низький рівень означає, що транспортний засіб використовується неповністю, середній рівень відповідає нормальному режиму перевезення, високий рівень свідчить про значне навантаження, а критичний рівень вказує на наближення до максимально допустимої місткості або її перевищення. Така класифікація спрощує сприйняття результатів у вебінтерфейсі, оскільки користувачу не потрібно самостійно аналізувати всі числові значення.

У програмній реалізації передбачено формування статусу заповненості після кожного циклу обробки. Якщо значення перебуває в межах допустимого діапазону, система передає звичайне інформаційне повідомлення. Якщо рівень заповненості перевищує встановлений поріг, формується попереджувальний статус. Це дозволяє використовувати систему не лише для пасивного спостереження, а й для оперативного виявлення перевантаження транспортного засобу.

Окрему увагу приділено обробці нестандартних ситуацій. До таких ситуацій належать одночасний прохід кількох пасажирів, часткове перекриття датчика, короткочасне просідання вагового сигналу, втрата зв'язку з одним із сенсорів або запуск системи при вже частково заповненому салоні. Для таких випадків алгоритм використовує механізми перевірки та коригування. Якщо один канал тимчасово недоступний, система може продовжувати роботу за другим каналом, але з позначенням зниженого рівня достовірності. Якщо після кількох циклів дані знову стають узгодженими, нормальний режим роботи відновлюється.

Важливою частиною алгоритму є збереження попередніх значень. Система не розглядає кожне вимірювання ізольовано, а порівнює його з

попереднім станом. Саме це дозволяє виявляти динаміку: збільшення кількості пасажирів, зменшення навантаження, різкий стрибок ваги або невідповідність між подіями проходу та фізичним навантаженням. Такий підхід робить алгоритм більш стійким до випадкових помилок і наближає його до реальних умов експлуатації громадського транспорту.

Після завершення розрахунку формується підсумковий набір даних. До нього входять поточна кількість пасажирів, значення вагового навантаження, відсоток заповненості, статус системи та службова інформація про достовірність вимірювання. Ці дані надалі передаються до вебінтерфейсу або зберігаються для подальшого аналізу. Завдяки цьому алгоритм не завершується лише внутрішнім обчисленням, а формує результат, придатний для практичного використання.

3.4 Реалізація передавання даних та вебінтерфейсу моніторингу

Реалізація передавання даних та вебінтерфейсу моніторингу є важливою частиною програмно-апаратної системи, оскільки саме на цьому етапі результати роботи сенсорного вузла стають доступними для перегляду, контролю та подальшого аналізу. Якщо апаратна частина забезпечує зчитування показників із тензодатчиків і лічильників пасажирів, а мікроконтролер виконує первинну обробку цих даних, то підсистема передавання та відображення формує завершений інформаційний контур. У межах цього контуру дані не залишаються тільки внутрішніми значеннями програми ESP32, а передаються до користувацького рівня, де можуть бути представлені у зрозумілому вигляді.

Основою передавання даних у реалізованій системі виступає бездротовий інтерфейс Wi-Fi, який уже вбудовано в мікроконтролер ESP32. Це дозволяє не використовувати додаткові зовнішні модулі зв'язку, зменшити кількість апаратних з'єднань і спростити загальну конструкцію системи. Для умов

громадського транспорту такий підхід є зручним, оскільки сенсорний вузол може працювати автономно, а передавання даних відбувається без прокладання додаткових кабельних ліній між вимірювальною частиною та пристроєм користувача. Наявність Wi-Fi також дає можливість організувати взаємодію як у локальному режимі, так і через підключення до наявної мережевої інфраструктури.

Під час запуску системи мікроконтролер спочатку ініціалізує сенсорні модулі, а після цього виконує налаштування мережевого з'єднання. У програмній логіці передбачено підключення ESP32 до Wi-Fi мережі за заданими параметрами. Після встановлення з'єднання система отримує можливість передавати сформовані пакети даних до вебінтерфейсу або серверної частини. Якщо підключення тимчасово відсутнє, мікроконтролер продовжує виконувати зчитування і обробку даних локально, що дозволяє не зупиняти роботу всієї системи через проблему зв'язку. Такий підхід підвищує надійність рішення, оскільки моніторинг не залежить повністю від постійної доступності мережі.

Передавання інформації організовано у вигляді структурованих повідомлень. Після кожного циклу обробки ESP32 формує пакет даних, у якому містяться основні показники системи. До такого пакета входить поточна кількість пасажирів, значення вагового навантаження, розрахований відсоток заповненості, статус системи, службова інформація про коректність вимірювань і час формування повідомлення. Завдяки цьому користувацький рівень отримує не окремі необроблені сигнали, а вже підготовлену інформацію, придатну для відображення та аналізу.

Для передавання даних доцільно використано формат JSON, оскільки він добре підходить для обміну інформацією між мікроконтролерними пристроями, серверними компонентами та вебінтерфейсами. JSON-пакет має зрозумілу структуру, легко читається програмними засобами та може бути розширений без повної зміни логіки системи. Наприклад, у майбутньому до нього можна

додати ідентифікатор маршруту, координати транспортного засобу, номер рейсу або додаткові службові показники. Така гнучкість є важливою для системи, яка може надалі масштабуватися й адаптуватися до різних умов експлуатації.

Приклад логіки передавання даних можна подати у вигляді такого набору параметрів: ідентифікатор транспортного засобу, кількість пасажирів, поточне навантаження, рівень заповненості у відсотках, стан заповненості, статус сенсорів і час оновлення. У вебінтерфейсі ці дані вже не сприймаються як технічний пакет, а перетворюються на зрозумілі інформаційні блоки. Це дозволяє швидко оцінити стан салону без потреби аналізувати внутрішні змінні програми або сирі значення з датчиків.

Вебінтерфейс моніторингу передбачено як прикладний рівень, що забезпечує взаємодію користувача із системою. Його основне призначення полягає у відображенні поточних даних про заповненість транспортного засобу та стан вимірювального вузла. Такий інтерфейс може відкриватися у звичайному браузері, що робить систему зручною для використання на різних пристроях: комп'ютері, планшеті або смартфоні. Для користувача це означає, що не потрібно встановлювати окрему спеціалізовану програму, оскільки доступ до інформації забезпечується через стандартні вебзасоби.

У вебінтерфейсі передбачено відображення основних показників, які мають практичне значення для моніторингу. Поточна кількість пасажирів подається у вигляді числового значення, що безпосередньо показує розрахований стан салону. Рівень заповненості може відображатися у відсотках, а також через умовний статус, наприклад низька, середня, висока або критична заповненість. Такий спосіб подання дозволяє швидко зрозуміти ситуацію навіть без детального перегляду всіх числових параметрів.

Окремий інформаційний блок вебінтерфейсу може відображати значення вагового навантаження, отримане з тензодатчиків. Цей показник є важливим не лише для контролю кількості пасажирів, а й для перевірки достовірності

результатів. Якщо показник лічильника пасажирів і вагове навантаження змінюються узгоджено, система працює у нормальному режимі. Якщо ж виникає розбіжність між каналами, у вебінтерфейсі може бути показано службове повідомлення або статус перевірки. Це робить інтерфейс не просто екраном для виведення цифр, а засобом контролю правильності роботи системи.

Також у вебінтерфейсі доцільно відображати стан мережевого підключення та працездатність сенсорів. Для реальної експлуатації це має велике значення, оскільки користувач повинен бачити не лише підсумковий результат, а й розуміти, чи всі модулі працюють коректно. Якщо один із сенсорів не відповідає або зв'язок із мережею нестабільний, система може сформулювати відповідне повідомлення. Це полегшує технічне обслуговування та дозволяє швидше виявляти причини некоректної роботи.

Загальну схему передавання даних і взаємодії користувача з вебінтерфейсом моніторингу показано на рисунку 3.4.

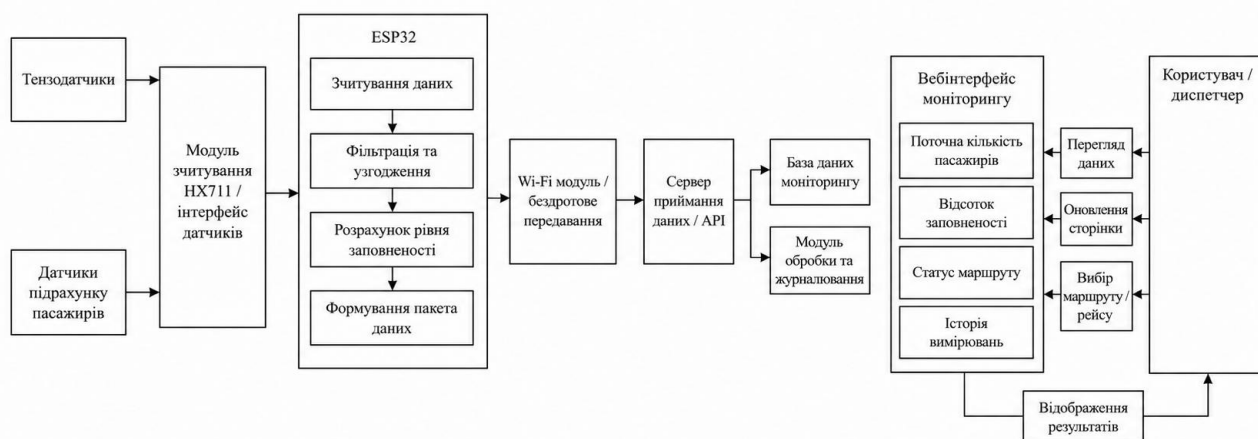


Рисунок 3.4 – Схема передавання даних та взаємодії користувача з вебінтерфейсом моніторингу

Після передавання даних через Wi-Fi інформація надходить до прикладного рівня, де вона приймається, розбирається та відображається у відповідних елементах інтерфейсу. Якщо система працює в локальному режимі, ESP32 може самостійно виконувати роль простого вебсервера, який формує сторінку з актуальними показниками. У цьому випадку користувач підключається до адреси пристрою та переглядає дані напряму. Такий варіант є зручним для демонстраційного прототипу, тестування та локального використання.

У вебінтерфейсі також може бути реалізовано кольорову або текстову індикацію стану. У межах пояснювальної записки її можна описати як логічну класифікацію заповненості, навіть якщо в схемах використано чорно-біле оформлення. Наприклад, низька заповненість позначається як нормальний стан, висока - як підвищене навантаження, а критична - як перевантаження.

Окрему увагу в реалізації приділено безпеці передавання даних. Оскільки система використовує бездротову мережу, важливо обмежити доступ до інформації стороннім користувачам. Для цього може застосовуватися підключення до захищеної Wi-Fi мережі, використання пароля доступу до вебінтерфейсу або перевірка запитів на стороні серверної частини. У більш розвиненій реалізації можливе використання захищеного протоколу HTTPS, що дозволяє шифрувати передану інформацію. Для прототипу достатньо базового рівня захисту, але сама архітектура вже допускає подальше підвищення безпеки.

З практичної точки зору вебінтерфейс спрощує перевірку роботи всієї системи. Під час тестування можна одразу бачити, як змінюється кількість пасажирів, чи реагує ваговий канал, чи оновлюються дані після кожної події, чи виникають помилки зв'язку.

У результаті реалізація передавання даних і вебінтерфейсу моніторингу забезпечила завершений інформаційний рівень системи. Мікроконтролер ESP32 збирає та обробляє дані, формує структуровані повідомлення, передає їх через Wi-Fi, а вебінтерфейс відображає результати у зрозумілому вигляді. Така

організація дозволяє використовувати систему не лише як вимірювальний пристрій, а як повноцінний засіб моніторингу.

3.5 Висновки до третього розділу

У третьому розділі описано практичну реалізацію інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту. На основі проєктних рішень, сформованих у другому розділі, побудовано апаратний вузол системи, який поєднує мікроконтролер ESP32, тензодатчики ваги, модуль NXP711, лічильники пасажирів, блок живлення та бездротовий канал передавання даних. Така структура дозволяє отримувати інформацію про фактичне навантаження на транспортний засіб і події входу або виходу пасажирів через дверну зону.

Представлено програмну логіку мікроконтролера ESP32, яка забезпечує повний цикл роботи системи: запуск, ініціалізацію сенсорів, налаштування Wi-Fi, зчитування вагових даних, приймання сигналів від лічильників пасажирів, фільтрацію вимірювань, узгодження каналів і формування результатів. Програмна частина побудована за циклічним принципом, що дозволяє системі працювати безперервно та регулярно оновлювати дані про стан заповненості салону.

Особливу увагу приділено реалізації алгоритму визначення заповненості транспортного засобу. Алгоритм ґрунтується на поєднанні подієвого підрахунку пасажирів і вимірювання вагового навантаження. Якщо лічильники фіксують вхід або вихід, а ваговий канал підтверджує відповідну зміну маси, подія вважається достовірною. Якщо дані не узгоджуються, подія може бути позначена як сумнівна та перевірена повторно. Це підвищує стійкість системи до випадкових спрацювань, шумів і нетипових ситуацій під час посадки або висадки пасажирів.

Описано реалізацію передавання даних і вебінтерфейсу моніторингу. Дані, сформовані мікроконтролером, передаються через Wi-Fi у структурованому

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вигляді та відображаються у вебінтерфейсі. Передбачено подання поточної кількості пасажирів, рівня заповненості, значення навантаження, статусу сенсорів і часу оновлення. Це дозволяє використовувати систему не лише як вимірювальний пристрій, а як повноцінний засіб оперативного контролю та подальшого аналізу пасажиропотоку.

Вебінтерфейс забезпечує зручний доступ до актуальної інформації та створює умови для подальшої інтеграції системи з централізованими платформами моніторингу міського транспорту й аналітичними сервісами. Крім відображення поточних показників, інтерфейс може використовуватись для накопичення статистичних даних, аналізу змін пасажиропотоку у різні часові проміжки та формування звітної інформації. Це дозволяє підвищити ефективність контролю за роботою транспорту, оперативно реагувати на перевантаження окремих маршрутів і забезпечувати більш раціональне планування транспортної мережі.

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання створення інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та засобів підрахунку пасажирів. Актуальність теми визначається тим, що сучасний громадський транспорт працює в умовах нерівномірного пасажиропотоку, коли в одні проміжки часу салон транспортного засобу перевантажується, а в інші використовується не повністю. За таких умов відсутність об'єктивних даних про фактичну кількість пасажирів ускладнює планування маршрутів, коригування інтервалів руху та оцінювання ефективності використання рухомого складу. Через це створення системи, здатної автоматично фіксувати рівень заповненості, має практичне значення для підвищення якості, безпеки та керованості міських перевезень.

У першому розділі проаналізовано особливості функціонування громадського транспорту та визначено основні проблеми, пов'язані з контролем його заповненості. Показано, що традиційні підходи до оцінювання пасажиропотоку часто не забезпечують достатньої точності, оскільки спираються на візуальні спостереження, періодичні перевірки або окремі автоматизовані засоби. Розглянуто сучасні системи автоматичного підрахунку пасажирів, готові рішення на основі АРС-технологій, 3D-сенсорів, інфрачервоних датчиків і програмно-аналітичних платформ. Окрему увагу приділено тому, що сам підрахунок пасажирів не завжди повністю відображає реальний стан завантаження салону, тому доцільним є поєднання подієвого обліку з фізичним вимірюванням навантаження за допомогою сенсорів ваги.

У другому розділі сформовано загальну архітектуру інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту. Архітектура побудована як багаторівнева структура, що охоплює сенсорний рівень, мікроконтролерну обробку, бездротове передавання даних і прикладний рівень взаємодії з користувачем. Для реалізації апаратної частини обґрунтовано

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використання мікроконтролера ESP32, тензометричних датчиків ваги, модуля HX711, інфрачервоних лічильників пасажирів, DC-DC перетворювача та Wi-Fi-зв'язку. Такий набір компонентів дозволяє забезпечити баланс між функціональністю, доступністю, простотою інтеграції та можливістю подальшого розширення системи.

У третьому розділі описано практичну реалізацію системи моніторингу. Сформовано апаратний вузол, у якому тензодатчики через модуль HX711 передають дані про вагове навантаження до ESP32, а лічильники пасажирів фіксують події входу та виходу через дверну зону. Реалізовано програмну логіку мікроконтролера, що забезпечує ініціалізацію сенсорів, зчитування показників, обробку сигналів, перевірку коректності даних, розрахунок заповненості та формування структурованого пакета інформації. Особливістю реалізації стало поєднання двох джерел даних, що дозволяє підвищити достовірність оцінки та зменшити вплив окремих похибок сенсорів.

Передавання даних реалізовано з використанням Wi-Fi, що дає змогу організувати взаємодію між мікроконтролерним вузлом і вебінтерфейсом моніторингу без додаткових зовнішніх модулів зв'язку. Для подання інформації застосовано структурований формат даних, придатний для передавання до серверної частини або локального вебінтерфейсу.

У підсумку поставлена мета кваліфікаційної роботи досягнута, оскільки сформовано та описано інтелектуальну систему моніторингу заповненості громадського транспорту, яка поєднує сенсорні вимірювання, мікроконтролерну обробку, алгоритм оцінювання заповненості та веборієнтоване відображення результатів. Запропоноване рішення має практичну спрямованість, може застосовуватися як основа для прототипу системи контролю завантаженості транспортних засобів і допускає подальше вдосконалення шляхом додавання GPS-модуля, централізованої бази даних, розширеної аналітики пасажиропотоку та інтеграції з диспетчерськими системами міського транспорту.

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Radovan A., et al. A Review of Passenger Counting in Public Transport: Concepts with Solution Proposal Based on Image Processing and Machine Learning. *Eng.* 2024. Vol. 5(4). P. 3280–3315. URL: <https://www.mdpi.com/2673-4117/5/4/172> (дата звернення: 21.02.2026).
2. Roncoli C., Chandakas E., Kaparias I. Estimating on-board passenger comfort in public transport vehicles using incomplete automatic passenger counting data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2023. Vol. 149. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X2200376X> (дата звернення: 21.02.2026).
3. Kanamitsu Y., et al. Estimating Congestion in a Fixed-Route Bus by Using BLE Beacons and Deep Learning. *Sensors*. 2022. Vol. 22. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8838786/> (дата звернення: 21.02.2026).
4. Alatiyyah M., et al. Smartphone-Based Wi-Fi Analysis for Bus Passenger Counting. *Journal of Computational Science*. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/pii/S1546221824004375> (дата звернення: 21.02.2026).
5. Pronello C., et al. Wi-Fi Sensing and Passenger Counting: A Statistical Analysis of Error Patterns in a Real-World Scenario. *Information*. 2025. Vol. 16(6). URL: <https://www.mdpi.com/2078-2489/16/6/459> (дата звернення: 21.02.2026).
6. Aslam M. M., et al. Intelligent Transportation Systems: A Critical Review of Cyber-Physical Systems and Industry 4.0 Convergence in Smart Transportation. *Smart Cities*. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352864825001105> (дата звернення: 21.02.2026).
7. Cordoş N., et al. An Overview of Intelligent Transportation Systems in Europe. *Machine*. 2025. Vol. 16(7). URL: <https://www.mdpi.com/2032-6653/16/7/387> (дата звернення: 21.02.2026).

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. De Caro A., et al. Optimizing Urban Public Transportation with a Crowding Information Strategy. *Urban Science*. 2025. Vol. 8(6). URL: <https://www.mdpi.com/2624-6511/8/6/190> (дата звернення: 21.02.2026).

9. Barbareschi M., et al. Designing on-board explainable passenger flow prediction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0952197624018062> (дата звернення: 21.02.2026).

10. McCarthy C., et al. Video-based automatic people counting for public transport. *Computers in Industry*. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361524001234> (дата звернення: 21.02.2026).

11. Haq E. U., Xu H., Chen X., Zhao W., Fan J., Abid F. A fast hybrid computer vision technique for real-time embedded bus passenger flow calculation through camera. *Multimedia Tools and Applications*. 2020. Vol. 79. P. 1007–1036. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08167-y> (дата звернення: 21.02.2026).

12. Drabicki A., Kucharski R., Cats O., Szarata A. Modelling the effects of real-time crowding information in urban public transport systems. *Transportmetrica A: Transport Science*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/23249935.2020.1809547> (дата звернення: 21.02.2026).

13. Peftitsi S., et al. Modeling the effect of real-time crowding information (RTCI) on passenger behaviour and system performance. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2022. Vol. 166. P. 354–368. URL: <https://ideas.repec.org/a/eee/transa/v166y2022icp354-368.html> (дата звернення: 21.02.2026).

14. Jevinger Å., et al. Artificial intelligence for improving public transport: a mapping study. *Public Transport*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12469-023-00334-7> (дата звернення: 21.02.2026).

15. Context-Aware Automated Passenger Counting Data: Occupancy Reconstruction and Bias Handling. *arXiv*. 2024. URL: <https://arxiv.org/html/2402.08688v1> (дата звернення: 21.02.2026).

16. A low-cost automatic people-counting system at bus stops using Wi-Fi probe requests and deep learning. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/378464131_A_low-cost_automatic_people-counting_system_at_bus_stops_using_Wi-Fi_probe_requests_and_deep_learning (дата звернення: 21.02.2026).

17. Fedujwar R., Agarwal R. Performance assessment of public transport routes with emphasis on in-vehicle crowding and reliability. *Case Studies on Transport Policy*. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210539524001858> (дата звернення: 21.02.2026).

18. Fan H., et al. Combined Effect of Changes in Transit Service and Crowd Management on Ridership. *Transportation Research Record*. 2023. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/03611981221111160> (дата звернення: 21.02.2026).

19. Zhu Y., et al. A computer vision and dynamic strain fusion approach for load estimation. *Scientific Reports*. 2025. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12717240/> (дата звернення: 21.02.2026).

20. Du J., et al. Estimating Bus Mass Using a Hybrid Approach (FFRLS + EKF). 2025. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/36d3/ee7f010b1b0a7dc9ee473611ac32213faa47.pdf> (дата звернення: 21.02.2026).

21. Cloud assisted Internet of Things intelligent transportation system (CIoT-ITS). 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/23307706.2021.2024460> (дата звернення: 21.02.2026).

22. TransitCrowd: Estimating Transit Demand with Mobile Crowdsensing. 2024. URL: <https://www.researchsquare.com/article/rs-2555834/latest.pdf> (дата звернення: 21.02.2026).

23. Real-Time Urban Traffic Monitoring Using Transit Buses as Probes (GTFS Realtime). 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/382576247_Real-Time_Urban_Traffic_Monitoring_Using_Transit_Buses_as_Probes (дата звернення: 21.02.2026).

24. GTFS Realtime. Revision history (оновлення щодо occupancy, 2020–2021). URL: <https://gtfs.org/documentation/realtime/change-history/revision-history/> (дата звернення: 21.02.2026).

25. GTFS Realtime. Reference (поля occupancy_status, departure_occupancy_status). URL: <https://gtfs.org/documentation/realtime/reference/> (дата звернення: 21.02.2026).

26. Trafiklab. Occupancy data in GTFS Regional (приклад публікації occupancy у VehiclePositions). 2021. URL: <https://www.trafiklab.se/news/2021/2021-04-16-gtfs-regional-occupancy-data/> (дата звернення: 21.02.2026).

27. Мацелюх Ю., Бублик М., Висоцька В. Інтелектуальна система динамічної 2D-візуалізації пасажиропотоків маршрутів громадського транспорту. *SISN*. 2022. Вип. 12. С. 79–119. DOI: <https://doi.org/10.23939/sisn2022.12.079> (дата звернення: 21.02.2026).

28. Olkhova M. V. Розумний транспорт і логістика для міст: конспект лекцій. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2021. URL: https://eprints.kname.edu.ua/59000/1/5_2020_90%D0%9B_Lecture%20notes_Smart%20transport%20and%20Logistics%20for%20Cities_2020-21_UA.pdf (дата звернення: 21.02.2026).

29. Kotsur T. S. Інформаційна система (приклад/пояснювальні матеріали) щодо автоматичного підрахунку пасажирів у транспорті. 2021. URL:

<https://dspace.wunu.edu.ua/bitstreams/17c963a3-082d-4478-827e-2ac0767c6aa9/download> (дата звернення: 21.02.2026).

30. Khmelnytskyi City Council. Інформація про хід виконання стратегічного плану розвитку за 2023 рік (включно із згадками про підрахунок пасажирів). 2024. URL: <https://www.khm.gov.ua/sites/default/files/2024-07/%D0%86%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%20%D1%85%D1%96%D0%B4%20%D0%B2%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D1%83%20%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83%20%D0%B7%D0%B0%202023.pdf> (дата звернення: 21.02.2026).

31. IRIS GmbH. IRMA MATRIX: Product Data Sheet (3D ToF passenger counter). URL: https://www.iris-sensing.com/fileadmin/user_upload/support/IRMA_MATRIX/Produktdatenblatt/IRMA-MATRIX_R2_ProductDataSheet_4-1_en.pdf (дата звернення: 21.02.2026).

32. DILAX. Automatic Passenger Counting (APC) products (опис лінійки та підходів). URL: <https://www.dilax.com/en/products/automatic-passenger-counting> (дата звернення: 21.02.2026).

33. INIT. Analyzing & optimizing public transport (модулі APC/аналітика). URL: <https://www.initse.com/ende/solutions/analyzing-optimizing/> (дата звернення: 21.02.2026).

34. Open Transportation Journal. Accuracy of Automatic Passenger Counting in Open Mass Transit Systems. 2025. URL: <https://opentransportationjournal.com/VOLUME/19/ELOCATOR/e26671212383074/PDF/> (дата звернення: 21.02.2026).

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

35. Kuchár P., et al. Passenger Occupancy Estimation in Vehicles: A Review of Sensing Approaches. *Sustainability*. 2023. Vol. 15(2). URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/2/1332> (дата звернення: 21.02.2026).

36. Intelligent Transportation System Technologies, Challenges and Security. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/380945662_Intelligent_Transportation_System_Technologies_Challenges_and_Security (дата звернення: 21.02.2026).

37. Passenger Counting in Mass Public Transport Systems using Computer Vision and Deep Learning. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/370861139_Passenger_Counting_in_Mass_Public_Transport_Systems_using_Computer_Vision_and_Deep_Learning (дата звернення: 21.02.2026).

38. The equity of public transport crowding exposure. 2023. URL: https://www.researchgate.net/publication/371839173_The_equity_of_public_transport_crowding_exposure (дата звернення: 21.02.2026).

39. Coelho P. de S., et al. The trade-off between equity and quality in public transportation. *npj Sustainable Mobility and Transport*. 2025. URL: <https://www.nature.com/articles/s44333-025-00039-3> (дата звернення: 21.02.2026).

40. ITSSI Journal. Аналіз пасажирських перевезень та вплив громадського транспорту в умовах «smart city». 2024. URL: <https://itssi-journal.com/index.php/itssi/article/view/463/423> (дата звернення: 21.02.2026).

41. VNTU Repository. Матеріали/анотація щодо підрахунку пасажирів по інтервалах часу. 2025. URL: <https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/10665.pdf> (дата звернення: 21.02.2026).

42. VNTU. Соціотехнічний підхід як шлях удосконалення транспортних систем (аспекти цифровізації та ІТС). 2025. URL: <https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/3316> (дата звернення: 21.02.2026).

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

43. AI-Based Smart Bus Passenger Counting and Alert System (вбудована реалізація з ESP32, IR-підрахунок). 2025. URL: https://ijirt.org/publishedpaper/IJIRT186773_PAPER.pdf (дата звернення: 21.02.2026).

44. Bus Tracking and Crowd Monitoring System (IoT-підхід до моніторингу завантаження). 2025. URL: <https://ijrpr.com/uploads/V6ISSUE11/IJRPR55913.pdf> (дата звернення: 21.02.2026).

45. Automatic Passenger Counting System on Public Buses Using CNN (приклад CV-підходу). 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/386096128_Automatic_Passenger_Counting_System_on_Public_Buses_Using_CNN_YOLOv8_Model_for_Passenger_Capacity_Optimization (дата звернення: 21.02.2026).

46. Modeling demand and crowding with automatic data sources (підходи до crowding-метрик і оцінювання). 2023. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/03611981221111160> (дата звернення: 21.02.2026).

47. IRIS Sensing (загальна підтримка IRMA MATRIX та документація). URL: <https://www.iris-sensing.com/> (дата звернення: 21.02.2026).

48. GTFS. Documentation (загальний портал стандарту). URL: <https://gtfs.org/documentation/> (дата звернення: 21.02.2026).

49. preprints.org. A Review of Passenger Counting in Public Transport (версія препринта, 2024). URL: <https://www.preprints.org/manuscript/202407.0263> (дата звернення: 21.02.2026).

50. ResearchGate. A Review of Passenger Counting in Public Transport (копія/репозиторій). 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/386755536_A_Review_of_Passenger_Counting_in_Public_Transport_Concepts_with_Solution_Proposal_Based_on_Image_Processing_and_Machine_Learning (дата звернення: 21.02.2026).

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

51. SpringerLink. Multimedia Tools and Applications, Vol. 79: A fast hybrid computer vision technique... (бібліографічна сторінка). 2020. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11042-019-08167-y> (дата звернення: 21.02.2026).

52. TU Delft Repository. Modeling the effect of real-time crowding information (pdf). 2022. URL: https://research.tudelft.nl/files/139275744/1_s2.0_S0965856422002695_main.pdf (дата звернення: 21.02.2026).

53. GPSM Pass-track система автоматичного підрахунку пасажирів. URL: <https://gpsm.ua/en/sistema-podschjota-passazhirovo-gpsm-pass-track/>

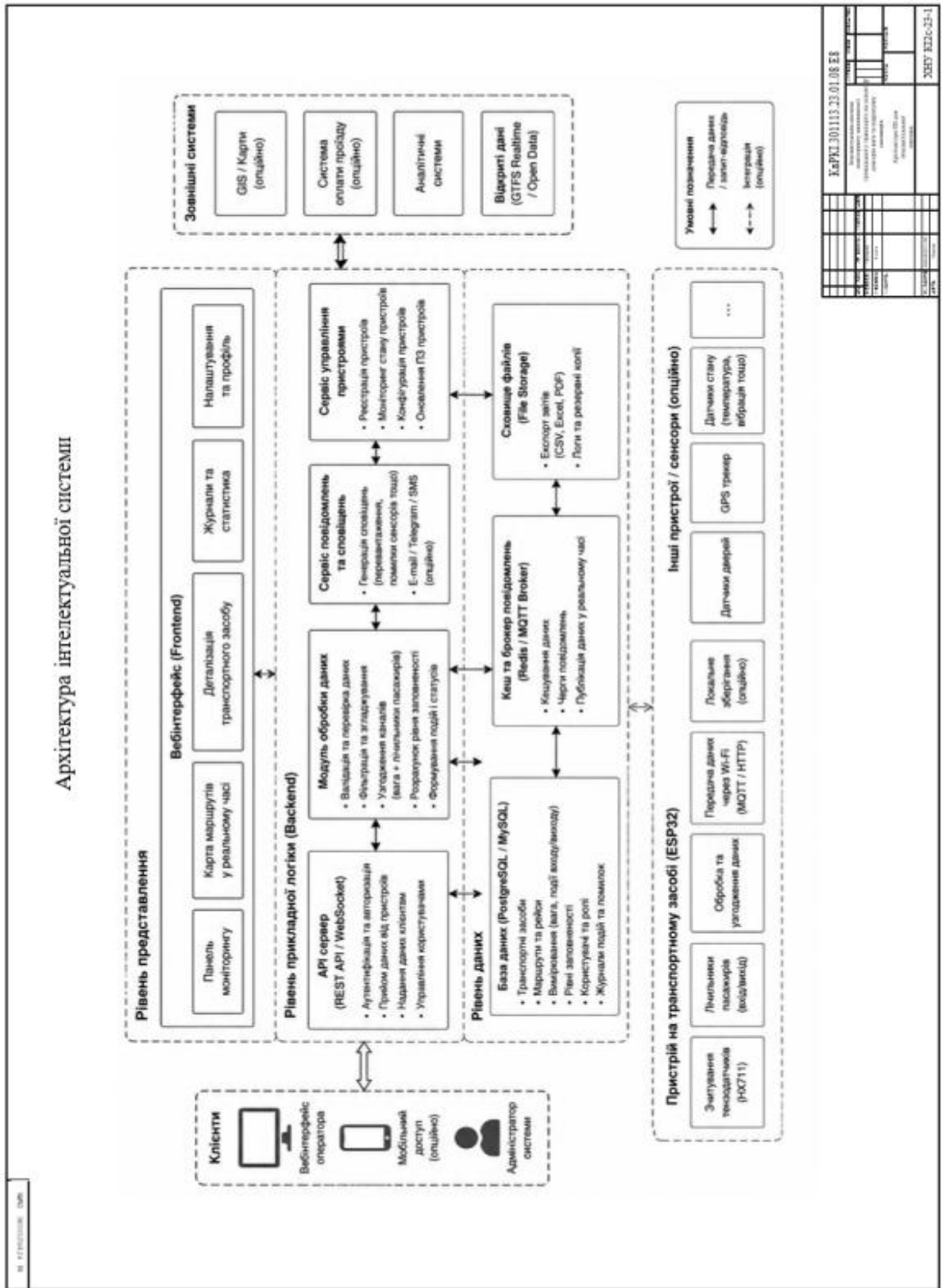
54. Приклад APC сенсорів Xovis для транспорту. URL: <https://www.xovis.com/technology/sensor/aps-r>

55. IRMA MATRIX. URL: <https://www.iris-sensing.com/ru/produkty/irma-matrix/>

					КВРКІ 301113.23.01.08 ПЗ	Арк. 69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б (обов'язковий)

Копія креслення «Архітектура інтелектуальної системи»



Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Павло ЛАХМАН

Співавтор:

Назва: Інтелектуальна система моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів

Експерт: Володимир КИСІЛЬ

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 3.67%

Коефіцієнт подібності 2: 1.42%

Мікропробіли: 3

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-06-07 17:15:19.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-06-08

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилки в документах: 8%**

ID: 273929 Назва: БКР Інтелектуальна система моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів Додано в БД: 2026-06-07 Автора: Павло ЛАХМАН Керівники: Володимир КИСІЛЬ Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	112262	798	1506 (1%)	20 (3%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Лахман Павло Олегович

Тема: Інтелектуальна система моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 58

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є проектування, реалізація та перевірка функціонування програмно-апаратної інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів. Прийняті рішення включають використання мікроконтролера ESP32 як центрального ядра системи, інтеграцію тензометричних датчиків ваги Load Cell через модуль HX711, застосування лічильників пасажирів для фіксації подій входу та виходу, а також розробку алгоритму визначення рівня заповненості салону.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню. Усі вимоги, зазначені у завданні на кваліфікаційну роботу, а саме аналіз предметної області, проектування інтелектуальної системи моніторингу заповненості громадського транспорту та її програмно-апаратна реалізація, виконані в повному обсязі.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проаналізовано предметну область громадського транспорту, проблему контролю заповненості салону та сучасні підходи до автоматичного підрахунку пасажирів. У другому розділі спроектовано загальну архітектуру системи, обґрунтовано вибір мікроконтролера ESP32, тензодатчиків ваги, модуля HX711 і лічильників пасажирів, а також описано організацію збору, обробки та передавання даних. У третьому розділі виконано програмно-апаратну реалізацію системи, розроблено

алгоритм визначення заповненості транспортного засобу, реалізовано логіку передавання даних і вебінтерфейс моніторингу.

4. Позитивні сторони роботи: Висока практична цінність роботи полягає у створенні комбінованого підходу до визначення заповненості громадського транспорту, де дані з лічильників пасажирів доповнюються фізичним вимірюванням вагового навантаження. Це дозволяє підвищити достовірність оцінки заповненості салону та зменшити вплив окремих похибок підрахунку. Також варто відзначити використання доступної елементної бази, зрозумілу структурну побудову системи та наявність вебінтерфейсу для наочного відображення результатів моніторингу.

5. Негативні сторони роботи: Суттєвим недоліком є обмеженість практичної перевірки системи в реальних умовах експлуатації громадського транспорту. Основні результати перевірки працездатності отримані на рівні програмно-апаратної моделі та тестових сценаріїв, що не дозволяє повною мірою оцінити стабільність роботи системи під час руху транспортного засобу.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно згідно з вимогами до кваліфікаційних робіт. Графічний матеріал, зокрема апаратне забезпечення проєкту, архітектура інтелектуальної системи та архітектура програмного забезпечення, виконаний на належному технічному рівні та відображає основні рішення, прийняті в роботі.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному технічному рівні. Здобувач продемонстрував знання у сфері побудови вбудованих систем, використання мікроконтролерів, сенсорних модулів, алгоритмічної обробки даних і розробки вебінтерфейсів моніторингу.

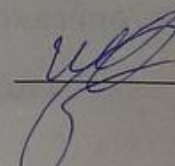
8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (D / 70)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Степан Шехоча Васильович, ст. викладач, РХН
кфр кібербезпеки

“ ___ ” _____ 2026 р.

 _____ (підпис)

Зав. кафедри КІІС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Павло ЛАХМАН

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-23-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1 травня 2026 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Інтелектуальна система моніторингу заповненості громадського транспорту на основі сенсорів ваги та підрахунку пасажирів

Автор Павло ЛАХМАН

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: Володимир КИСІЛЬ

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
 - 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
 - 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
 - 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел
- Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 3,67%; та системою Anti-Plagiarism складає 1%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

01.06.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис


Підпис


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Володимир КИСІЛЬ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ