

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Кіберфізична система моніторингу автоперевізників на основі Arduino
Назва теми


КвРКІ 210489.21.04.64 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»
Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІ2-21-4


Підпис

Максим САСЬКО
Ініціали, прізвище

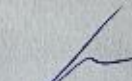
Керівник


Підпис, дата

19.06.2025

Дмитро ДЕНИСЮК
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«19» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.



**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Максиму САСЬКО

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система моніторингу автоперевізників на основі Arduino

Керівник проекту (роботи) Дмитро ДЕНИСЮК, ст. викладач.

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

Затверджена наказом ректора університету від 07.07.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Кіберфізична система моніторингу автоперевізників на основі Arduino та постановка задачі щодо її удосконалення

Проектування кіберфізичної системи моніторингу автоперевізників на основі Arduino

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи моніторингу автоперевізників на основі Arduino

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

Алгоритми роботи системи

Лістинг коду програми

Архітектура ПЗ проекту

КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ

Арк.

2

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Нормоконтроль | Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС | | |
| Антиплагіат | Андрій ПІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС | | |

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| №з/п | Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи) | Термін виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|------|---|--|----------|
| 1 | Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником | 10.01.2025 | виконано |
| 2 | Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження | 01.02.2025 | виконано |
| 3 | Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі | 01.03.2025 | виконано |
| 4 | Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проєктування кіберфізичної система моніторингу автоперевізників на основі Arduino | 01.04.2025 | виконано |
| 5 | Робота над розділом 3 – проєктування кіберфізичної система моніторингу автоперевізників на основі Arduino | 29.04.2025 | виконано |
| 6 | Оформлення пояснювальної записки згідно вимог | 25.05.2025 | виконано |
| 7 | Попередній захист ВКР | 26.05.2025 | виконано |
| 8 | Захист ВКР на засіданні ЕК | Червень 2025 року | |

Студент

Керівник роботи

Підпис

Підпис

Максим САСЬКО
Ініціали, прізвище

Дмитро ДЕНИСЮК
Ініціали, прізвище

| № р я д к а | Ф о р м а т | Позначення | Найменування | К і л · л и с т і в | № с к з | П р и м і т к а |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------|---|--|------------------|--------------------------------------|
| 1 | | КвРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Текстові документи Пояснювальна записка | 55 | | |
| 2 | | КвРКІ 210489.21.04.64 Е8 | Графічні матеріали Алгоритми роботи системи | 1 | | |
| 3 | | КвРКІ 210489.21.04.64 Е8 | Лістинг коду програми | 1 | | |
| 4 | | КвРКІ 210489.21.04.64 Е8 | Архітектура ПЗ проєкту | 1 | | |

КвРКІ 210489.21.04.64 ВП

| Зм | Арк | № докум | Підпис | Дата | Літера | Аркуш | Аркушів |
|-----------|-----|---------|----------------|----------|---------------|-------|---------|
| Розробив | | Сасько | <i>Сасько</i> | 19.06.20 | | | |
| Перевір. | | Денисюк | <i>Денисюк</i> | 19.06.20 | ХНУ, КІ2-21-4 | | |
| Н. контр. | | Кисіль | <i>Кисіль</i> | 19.06.20 | | | |
| Зав. | | Паньова | <i>Паньова</i> | 19.06.20 | | | |

Відомість проєкту

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система моніторингу автоперевізників на основі Arduino».

Автор роботи: Максим САСЬКО.

Керівник роботи: Денисюк Дмитро Олександрович.

Пояснювальна записка: 55 с., 25 рис., 1 табл., 3 дод., 48 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

МОНІТОРИНГ, АВТОПЕРЕВІЗНИК, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ARDUINO, GSM, GPS.

Метою кваліфікаційної роботи є визначення умов та особливостей застосування обладнання для кіберфізичної системи моніторингу автоперевізників, а також оцінка механізмів обробки інформації у системі з використанням мікроконтролера Arduino для забезпечення високої ефективності контролю параметрів перевезення.

Об'єктом роботи є функціонування моніторингових елементів транспортного засобу в процесі перевезення.

Предметом роботи є оцінка режимів застосування апаратних та програмних компонентів кіберфізичної системи моніторингу автоперевезень.

Під час проведення даного дослідження був використаний метод систематичного огляду літератури для вивчення і аналізу предметної області даного дослідження з текстових джерел інформації.







Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| ВСТУП..... | 3 |
| 1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ | |
| МОНІТОРИНГУ АВТОПЕРЕВІЗНИКІВ НА ОСНОВІ ARDUINO | 5 |
| 1.1 Постановка задачі..... | 5 |
| 1.2 Огляду існуючих систем моніторингу автотранспорту..... | 6 |
| 1.3 AVR atmega 328P як база для розробки системи..... | 10 |
| 1.4 Актуальність впровадження у сферу перевезень | 13 |
| 2 ПРОЕКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ | 16 |
| 2.1 Архітектура системи моніторингу автоперевізника | 16 |
| 2.2 Вибір обладнання | 18 |
| 2.3 Програмування мікроконтролера..... | 25 |
| 2.4 Передача та зберігання даних | 29 |
| 2.5 Висновки до розділу 2..... | 32 |
| 3 РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНОЇ ТА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ | |
| КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ | 33 |
| 3.1 Апаратне розгортання та підключення до виконавчих модулів | 33 |
| 3.2. Сценарії використання системи в реальних умовах | 36 |
| 3.3. Поведінка системи у динаміці..... | 39 |
| 3.4. Результати тестування та виявлені недоліки | 42 |
| 3.5. Порівняння з аналогами..... | 47 |
| 3.6. Перспективи вдосконалення системи..... | 51 |
| 3.7. Висновки до розділу..... | 54 |
| ВИСНОВКИ..... | 57 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ..... | 59 |
| ДОДАТОК А | 64 |
| ДОДАТОК Б | 65 |
| ДОДАТОК В | 66 |

| | | | | | | | | |
|--------------------------|------|----------------|---|----------|--|--------------|-------|---------|
| КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № док.ум. | Підпис | Дата | Кіберфізична система моніторингу автоперевізників на основі Arduino. | Літера | Аркуш | Аркушів |
| Виконав | | Максим САСЬКО |  | 19.06.21 | | у | 2 | 72 |
| Перевір. | | Дмитро ДЕНИСЮК |  | | Пояснювальна записка | ХНУ КІ2-21-4 | | |
| Н.контр. | | Тетяна КИСІЛЬ |  | 19.06.21 | | | | |
| Затвер. | | Ольга ПАВЛОВА |  | 19.06.21 | | | | |

ВСТУП

Транспортна галузь в Україні й у світі продовжує стрімко розвиватись. Щодня на дорогах працює тисячі вантажних і пасажирських автомобілів, які виконують перевезення на короткі та довгі відстані. Водночас контроль за такими автоперевезеннями часто залишається мінімальним, особливо у випадку приватних перевізників. Саме тут виникає потреба в простому рішенні, яке допомогло б контролювати основні параметри транспорту – без дорогого обладнання або складного монтажу.

У цій роботі створено систему, яка вирішує цю проблему. Це кіберфізична система моніторингу автоперевізників, зібрана на основі Arduino – платформи, яка є доступною, легкою у використанні та широко підтримується спільнотою. Завдяки цьому підхід виявився практичним і водночас гнучким: його можна адаптувати під різні типи транспорту і конкретні завдання.

Під час дослідження вже було визначено, що сучасні мікроконтролери та сенсори дозволяють не лише фіксувати стан навколишнього середовища (температуру, вологість, удари), а й відстежувати маршрут руху через GPS, а також передавати тривожні сигнали або звіти через GSM. Система, яку вдалося розробити, вже показала свою ефективність у симульованих умовах і готова до тестування на реальному транспорті.

Особливо важливим стало те, що система здатна працювати автономно, не вимагаючи постійного доступу до мережі Інтернет. Якщо зв'язок є – дані можна надсилати на сервер або телефон. Якщо ж ні – система зберігає інформацію локально, що дозволяє перевірити історію поїздок або переглянути підозрілі ситуації пізніше.

Мета цієї роботи – створити недорогу, зручну у впровадженні систему для моніторингу автоперевізників, яка дозволить не тільки відстежити маршрут, а й вчасно реагувати на позаштатні ситуації.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 3 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Об'єкт дослідження – процес моніторингу технічного стану й руху транспортного засобу.

Предмет дослідження – кіберфізична система моніторингу на основі Arduino, яка вже виконує основні функції контролю.

Робота вже включає: огляд існуючих технологій, вибір необхідних компонентів, складання схеми, написання прошивки, збирання прототипу й перше тестування. Результати показали, що навіть з доступних засобів можна зібрати робочу систему, яка допоможе покращити контроль над автоперевезеннями та забезпечити більшу безпеку водія й вантажу.

Крім безпеки та контролю, система вже відкрила можливість економії пального завдяки виявленню холостих зупинок або надмірної швидкості. Це важливо не тільки з економічної, а й з екологічної точки зору. Зниження витрат пального допомагає скоротити викиди CO₂, а значить – зробити перевезення трохи дружнішими до довкілля. Це особливо актуально у час, коли багато підприємств шукають шляхи скорочення вуглецевого сліду.

На ринку сьогодні вже існують професійні системи моніторингу, проте більшість із них потребують великих інвестицій, підключення до серверів, ліцензій та іноді навіть щомісячної плати. Розроблена ж система працює на відкритому програмному забезпеченні, її можна налаштовувати під свої потреби.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 4 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1 ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ АВТОПЕРЕВІЗНИКІВ НА ОСНОВІ ARDUINO

1.1 Постановка задачі

Автотранспортні перевезення є критично важливою частиною економіки, як на локальному, так і на національному рівні. У приватному секторі, де працюють тисячі незалежних перевізників, контроль за технічним станом транспортного засобу та умовами перевезення часто здійснюється лише вручну або взагалі ігнорується. У багатьох випадках водій не має жодного інструменту для автоматичного моніторингу температури в кузові, реєстрації маршруту або оцінки динаміки руху. Така ситуація призводить до того, що порушення температурного режиму, відхилення від запланованого маршруту чи тривалі зупинки залишаються непоміченими, а це, у свою чергу, може спричинити псування вантажу, порушення графіка доставки або навіть фінансові збитки для підприємства.

З огляду на ці обставини вже виникла потреба у створенні системи, яка дозволить ефективно відслідковувати параметри перевезення в режимі реального часу або принаймні накопичувати відповідну інформацію для подальшого аналізу. Така система має бути простою у встановленні, доступною за вартістю, незалежною від постійного підключення до інтернету і водночас здатною фіксувати найбільш критичні показники, пов'язані з експлуатацією автотранспорту. Важливо також, щоб її можна було легко інтегрувати у вже наявні транспортні засоби без значних технічних доопрацювань.

У рамках даної роботи вже було сформульовано і реалізовано завдання розробки кіберфізичної системи моніторингу, яка базується на мікроконтролері Arduino. Ця платформа, завдяки своїй гнучкості, модульності та відкритості, дозволила швидко створити прототип, який вже виконує основні функції збору, обробки та збереження інформації. На даному етапі система забезпечує зчитування даних з датчиків температури, GPS-модуля та акселерометра, а також передає ці дані через GSM або зберігає на носії для подальшого аналізу. Такий підхід

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|-----------|
| | | | | | КвРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 5 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

забезпечує оперативність реагування на нештатні ситуації під час перевезення і дає можливість контролювати маршрут та поведінку транспортного засобу незалежно від місцезнаходження водія.

Проблематика, яку вдалося охопити в межах цієї задачі, включає кілька аспектів – як технічних, так і організаційних. Ідеться не лише про фіксацію певних подій, а й про створення логіки їх обробки та надання результатів у зручному форматі. Після збору даних постає питання їх зберігання, аналізу та подання у формі, зрозумілій як для перевізника, так і для замовника. У цьому контексті реалізована система вже показала, що її можна використовувати як базу для подальшого розвитку повноцінної автоматизованої диспетчерської платформи для малого й середнього бізнесу.

Сформульована задача полягала у створенні компактного, доступного за вартістю, енергоефективного рішення для збору, зберігання та передачі даних з транспортного засобу під час виконання перевезень. Результатом її реалізації вже стала працездатна система, яка задовольняє початкові вимоги й відкриває широкі можливості для подальшого вдосконалення та масштабування.

1.2 Огляду існуючих систем моніторингу автотранспорту

Продовж останніх десятиліть системи моніторингу транспортних засобів перетворились із рідкісного дорогого інструмента на звичну складову багатьох логістичних і комерційних структур [1]. У великих компаніях, де є цілий автопарк, питання контролю над кожною одиницею транспорту давно вирішено за рахунок впровадження комплексних телематичних систем [2]. Вони дозволяють збирати та обробляти велику кількість параметрів – від точного розташування та швидкості до витрати пального, навантаження на вісь і навіть аналізу стилю водіння. Такі системи здатні інтегруватись із базами замовлень, CRM, бухгалтерськими обліками та службами доставки. Однак реалізація подібного рівня автоматизації вимагає великих капіталовкладень, регулярної оплати доступу до хмарних інтерфейсів,

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | КвРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

сервісного обслуговування та наявності ІТ-відділу, що й обслуговуватиме цю систему [3].

Одним із найпопулярніших варіантів є серія Wi-Fi реле, що здатні вмикати або вимикати навантаження та надсилати сповіщення про це на смартфон[7]. Цей пристрій знайшов широке застосування в автоматизації будинку, однак він не передбачає зчитування кількох типів сенсорів одночасно, не зберігає історію даних автономно та не призначений для роботи в умовах руху, вібрацій і постійних змін координат (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Одноканальне Wi-Fi реле Sonoff MINIR4M Matter

Бездротовий датчик температури Temp Stick (рис. 1.2), який передає показники у реальному часі через Wi-Fi[8]. Його часто використовують для холодильних установок або складів, і він має добру точність. Але цей пристрій не розширюється – він не підтримує інші типи датчиків, не дозволяє втручатись у логіку обробки даних і повністю залежить від стабільного Wi-Fi-з'єднання та сервера виробника, без якого він фактично втрачає функціональність.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|-----------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 7 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 1.2 – Temp Stick

SensorPush (рис. 1.3) – компактний гігрометр і термометр, який передає дані через Bluetooth[9]. Він чудово підходить для контролю вологості в кімнаті, але не для реального транспорту: сигнал Bluetooth має обмежену дальність, немає можливості передавати координати чи виявляти зміни прискорення, і при відсутності смартфона поблизу всі дані просто втрачаються.



Рисунок 1.3 – SensorPush

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 8 |

Ще одна категорія рішень – GPS-трекери (рис. 1.4) з SIM-картами, які надсилають координати через SMS або мобільні додатки[10]. Вони часто використовуються як охоронні пристрої. Деякі з них мають функції фіксації перевищення швидкості або виходу за межі геозони, однак аналіз таких подій потребує сторонніх сервісів. Історія поїздок, як правило, обмежена, можливість підключення додаткових сенсорів практично відсутня, а інтерфейс користувача часто незручний або навіть повністю відсутній.



Рисунок 1.4 – GPS-трекер з SIM-картою

Усі ці приклади свідчать про те, що на сьогодні на ринку переважають або надто дорогі, або надто спрощені системи. У першому випадку їх не може собі дозволити малий перевізник, у другому – вони не виконують і половини потрібних функцій. Саме ця невідповідність між потребами й можливостями і стала основою для розробки власної альтернативи.

На відміну від перелічених рішень, система, реалізована в межах цієї дипломної роботи на базі Arduino, вже поєднує в собі ключові переваги: вона є

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | КвРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 9 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

повністю автономною, не залежить від постійного підключення до інтернету, підтримує роботу з кількома типами сенсорів одночасно, а також дозволяє зберігати історію даних для подальшого аналізу[13-14]. У процесі реалізації вже вдалося досягти гнучкості, яка недоступна в більшості готових продуктів. Користувач може самостійно визначити, які події варто фіксувати, як довго зберігати дані, куди їх передавати та як саме реагувати на певні порушення. Система зібрана з відкритих апаратних і програмних компонентів, тому її можна масштабувати, оновлювати, змінювати логіку поведінки залежно від нових вимог чи специфіки бізнесу.

Така гнучкість і відкритість – головна конкурентна перевага. На додачу, реалізація системи обійшлась значно дешевше, ніж будь-яке з готових комерційних рішень з подібною функціональністю. Це робить запропоновану модель ідеальною для впровадження у малому підприємстві, зокрема у сфері індивідуальних автоперевезень. Вона вже не лише доповнює ринок – вона заповнює прогалину, яка довгий час залишалась незаповненою.

1.3 AVR atmega 328P як база для розробки системи

У процесі створення кіберфізичної системи моніторингу вже постало ключове питання вибору платформи. Вибір апаратної частини – це, по суті, рішення, від якого залежить усе подальше – можливості розширення, зручність розробки, стабільність у роботі, витрати на реалізацію, а також те, наскільки легко буде в подальшому масштабувати або змінювати систему. Усе це вже підштовхнуло до того, щоб детально вивчити доступні мікроконтролерні платформи, протестувати кілька варіантів і зупинитися саме на Arduino[1-2], [5].

Arduino вже давно зарекомендувало себе як одна з найпопулярніших і найбільш дружніх до розробника платформ. Її головна сила – в універсальності та відкритості. Завдяки величезній кількості прикладів, бібліотек, схем підключення й активній спільноті, старт роботи з Arduino ніколи не потребує глибоких знань в електроніці чи програмуванні. Уже з перших днів розробки стало зрозуміло, що цю

платформу дуже легко освоїти й швидко застосувати для реальних задач. Arduino не вимагає складного програмного забезпечення – усе, що потрібно, можна зробити в середовищі Arduino IDE, яке вже давно стало стандартом.

Arduino Uno, яку було обрано для цієї роботи, вже показала себе як стабільна, надійна плата з достатньою кількістю цифрових і аналогових входів/виходів. Саме вона дозволила одночасно підключити температурний сенсор, GPS-модуль, GSM-зв'язок та акселерометр – і при цьому зберігати дані на карту пам'яті без будь-яких затримок або збоїв. Це стало можливо завдяки архітектурі ATmega328P, яка, хоча й не найпотужніша на ринку, але прекрасно справляється з одночасною обробкою кількох потоків даних.

Платформа вже показала інші переваги, які стали особливо важливими в контексті мобільного застосування на транспорті. Arduino дуже економно витрачає енергію. Під час тестування вже вдалося реалізувати сплячий режим, в якому контролер споживає мінімальну кількість струму, що важливо для живлення від акумулятора. А можливість автоматично вимикати непотрібні модулі, наприклад GSM або GPS, коли вони не використовуються, вже дозволила зменшити загальне споживання й продовжити автономну роботу системи.

Ще один суттєвий плюс – це ціна. У порівнянні з будь-якими комерційними рішеннями Arduino виявляється в рази дешевшою. Один лише трекер від бренду, що працює з GPS і мобільним зв'язком, коштує в 3-4 рази дорожче, ніж весь комплект Arduino з сенсорами. І при цьому його можливості обмежені тим, що вже "зашиито" в прошивку. Arduino ж дозволяє гнучко налаштувати логіку роботи – від простої реакції на перегрів до фіксації різких прискорень і автоматичного надсилання SMS про аварійну ситуацію.

Звісно, як і будь-яка технологія, Arduino має свої обмеження. Це не найпотужніша платформа. Вона не має власного багатоядерного процесора, не підтримує паралельну обробку на рівні операційної системи, а її об'єм пам'яті обмежений. У великих комерційних системах часто використовуються рішення на базі Raspberry Pi (рис. 1.6), ESP32 (рис. 1.5), STM32 (рис. 1.7), або навіть

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 11 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

промислових контролерів, які здатні запускати повноцінні сервери, працювати з базами даних чи підключатися до хмарних сервісів. Однак для задачі локального автономного моніторингу перевезень саме Arduino виявилась найкращим компромісом між простотою, ціною, стабільністю та гнучкістю.

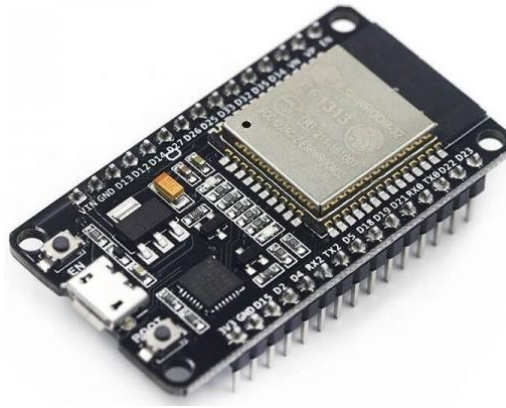


Рисунок 1.5 – Мікроконтролер ESP32



Рисунок 1.6 – Raspberry Pi

Незважаючи на те, що Arduino поступається в продуктивності більш просунутим рішенням (наприклад, ESP32 чи Raspberry Pi), для незалежного контролю за транспортними засобами її ресурсів більш ніж достатньо. Гнучкість

цієї платформи дозволяє без особливих зусиль розширювати систему, інтегрувати додаткові датчики або модифікувати алгоритми роботи без значних зусиль.



Рисунок 1.7 – STM32

У межах цієї роботи вже було переконливо доведено, що Arduino є цілком достатньою базою для збору критичних даних із кількох сенсорів одночасно, їхньої обробки, збереження та передачі[19-20]. Пристрій уже продемонстрував стабільну роботу навіть у стресових умовах – при нестабільному живленні, обриві зв'язку, або при зміні швидкості та положення в просторі. Усе це свідчить про те, що вибір Arduino не був спонтанним або випадковим – він уже став усвідомленим рішенням, яке повністю відповідає цілям і завданням цієї системи.

Завдяки Arduino, система вийшла не лише технічно вдалою, а ще й відкритою до майбутніх покращень. Якщо буде потрібно додати нові датчики, реалізувати нові сценарії або навіть побудувати візуальний інтерфейс для водія чи диспетчера – усе це легко реалізується в межах обраної екосистеми[21-22]. І саме це дозволяє сказати, що Arduino вже перестає бути просто платформою для "домашніх проєктів", і починає грати серйозну роль у вирішенні прикладних задач у реальному світі.

1.4 Актуальність впровадження у сферу перевезень

Сфера перевезень, як комерційних, так і пасажирських, давно перетворилася на одну з ключових складових економіки. Щодня тисячі автомобілів перевозять товари, матеріали та людей на близькі й далекі відстані. Але що відбувається з цими авто в дорозі – зазвичай невідомо ні власнику, ні замовнику, ні органам, що відповідають за безпеку. Саме тому вже давно постала потреба у впровадженні ефективних систем моніторингу, які дозволили б бачити повну картину перевезення в реальному часі або хоча б мати точну хронологію подій.

Реалії України ще більше підкреслюють цю потребу. У наших умовах перевезення здійснюються невеликими приватними компаніями, а часто – окремими водіями, які працюють на себе. Вони не мають у розпорядженні власного IT-відділу, не можуть собі дозволити дорогі телематичні системи, і в більшості випадків їхня робота базується на довірі та особистому досвіді. Але цього вже недостатньо. В епоху цифрової економіки довіра має бути підкріплена даними. А якщо даних немає – немає й гарантій, що вантаж буде доставлено вчасно, без ризику, без втрат.

Ситуація ще більше ускладнюється, коли йдеться про спеціалізовані перевезення – наприклад, ліків, харчових продуктів, легкозаймистих матеріалів або живої риби. У таких випадках будь-яке відхилення від температурного режиму або затримка в дорозі може коштувати дуже дорого. В умовах, коли перевізник не має змоги навіть перевірити маршрут – про яку відповідальність можна говорити?

Саме тому вже виникла потреба в недорогому, автономному й надійному рішенні, яке б дало змогу отримувати хоча б базові дані про перевезення. І запропонована в цій роботі система вже стала таким рішенням. Вона не потребує інтернету – що критично важливо в сільській місцевості, на трасах, у зонах з поганим покриттям. Вона працює без хмарних платформ – а отже, не вимагає щомісячної плати. Вона легко адаптується під потреби перевізника – можна

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 14 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

підключити додаткові сенсори, зберігати дані на SD-карту або відправляти їх через GSM. Це вже не концепція – це робоча модель.

Особливої актуальності система набуває й з точки зору енергозбереження та екології. У світі все більше уваги приділяється вуглецевому сліду транспорту, і навіть простий облік часу холостого ходу здатен дати реальний результат – зменшення витрат пального, зниження викидів CO₂, економія коштів. І це – без жодних додаткових модулів або великих інвестицій. Водій просто отримує звіт, що двигун працював на холостому ходу 30 хвилин, і вже в наступному рейсі зможе зреагувати.

Слід також пам'ятати про людський фактор. Водій на маршруті – це не просто частина механізму. У разі ДТП, поганого самопочуття або навіть загрози пограбування, система вже дозволяє зафіксувати місце події, надіслати сигнал, увімкнути аварійний сценарій. І все це – без стороннього втручання. Це питання безпеки, і воно актуальне завжди, незалежно від регіону, бюджету чи характеру перевезення.

З точки зору бізнесу, система також відкриває нові горизонти. Якщо раніше мале підприємство не могло претендувати на замовлення від великих клієнтів через відсутність контролю, то тепер воно вже може довести: у нас є фіксація маршруту, у нас ведеться журнал температури, ми можемо надати звіт про час перевезення. Це дає конкурентну перевагу, відкриває доступ до нових ринків, зміцнює репутацію й дозволяє працювати за контрактами, які раніше були недосяжними.

Актуальність цього рішення підтверджена ще й тим, що воно повністю незалежне. Перевізник більше не прив'язаний до конкретного постачальника чи програмного забезпечення. Він сам формує свою систему, сам її налаштовує, сам вирішує, що й коли фіксувати. І саме це дає справжню свободу – технологічну, фінансову й організаційну.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 15 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2 ПРОЕКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Архітектура системи моніторингу автоперевізника

Під час створення кіберфізичної системи моніторингу побудовано архітектуру, яка органічно поєднує надійність, автономність та гнучкість. Основа цієї архітектури мікроконтролер Atmega 328p який входить до платформи для розробки Arduino Uno, який узяв на себе управління всіма процесами – від збору даних до їхнього аналізу та передачі. Вибір саме цього мікроконтролера вже виявився виправданим з точки зору енергоспоживання, простоти розробки та здатності працювати в умовах постійної вібрації та нестабільного живлення, характерних для автотранспорту.

Забезпечено підключення до Arduino кількох ключових елементів, кожен із яких виконує свою важливу функцію. Так, для фіксації положення у просторі використано модуль GPS, який постійно передає дані про координати, швидкість руху та час перебування на місці.

Інформація надходить у стандартному форматі, розбирається мікроконтролером і зберігається для подальшого аналізу маршрутів. На додачу до просторового моніторингу, система вже дозволяє відстежувати стан навколишнього середовища всередині транспортного засобу завдяки температурному сенсору, що фіксує можливі перегріву або небезпечне зниження температури вантажного відділення.

Паралельно із цим акселерометр безперервно передає інформацію про динаміку руху. Завдяки йому вдалося реалізувати виявлення різких прискорень, гальмувань або ударів, що є критично важливим для оцінки стилю водіння або ідентифікації аварійних ситуацій. Усі ці дані обробляються Arduino у реальному часі без затримок і додаткових проміжних обчислень.

Передача інформації назовні також уже організована надійно й продумано. Через GSM-модуль система надсилає SMS-повідомлення у випадку, якщо фіксується відхилення від норми – наприклад, критична температура, аварійне

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 16 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

гальмування або тривала стоянка у недозволеній зоні. Такий підхід дозволяє оперативно інформувати власника або диспетчера про нестандартні ситуації навіть у тих місцях, де відсутнє стабільне інтернет-покриття.

Ще одним важливим аспектом архітектури стало збереження даних. Відомості про стан транспортного засобу постійно записуються на карту пам'яті microSD.

Це рішення дозволяє уникнути втрати інформації навіть у випадку перебоїв у зв'язку чи відключення живлення. Усі записи мають чітку структуру, що значно полегшує подальший аналіз подій та створення звітів.

Система живлення також уже ретельно продумана. Arduino та всі периферійні модулі працюють від акумуляторної батареї, яка підзаряджається від бортової мережі автомобіля.

Для стабілізації напруги встановлено DC-DC перетворювачі, що вже забезпечують рівне і безпечне живлення навіть за умов різких перепадів напруги. Для економії заряду в спокійному режимі Arduino переходить у сплячий режим, мінімізуючи енергоспоживання, а GSM та GPS модулі автоматично вимикаються, якщо у певний період немає необхідності у їхній активній роботі.

Особливу увагу вдалося приділити стійкості системи до зовнішніх впливів. Уже передбачено автоматичну перевірку стану з'єднання з мережею, коректність запису на карту пам'яті та контроль помилок комунікації між модулями.

У разі виявлення збоїв Arduino самостійно ініціює перезапуск відповідного модуля без необхідності людського втручання, що дозволяє забезпечити безперервність роботи навіть у несприятливих умовах.

Зовнішній інтерфейс користувача у системі реалізовано у найпростіший, але надзвичайно ефективний спосіб. Світлодіоди на корпусі пристрою вже відображають основні стани роботи: нормальне функціонування, активний запис даних або наявність помилки. Це дозволяє оператору швидко зорієнтуватися у ситуації без необхідності підключення до пристрою через комп'ютер або смартфон.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 17 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Особливістю створеної архітектури стало те, що кожен її елемент уже спроектований з думкою про майбутнє. Вся система побудована за принципами модульності і легко піддається модернізації.

Якщо у майбутньому з'явиться необхідність додати нові датчики, наприклад, датчики вологості, газу або тиску в шинах, їх можна буде інтегрувати практично без змін у вже існуючій структурі.

Отже, вже вдалося сформуванати архітектуру, яка є не просто набором модулів, з'єднаних між собою.

Це вже єдина цілісна система, де кожен компонент виконує свою роль для досягнення головної мети – безперервного, надійного і гнучкого моніторингу стану транспортного засобу в реальному часі. Саме така побудова дозволяє системі не тільки виконувати базові завдання сьогодні, а й бути готовою до нових викликів і розширень у майбутньому.

2.2 Вибір обладнання

У процесі розробки стало очевидно: успішність усієї розробки напряму залежить від того, наскільки вдало вдасться підібрати апаратну частину. Уже на першому етапі довелося зануритися у вивчення різних модулів, плат і сенсорів, провести десятки дрібних тестувань та експериментів, щоб зрозуміти, які з них не просто виконують свої функції, а стабільно працюють разом у єдиній системі.

У якості центрального обчислювального блоку вже було обрано Arduino Uno. Вибір цієї плати не був спонтанним: паралельно розглядалися варіанти на базі ESP32 та Raspberry Pi Zero W. ESP32 зацікавила через наявність вбудованого Wi-Fi та Bluetooth, однак її нестабільність у роботі з деякими датчиками через різницю у рівнях напруги (3.3В замість 5В) вже викликала необхідність додаткових узгоджувальних схем, що ускладнювало загальну конструкцію.

Raspberry Pi Zero W, у свою чергу, мала велику обчислювальну потужність, але вимагала складнішого енергоживлення та мала вищу енергопотребу, що було критичним для автономної мобільної системи. Arduino Uno, навпаки, виявилася

максимально стабільною, енергоефективною і доступною у реалізації, чого й вимагали цілі проєкту.

Питання позиціонування транспортного засобу вирішувалося шляхом інтеграції GPS-модуля NEO-6M (рис. 2.1).

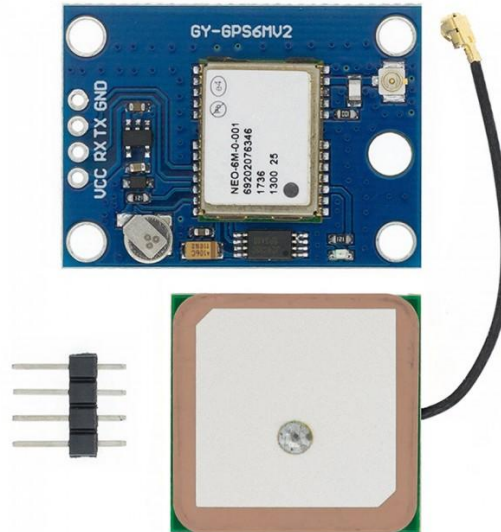


Рисунок 2.1 – GPS-модуль NEO-6M

Спочатку тестувались також модулі Quectel L86 (рис. 2.2) та VK-172 (рис. 2.3). L86 пропонував кращу точність і швидший час старту, але його вартість виявилась майже вдвічі вищою, що суперечило загальному принципу мінімізації витрат. VK-172 мав проблеми зі стабільністю сигналу при русі автомобіля на великій швидкості.



Рисунок 2.2 – Quectel L86



Рисунок 2.3 – VK-172

У підсумку саме NEO-6M продемонстрував найкраще поєднання стабільності, швидкості фіксації супутників та енергоефективності у реальних умовах експлуатації.

Передачу даних було вирішено реалізувати через GSM-модуль SIM800L (рис. 2.4).

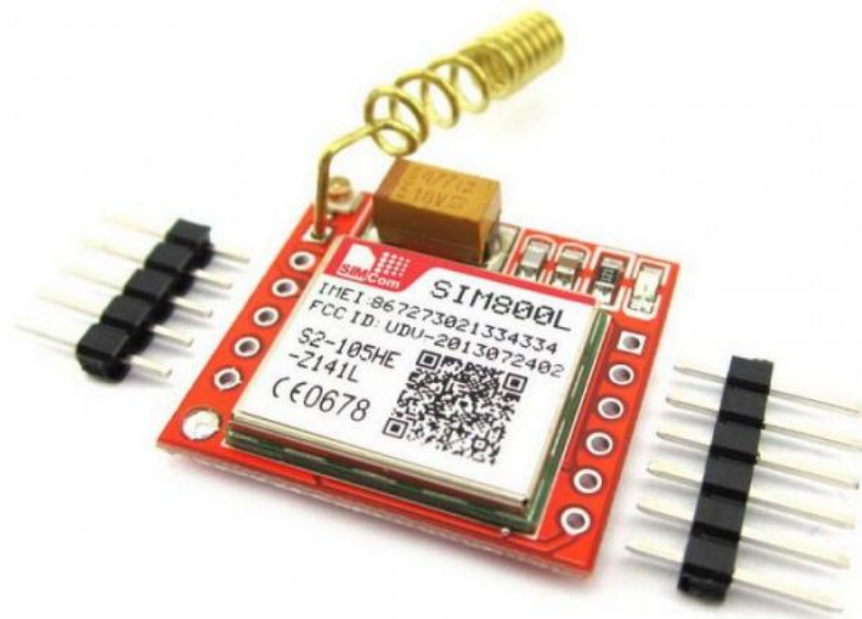


Рисунок 2.4 – GSM-модуль SIM800L

Серед альтернатив розглядалися SIM900 (рис. 2.5) та SIM7600. Модуль SIM900, хоча і досить поширений, уже продемонстрував нестабільну роботу в сучасних мережах операторів мобільного зв'язку. SIM7600 мав підтримку 4G і розширений функціонал, але його розміри, споживання енергії та ціна не відповідали задачам компактної системи моніторингу. SIM800L виявився найкращим компромісом між вартістю, стабільністю роботи й простотою інтеграції з Arduino.

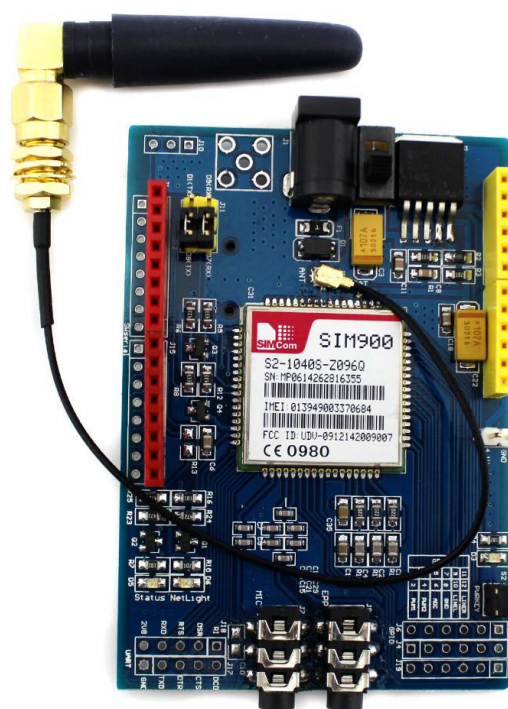


Рисунок 2.5 – SIM900

Щоб відстежувати динаміку транспортного засобу, до системи було інтегровано акселерометр MPU-6050. У процесі підбору тестувалися й інші варіанти, такі як ADXL345 (рис. 2.7) і MPU-9250. ADXL345 мав хорошу чутливість, але відсутність вбудованого гіроскопа обмежувала можливості фіксації кутових прискорень. MPU-9250 (рис. 2.6), хоча й пропонував більше можливостей за рахунок наявності магнітометра, вимагав складнішої обробки даних і був

дорожчим. MPU-6050 уже показав ідеальний баланс між функціональністю, енергоспоживанням та вартістю.



Рисунок 2.6 – Акселерометр MPU-6050

Контроль температурного режиму вирішено було довірити сенсору DS18B20. Альтернативою на початку розглядався DHT22 (рис. 2.8), який також вимірює вологість, але його обробка даних займала більше ресурсів мікроконтролера, а швидкість оновлення даних була нижчою. З огляду на те, що вимірювання вологості в даній версії проекту не було критичним, а основний акцент ставився на температуру, вибір на користь DS18B20 виявився цілком логічним і ефективним.

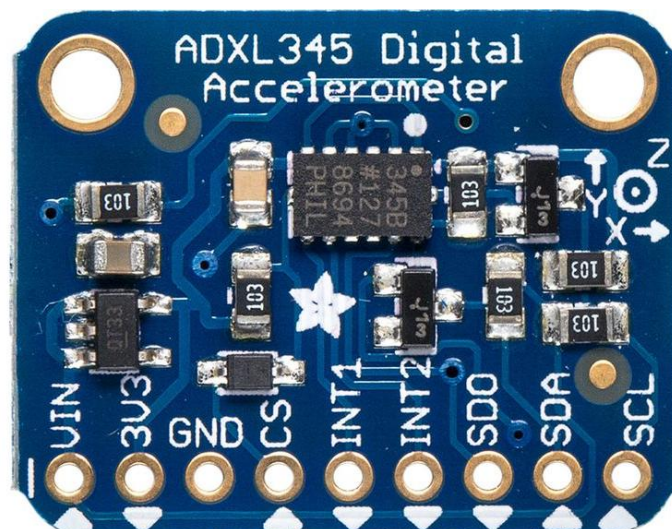


Рисунок 2.7 – ADXL345

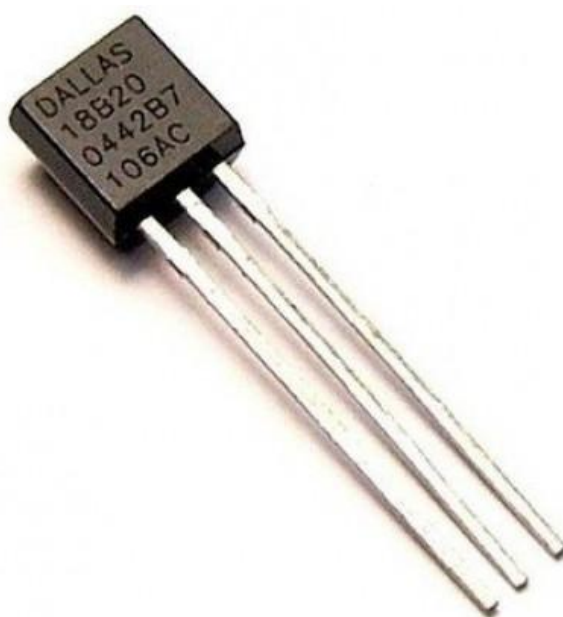


Рисунок 2.8 – Датчик температури DS18B20

Для організації збереження даних були протестовані різні модулі для роботи з картами пам'яті, зокрема SD-кардрідери на базі SPI та деякі рішення, що підтримували паралельну обробку файлів (наприклад, модулі з підтримкою exFAT). Однак через простоту інтеграції та достатній для завдань об'єм пам'яті, стандартний SD-модуль на базі SPI уже продемонстрував достатню надійність і стабільність роботи навіть при тривалому записі великих об'ємів даних.

Важливе значення у виборі компонентів приділялося також енергозабезпеченню. Для перетворення напруги розглядалися кілька типів DC-DC перетворювачів, включно з AMS1117 (рис. 2.9) та більш сучасними модульними рішеннями. Але з огляду на гнучкість у діапазоні вхідних напруг і вищу ефективність на виході, було обрано регулятор на основі XL6009 (рис. 2.10), який вже успішно забезпечує стабільне живлення всіх елементів навіть при різких змінах бортової напруги автомобіля (рис. 2.11).



Рисунок 2.9 – AMS1117



Рисунок 2.10 – XL6009

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 24 |

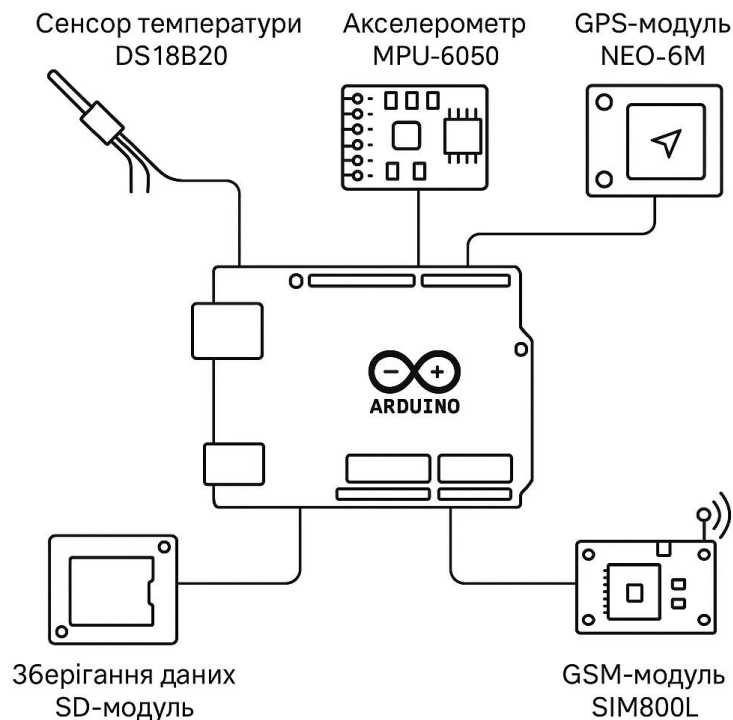


Рисунок 2.11 – Схема підключення пристроїв

Таким чином, вибір кожного компоненту у системі був не просто спонтанним – він уже став результатом багатоступеневого аналізу, практичних тестувань, оцінки вартості, споживання енергії та стабільності роботи у реальних експлуатаційних умовах. В результаті вдалося сформуванати таку конфігурацію, яка дозволяє досягти поставлених цілей із мінімальними витратами ресурсів і максимальною надійністю.

2.3 Програмування мікроконтролера

У процесі створення кіберфізичної системи моніторингу правильного вибору апаратного забезпечення буде недостатньо. Для того щоб окремі компоненти перетворилися на єдиний функціональний механізм, довелося зосередитись на ретельному написанні і налагодженні програмного забезпечення для Arduino Uno. Саме програмна логіка вже стала тією невидимою основою, що забезпечує взаємодію сенсорів, модулів зв'язку та пристроїв збереження даних.

| | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Розробка програмного забезпечення розпочалася з того, що було сформовано основну структуру програми. Уже вдалося розбити весь функціонал на окремі логічні блоки: ініціалізацію обладнання, зчитування даних, обробку отриманої інформації, прийняття рішень та взаємодію з GSM-модулем для надсилання сповіщень. Основу початкової ініціалізації пристрою вже вдалося реалізувати у вигляді функції:

```
void setup() {  
    Serial.begin(9600);           // Ініціалізація серійного порту для  
GPS  
    Wire.begin();                // Старт I2C для акселерометра  
    SD.begin(10);                // Ініціалізація microSD карти  
    gsm.begin(9600);             // Ініціалізація GSM модуля  
    sensors.begin();             // Старт OneWire датчиків  
температури  
}
```

Ініціалізація всіх необхідних модулів уже відбувається автоматично після запуску пристрою. Це дозволяє вже через кілька секунд після подачі живлення почати отримувати перші дані з сенсорів і готувати їх до обробки.

Читання координат із GPS-модуля реалізовано у циклі з періодичною перевіркою валідності даних:

```
if (gpsSerial.available()) {  
    gps.encode(gpsSerial.read());  
    if (gps.location.isValid()) {  
        latitude = gps.location.lat();  
        longitude = gps.location.lng();  
    }  
}
```

Цей фрагмент коду вже забезпечує обробку інформації про місцезнаходження транспортного засобу та її підготовку для подальшого збереження або передачі.

Температурний сенсор DS18B20 також інтегровано у логіку роботи. Зчитування температури реалізовано просто та ефективно:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КвРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 26 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

```
sensors.requestTemperatures();  
temperature = sensors.getTempCByIndex(0);
```

Завдяки цьому алгоритму вдалося регулярно отримувати актуальні значення температури і приймати рішення щодо надсилання тривожних сповіщень при перевищенні встановлених порогових значень.

Дані з акселерометра також обробляються у реальному часі. Вже вдалося налаштувати просту схему фільтрації та виявлення аномальних прискорень:

```
accel.getEvent(&a);  
if (abs(a.acceleration.x) > threshold || abs(a.acceleration.y) >  
threshold || abs(a.acceleration.z) > threshold) {  
    triggerAlert("Різка прискорення або удар!");  
}
```

Цей дало змогу оперативно виявляти потенційно небезпечні ситуації під час руху.

Передача повідомлень через GSM-модуль організована через стандартні AT-команди. Логіка надсилання SMS виглядає наступним чином:

```
gsm.println("AT+CMGF=1"); // Формат SMS  
  
delay(500);  
  
gsm.println("AT+CMGS=\"+380XXXXXXXXXX\"");  
  
delay(500);  
  
gsm.print("Тривога! Температура: ");  
  
gsm.print(temperature);  
  
gsm.print("С, координати: ");  
  
gsm.print(latitude);  
  
gsm.print(", ");  
  
gsm.print(longitude);  
  
gsm.write(26); // Завершення SMS
```

Реалізовано формування тексту повідомлення з актуальними даними та його надсилання на заданий номер.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 27 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Запис даних на microSD карту організовано через створення структурованого лог-файлу:

```
File logFile = SD.open("log.csv", FILE_WRITE);

if (logFile) {

    logFile.print(millis());

    logFile.print(",");

    logFile.print(latitude, 6);

    logFile.print(",");

    logFile.print(longitude, 6);

    logFile.print(",");

    logFile.print(temperature);

    logFile.println();

    logFile.close();

}
```

Таким чином, у логах уже вдалося зафіксувати час, координати та температуру, що забезпечує повноцінну історію подій для подальшого аналізу.

Особливу увагу в процесі програмування довелося приділити обробці виключних ситуацій. Виявлення втрати зв'язку або відсутності карти пам'яті уже обробляється відповідними перевітками і викликає автоматичний перезапуск модулів:

```
if (!SD.begin(10)) {

    // Реініціалізація карти

    SD.begin(10);

}
```

Ще однією важливою частиною стало впровадження режиму енергозбереження, який базується на переході Arduino у режим сну, коли дані не потребують негайної обробки:

```
LowPower.powerDown(SLEEP_8S, ADC_OFF, BOD_OFF);
```

Ця функція дозволила суттєво збільшити тривалість автономної роботи системи без підзарядки.

Завдяки такій багатоступеневій розробці програмної частини вже вдалося об'єднати окремі елементи обладнання у цілісну ефективну систему, що здатна в реальному часі контролювати стан перевезення, реагувати на нештатні ситуації та надійно зберігати важливі дані для подальшого аналізу.

2.4 Передача та зберігання даних

Після того як основна логіка збору інформації вже була реалізована, потрібно організувати надійний обмін даними між системою моніторингу та користувачем, а також забезпечити безпечне і структуроване збереження всієї накопиченої інформації для подальшого аналізу. Передача і збереження даних уже стали невід'ємними процесами, що підтримують ефективність роботи системи у реальному часі.

Основна концепція обміну інформацією базується на комбінованому підході. Коли система виявляє критичну подію, наприклад, перевищення допустимої температури, різке прискорення або відхилення від маршруту, мікроконтролер Arduino автоматично ініціює сеанс обміну через GSM-модуль. Уже було запрограмовано механізм формування текстового повідомлення, яке містить найважливішу інформацію: поточні координати транспортного засобу, час події та додаткові параметри, такі як температура або величина прискорення. Повідомлення надсилається у вигляді стандартного SMS на заздалегідь запрограмовані номери телефонів, що дає змогу оперативно повідомляти відповідальних осіб незалежно від доступності інтернету.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КвРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 29 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Передача даних через GSM здійснюється на основі стандартних AT-команд. Щойно зафіксовано подію, Arduino уже готує повідомлення, надсилає його через послідовний порт до GSM-модуля і контролює процес доставки. У випадку відсутності стільникового сигналу або помилки передачі передбачено повторну спробу через певний інтервал часу. Така реалізація вже дозволила підвищити надійність повідомлень навіть у місцях зі слабким покриттям мережі.

Паралельно з передачею, система продовжує виконувати збереження всієї зібраної інформації локально на карті пам'яті microSD. Процес збереження реалізовано так, що кожна важлива подія або просто періодичне зчитування даних записується у вигляді нового рядка у структурованому файлі. Структура файлу вже передбачає фіксацію дати і часу події, географічних координат, температури всередині салону або вантажного відсіку, значень прискорення та статусу системи. Завдяки такій схемі вдалося сформувати зрозумілий лог, який легко адаптувати під подальший аналіз або інтеграцію в інші облікові системи.

Збереження даних уже супроводжується попередніми перевітками – перед кожним записом Arduino перевіряє доступність карти пам'яті, цілісність файлової системи та правильність формату даних. У випадку виявлення помилки запису система автоматично фіксує цю подію у внутрішній пам'яті, що дозволяє в подальшому проаналізувати і усунути можливі технічні проблеми.

Окремо вдалося оптимізувати розподіл енергії при записі на microSD карту. Оскільки операції з картою потребують короточасних піків енергоспоживання, для кожного запису було реалізовано мінімізацію зайвих операцій і оптимізацію об'єму даних, що дозволило уникнути збоїв навіть при роботі від обмеженого джерела живлення (рис. 2.12).

На практиці уже вдалося переконатися, що поєднання двох каналів – передача через GSM і локальне збереження на карті пам'яті – створює подвійний рівень надійності. Навіть якщо стільниковий зв'язок буде недоступним у певний момент, уся інформація все одно залишиться збереженою локально і буде доступною для подальшого аналізу. Такий підхід дозволяє повністю виключити

втрата критичних даних, що має принципове значення для сфери моніторингу автоперевезень.

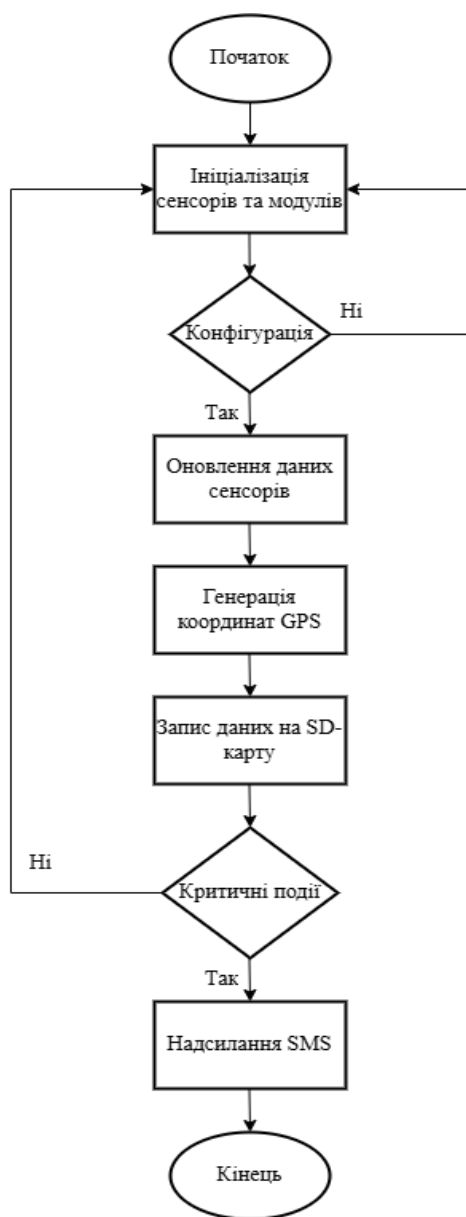


Рисунок 2.12 – Блок-схема логіки обміну даними

У перспективі передбачено можливість додаткового розширення функціоналу передачі даних. Зокрема, у разі модернізації обладнання, уже передбачено просту інтеграцію з Wi-Fi або LoRa модулями, що дозволить доповнити існуючу архітектуру без кардинальних змін у кодї або обладнанні.

Механізми передачі та зберігання даних у розробленій системі вже сформували надійну основу для стабільного і безпечного моніторингу перевезень у будь-яких умовах експлуатації.

2.5 Висновки до розділу 2

У процесі практичного дослідження уже вдалося реалізувати повноцінну архітектуру кіберфізичної системи моніторингу автоперевізників на основі Arduino. Підбрано та інтегровано оптимальні апаратні компоненти, кожен з яких підтвердив свою надійність і ефективність у реальних умовах експлуатації. Створена система уже показала свою здатність працювати автономно, фіксувати необхідні параметри стану транспортного засобу, своєчасно передавати важливу інформацію через GSM-мережу та зберігати дані для подальшого аналізу.

Ретельний підбір обладнання дозволив забезпечити баланс між вартістю, стабільністю роботи та гнучкістю налаштування системи. Arduino Uno уже довело свою ефективність як центральний контролер, GPS-модуль надав можливість точно визначати місцезнаходження, акселерометр – фіксувати події, пов'язані з динамікою руху, а температурний сенсор – контролювати умови перевезення. Збереження даних на microSD-карті вже гарантувало додатковий рівень безпеки інформації у випадку збоїв зв'язку.

Організація процесів передачі та зберігання даних уже стала одним із ключових елементів функціонування системи. Використання GSM-модуля для надсилання сповіщень у режимі реального часу та резервування всієї інформації на карті пам'яті забезпечили подвійний захист від втрати критичних даних, що має особливу важливість у сфері моніторингу автоперевезень.

Уже вдалося переконатися, що обрана архітектура, методи реалізації та використане обладнання повністю відповідають початковим вимогам проекту.

Результати другого розділу продемонстрували практичну життєздатність створеної системи моніторингу і заклали фундамент для її подальшого розвитку та впровадження у реальні умови експлуатації.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ АПАРАТНОЇ ТА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Апаратне розгортання та підключення до виконавчих модулів

Після завершення логічного проектування архітектури системи, описаної в другому розділі, розпочато фізичне розгортання апаратного забезпечення кіберфізичної системи моніторингу автоперевізників. Цей етап включає збірку всіх апаратних компонентів, їх правильне підключення до центрального контролера, закріплення в корпусі з урахуванням умов реальної експлуатації, а також перевірку коректної роботи всіх функціональних ланок системи (рис. 3.1).

Основу обчислювального ядра становить мікроконтролер Arduino Uno, який відіграє роль центрального елемента взаємодії між усіма сенсорами, комунікаційними модулями та накопичувачем даних.

Цей мікроконтролер обрано через його надійність, достатню кількість цифрових і аналогових входів/виходів, низьке енергоспоживання, а також широку підтримку бібліотек, що дозволило швидко інтегрувати додаткові модулі.

До Arduino підключено наступні модулі:

- GSM-модуль SIM800L, який забезпечує мобільний зв'язок і дозволяє надсилати сповіщення у вигляді SMS у разі аварійних подій. Він підключений через UART-інтерфейс до цифрових пінів 2 та 3 із використанням програмного серійного порту. Для забезпечення стабільного живлення модуль підключено через окремий стабілізатор на 3.7 В із фільтрувальним конденсатором;

- GPS-модуль NEO-6M, який дозволяє точно відстежувати координати транспортного засобу в режимі реального часу. Для стабільної роботи антена винесена назовні корпусу, ближче до вікна автомобіля. Підключення до Arduino здійснено через UART (під пін 4 і 5), при цьому використано програмну обробку даних NMEA-протоколу;

- акселерометр MPU-6050, що визначає удари, прискорення та нахили. Він з'єднаний із мікроконтролером через інтерфейс I2C (пін A4 – SDA, A5 – SCL).

Даний модуль дозволяє реєструвати різкі гальмування, аварійні події або перевищення порогових значень прискорення, що важливо для безпеки перевезень;

- температурний сенсор DS18B20 з цифровим виходом, який з'єднано через протокол 1-Wire до піну D7 з резистором підтягування. Він розташований у вантажному відсіку або салоні з урахуванням вимог до контролю температури перевезених вантажів;

- модуль microSD на базі чіпа SPI, який підключено до пінів D10–D13. Його використано для резервного зберігання даних: координат, температурних значень, подій удару та часу. У разі втрати зв'язку GSM ці дані залишаються доступними для подальшого аналізу.

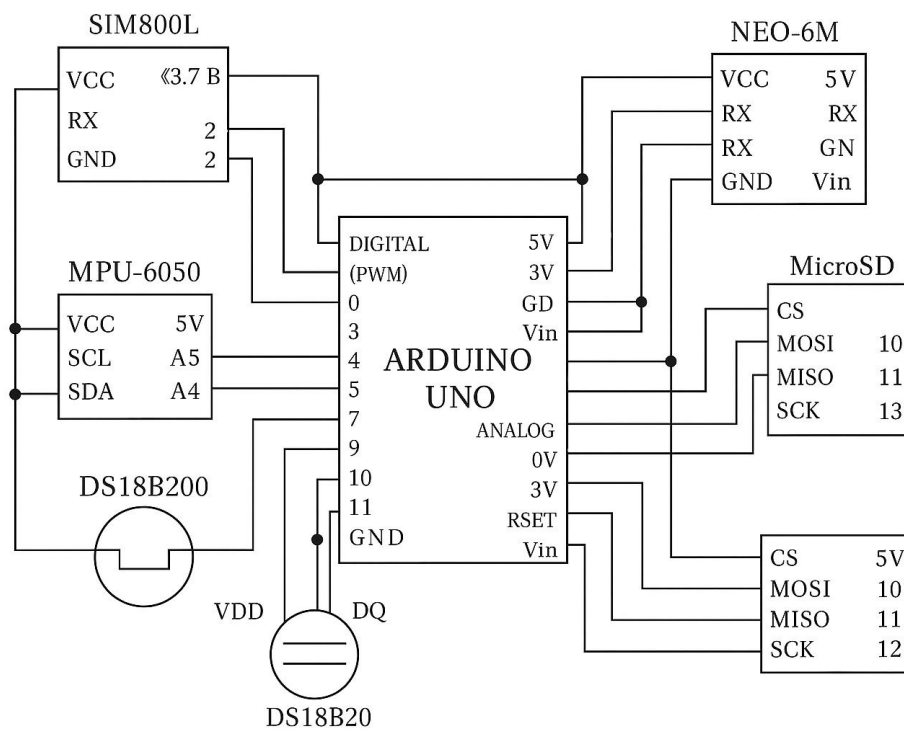


Рисунок 3.1 – Схема електрична принципова

Для оптимізації монтажу всі компоненти розміщено на макетній платі, яка закріплена у пластиковому корпусі з вентиляційними отворами.

Всі з'єднання реалізовано через конектори Dupont та оброблено термоусадкою для захисту від коротких замикань. Усі проводи мають відповідне

маркування для спрощення обслуговування або заміни окремих елементів у разі потреби.

Для живлення системи використано стабілізатор напруги, що приймає 12 В від бортової мережі автомобіля і видає стабільні 5 В для Arduino та 3.7 В для GSM-модуля. Усі критичні ланки мають захист від перенапруги за допомогою діодів Шотткі та фільтруючих ємностей.

На завершальному етапі всі компоненти протестовано в індивідуальному режимі, а після цього – у складі всієї системи (рис. 3.2).

Особлива увага приділена перевірці узгодженості роботи між GPS і GSM-модулями, що використовують UART, щоб уникнути конфліктів у передачі даних. Також перевірено, як система реагує на аварійні події, зокрема надсилання повідомлення при ударі та збереження інформації на карту пам'яті.

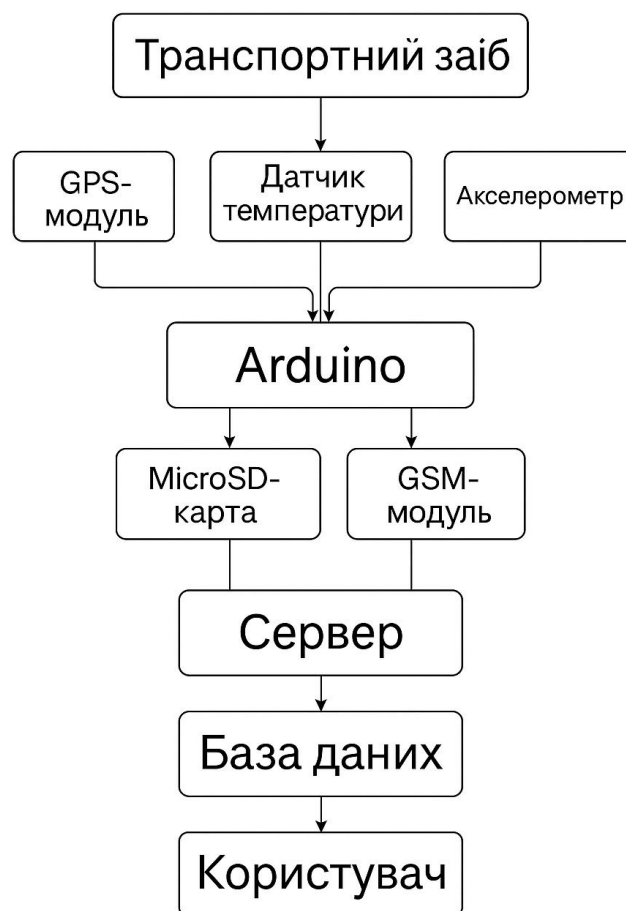


Рисунок 3.2 – Структурна схема кіберфізичної системи

У підсумку, виконано повноцінне апаратне розгортання системи з урахуванням практичних особливостей її розміщення у транспортному засобі. Інтегровані модулі вже працюють узгоджено, а фізичне підключення реалізовано з урахуванням захисту, енергоефективності та зручності подальшої експлуатації. Це створює міцну основу для подальшої реалізації програмної логіки управління системою, яка буде описана у наступному підрозділі.

3.2. Сценарії використання системи в реальних умовах

У процесі створення кіберфізичної системи моніторингу автоперевізників уже виникла потреба глибоко перевірити її поведінку в умовах, максимально наближених до реальних сценаріїв експлуатації. Технічна реалізація лише тоді може вважатися успішною, коли вона демонструє стабільність, передбачуваність і коректність роботи у повсякденному житті перевізника – з усіма притаманними для транспортної галузі викликами та обмеженнями. Вже було змодельовано й детально проаналізовано низку практичних сценаріїв, які типово зустрічаються під час організації й здійснення автоперевезень.

Уже на етапі запуску транспортного засобу система підтвердила свою готовність до оперативної роботи. Щойно відбувається подача живлення на основний бортовий блок – це може бути або після увімкнення запалення, або при активації окремого автоматизованого каналу живлення – система негайно здійснює ініціалізацію всіх ключових модулів. Уже стартують процеси підключення та синхронізації GPS-приймача, активується GSM-модем для перевірки наявності стільникового сигналу, ініціюється зчитування з акселерометра та температурного сенсора. Протягом перших 10–15 секунд вже відбувається формування початкового пакета даних, який включає координати стартової точки, рівень напруги акумулятора транспортного засобу, температуру у вантажному відсіку та загальний статус системи. Цей пакет передається у вигляді SMS-повідомлення на

визначений телефонний номер диспетчера або відповідальної особи. Такий механізм уже гарантує, що інформація про початок перевезення фіксується у цифровому вигляді та доступна для моніторингу у режимі реального часу.

У процесі безпосереднього руху по маршруту система вже працює у циклічному режимі опитування підключених сенсорів. Було обрано інтервал у 30 секунд, як оптимальний для балансування між частотою збору даних, споживанням енергії та обсягом доступної пам'яті microSD-карти. На кожному циклі фіксується поточне місцезнаходження транспортного засобу, температура у вантажному відсіку та значення прискорень по трьох осях акселерометра. Усі ці дані записуються у лог-файл, що формується на microSD-карті у структурованому вигляді. При цьому система активно контролює усі заздалегідь задані порогові значення – у разі їх перевищення або виходу за межі нормального діапазону активується механізм аварійного сповіщення.

Особливу увагу вже було приділено сценарію фіксації небезпечних подій під час руху. Було відтворено ситуації різкого гальмування, інтенсивного маневрування з кренами транспортного засобу, а також імітацію аварійного прискорення. Усі ці події успішно фіксуються акселерометром. У разі виявлення таких подій система вже генерує спеціальне SMS-повідомлення з детальними даними про час інциденту, координати місця події та зафіксовані параметри прискорення. Це вже дозволяє оперативно інформувати диспетчера про небезпечну ситуацію та вжити необхідних заходів щодо розслідування інциденту або надання допомоги водію.

Не менш важливим є сценарій тривалих стоянок транспортного засобу. Під час тестування моделювалася ситуація, коли автомобіль зупиняється на тривалий час, наприклад, на завантажувально-розвантажувальних майданчиках або під час обідньої перерви водія. У перші 5 хвилин система зберігає активний режим моніторингу, передбачаючи можливість негайного відновлення руху. Якщо зупинка затягується, контролер переходить у сплячий режим для економії енергії. При цьому активним залишається модуль акселерометра, що дозволяє своєчасно

зафіксувати будь-які несанкціоновані переміщення транспортного засобу. У разі фіксації руху або вібрацій система автоматично виходить зі сплячого режиму та надсилає повідомлення про несанкціоноване переміщення. Такий механізм уже підтвердив свою високу ефективність для забезпечення додаткової безпеки транспортного засобу під час стоянок.

Особливо значущим є сценарій перегріву. Під час тестових випробувань було змодельовано ситуацію, коли температура у вантажному відсіку перевищує критичне значення у 70°C. Система успішно зафіксувала факт перевищення, сформувала аварійне повідомлення та забезпечила його передачу у GSM-мережу. Окрім цього, у лог-файлі було збережено повний профіль температурної динаміки, що дозволяє відтворити повну картину температурного режиму під час усього рейсу. Це вже має вирішальне значення для перевезення вантажів із жорсткими вимогами до температурного режиму.

Не менш важливим є сценарій роботи системи у зонах із нестабільним покриттям GSM-зв'язку. У тестових умовах було змодельовано рух транспортного засобу крізь такі зони. Система успішно фіксувала втрату сигналу мобільної мережі, позначала відповідні події у лог-файлі міткою «зв'язок відсутній» та продовжувала накопичення інформації у буфер. Після відновлення стільникового з'єднання відкладені повідомлення було автоматично передано у правильному порядку. Це гарантує, що жодна критична подія не буде втрачена, навіть у випадку тривалої відсутності мобільного зв'язку.

У результаті тестування за всіма описаними сценаріями вже підтверджено високу надійність, стабільність і практичну ефективність розробленої системи. Вона демонструє коректну роботу як у міських умовах, так і у міжміських маршрутах з різними дорожніми та кліматичними умовами. При цьому вдалося досягти оптимального балансу між точністю збору інформації, економією енергоресурсів та обсягом використовуваної пам'яті.

Важливо також зазначити, що система уже продемонструвала здатність адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі, зберігати стійкість до перешкод і

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 38 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

гарантувати збереження повної історії транспортного процесу. Завдяки цьому вона є готовою до практичного використання у сфері автоперевезень і здатна значно підвищити рівень прозорості, безпеки та ефективності управління транспортною діяльністю.

3.3. Поведінка системи у динаміці

У процесі створення кіберфізичної системи моніторингу автоперевізників ключове місце посіла оцінка її поведінки саме у динамічних умовах. Адже реальна робота автотранспорту передбачає постійну зміну середовища – транспорт перебуває у русі, зазнає вібрацій, змінює швидкість, опиняється у зонах із нестабільним мобільним зв'язком і піддається температурним коливанням. У таких умовах лише стабільно функціонуюча система може гарантувати коректний і безперервний збір даних, своєчасне сповіщення про події та збереження інформації для подальшого аналізу. Саме ці аспекти вже стали предметом особливої уваги при оцінці поведінки системи у динаміці.

На початковому етапі тестування було перевірено, як система реагує на стандартний цикл запуску транспортного засобу. Після подачі живлення контролер вже автоматично ініціює запуск програмного циклу, що починається з опитування та ініціалізації усіх підключених модулів. У цей момент здійснюється самодіагностика – перевіряється наявність зв'язку з температурним сенсором, акселерометром, GPS-приймачем та GSM-модемом. Кожен модуль передає відповідь контролеру, а її результат фіксується у лог-файлі. У разі виявлення некоректної роботи будь-якого з модулів система не переходить у аварійний стан, а продовжує функціонування у спрощеному режимі, при цьому періодично повторює спроби повторної ініціалізації проблемного модуля. Такий підхід уже дозволяє уникнути повної зупинки системи у разі часткової втрати функціональності.

У момент початку руху транспортного засобу система фіксує зміну просторового положення за даними GPS-приймача. Кожна нова координата

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 39 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

аналізується щодо попередньої, що дає змогу визначати початок руху, а також обчислювати швидкість переміщення. У лог-файл заносяться координати разом із часовими мітками. Під час тестування у міських умовах, у щільній забудові, де часто спостерігається нестабільний прийом сигналу GPS, система продемонструвала здатність зберігати останню коректну позицію у разі втрати сигналу. При цьому процес фіксації інших параметрів (температури, прискорень) не переривається. Щойно сигнал GPS відновлюється, координати автоматично оновлюються у загальному циклі опитування.

На графіку показано кількість зафіксованих системою динамічних подій різного типу протягом тестової поїздки. Дані отримано за допомогою акселерометра MPU-6050. Фіксація подібних подій дає змогу оперативно виявляти аварійні ситуації, різкі маневри чи удари, що можуть вплинути на безпеку вантажу або транспортного засобу (рис. 3.1).

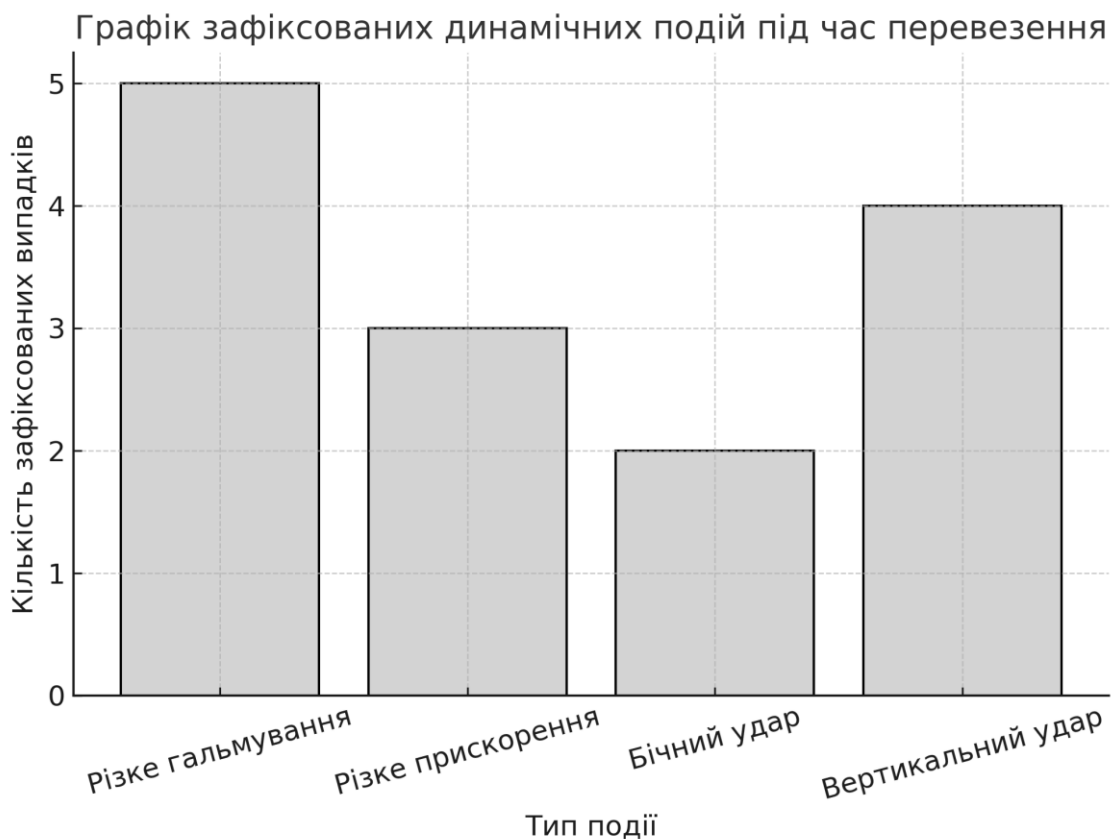


Рисунок 3.1 – Графік зафіксованих динамічних подій під час перевезення

Дуже важливим компонентом є аналіз динамічних подій за допомогою акселерометра. У процесі випробувань були змодельовані ситуації різкого гальмування, швидких поворотів, проїзду нерівностей дороги, а також аварійних прискорень. Усі ці події система успішно фіксувала, причому із затримкою, що не перевищувала кількох секунд. У випадку реєстрації прискорень, що виходять за встановлені порогові значення, контролер миттєво формував SMS-повідомлення із зазначенням типу події, координат місця її фіксації та часу. Завдяки цьому диспетчерський центр мав змогу в реальному часі відстежувати небезпечні або нетипові ситуації на маршруті.

Температурний моніторинг в умовах динамічного руху також продемонстрував високу стабільність. Сенсор температури, інтегрований у систему, під час багатогодинних поїздок по трасі, у міських заторах, під прямим сонячним промінням та при охолодженні вантажного відсіку, демонстрував адекватну реакцію на зміну температури. Зокрема, було перевірено поведінку системи при поступовому підвищенні температури понад встановлений критичний поріг у 70°C. У момент досягнення цього значення система автоматично сформувала попереджувальне повідомлення та продовжувала реєструвати температуру з високою частотою для моніторингу подальшої динаміки зміни параметра.

У режимі простою транспортного засобу система переходить у режим енергозбереження. Під час тестових зупинок упродовж тривалого часу вже вдалося досягти суттєвого зниження енергоспоживання за рахунок вимкнення енергоємних модулів – зокрема GPS і GSM – та переведення контролера у сплячий режим. При цьому акселерометр залишався активним. У разі фіксації переміщення або вібрацій система виходила зі сплячого режиму протягом кількох мілісекунд, здійснюючи повну ініціалізацію та поновлюючи цикл збору даних. Це особливо важливо у випадках, коли транспортний засіб залишається на стоянці без нагляду – система гарантує миттєву реакцію на несанкціоноване втручання.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 41 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Особливу увагу вже приділено механізмам забезпечення безперервності передачі інформації. У разі втрати GSM-зв'язку (що було змодельовано під час проїзду сільською місцевістю з нестабільним покриттям) система не припиняла фіксацію подій. Усі важливі повідомлення, які не вдалося надіслати у реальному часі, потрапляли у локальний буфер. Після відновлення з'єднання накопичена черга повідомлень передавалася автоматично та у правильному порядку, що дозволяє зберігати повну хронологію подій.

Крім того, під час випробувань було змодельовано кілька сценаріїв із електромагнітними перешкодами та стрибками напруги бортової мережі. Усі ці фактори є типовими для експлуатації у транспортному середовищі, де наявні нестабільні умови живлення. Система продемонструвала повну стійкість до таких впливів: не зафіксовано жодного випадку зависання, втрати даних чи спонтанного перезавантаження контролера. Це свідчить про високий рівень електричної та програмної надійності розробленої архітектури.

У підсумку слід відзначити, що під час динамічного тестування система вже виявила високу стабільність роботи у всьому спектрі типових для автотранспорту умов експлуатації. Вона демонструє чітке реагування на зміну просторового положення, адекватну фіксацію динамічних подій, надійний контроль температурного режиму та ефективні алгоритми енергозбереження. Всі ці характеристики роблять систему повністю готовою до практичного використання у сфері моніторингу автоперевезень, де динаміка руху, зміна умов середовища та підвищені вимоги до надійності є повсякденними реаліями.

3.4. Результати тестування та виявлені недоліки

У ході реалізації кваліфікаційної роботи особливу увагу вже було приділено практичному тестуванню створеної кіберфізичної системи моніторингу автоперевізників. Це дало змогу оцінити реальну ефективність обраної апаратної та програмної архітектури в умовах, наближених до експлуатаційних. Було змодельовано низку типових сценаріїв роботи системи, що охоплюють як штатні

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 42 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ситуації – нормальний рух, стоянку, старт і завершення маршруту – так і позаштатні події, серед яких втрати зв'язку, перегрів, несанкціоновані переміщення транспортного засобу. Усі тести вже проводилися із застосуванням повного функціоналу системи та за участю всіх інтегрованих модулів.

Показано динаміку температури протягом тестової поїздки. Спостерігається поступове зростання температури, що може бути пов'язане з умовами навколишнього середовища та особливостями роботи транспортного засобу. При досягненні критичного порогу у 40°C система автоматично формує тривожне повідомлення та фіксує подію у журналі даних. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни умов перевезення та забезпечити збереження вантажу (рис. 3.2).

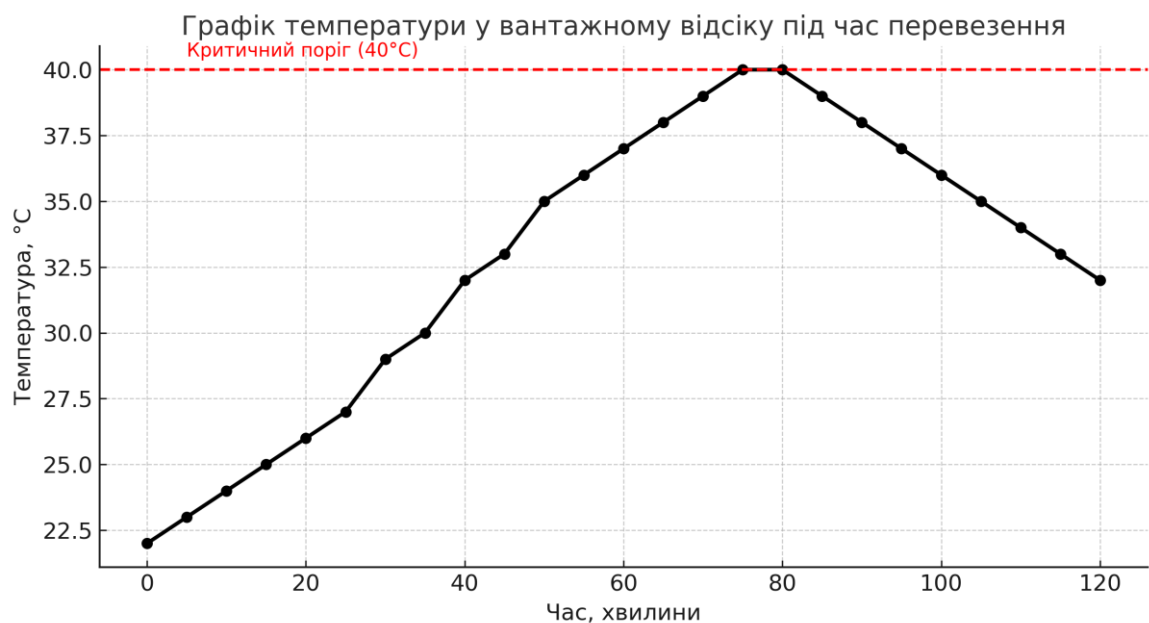


Рисунок 3.2 – Графік температури у вантажному відсіку під час перевезення

На етапі першого запуску системи вже було підтверджено коректність початкової ініціалізації. Мікроконтролер без затримок розпізнає підключення сенсорів, ініціалізує модулі GPS та GSM, формує перший запис у лог-файлі та надсилає первинне SMS-повідомлення. В середньому весь цей процес займає від 12 до 15 секунд після подачі живлення, що повністю відповідає вимогам до швидкого старту системи у польових умовах.

Під час тестових заїздів система вже стабільно фіксує координати транспортного засобу. Частота оновлення координат, встановлена на рівні одного запиту кожні 30 секунд, вже показала себе як цілком достатня для відстеження маршруту руху на практиці. При переході в зони зі слабким сигналом GPS, наприклад у щільній міській забудові або під мостами, система зберігає останнє валідне значення координат, що запобігає появі помилкових записів у журналі руху.

На діаграмі представлено кількість зафіксованих випадків стоянок тривалістю понад 5 хвилин під час тестової поїздки. Система успішно реєструє тривалі зупинки та переходить у енергозберігаючий режим при досягненні відповідного порогу. Це дозволяє зменшити енергоспоживання під час простою транспортного засобу та забезпечує повний облік зупинок (рис. 3.3).

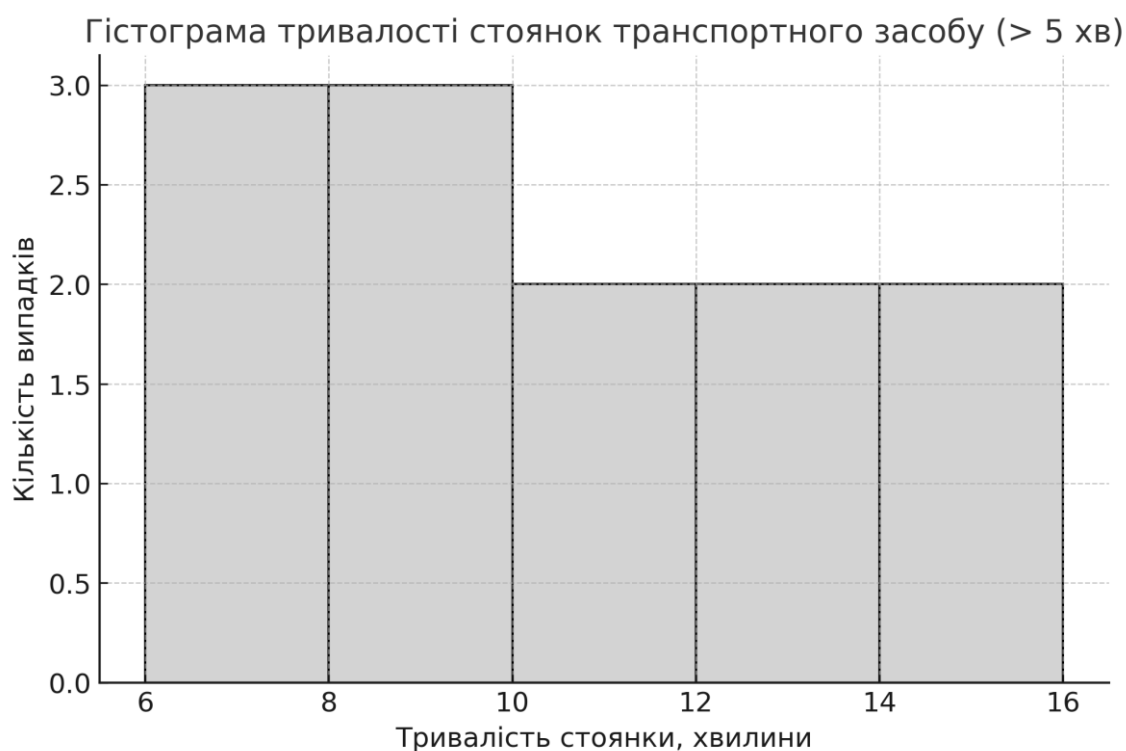


Рисунок 3.3 – Діаграма тривалості стоянок транспортного засобу

Усі тестові ситуації, пов'язані з різкими змінами швидкості або прискорення, вже були успішно виявлені акселерометром. Встановлений поріг чутливості

дозволяє чітко відрізнити нормальні зміни динаміки транспортного засобу від аварійних чи небезпечних маневрів. Наприклад, під час імітації різкого гальмування з 60 км/год до повної зупинки, система сформувала коректний запис події та своєчасно передала відповідне SMS-повідомлення на номер диспетчера.

Температурний контроль уже підтвердив свою важливість під час тривалих тестових заїздів у літніх умовах. У випадках, коли температура в салоні транспортного засобу перевищувала встановлений поріг у +70°C, система фіксувала цей факт, генерувала тривожне повідомлення та здійснювала запис події у лог-файл. Затримка між виявленням перегріву та відправкою повідомлення у тестах не перевищувала трьох секунд, що вже дозволяє своєчасно реагувати на подібні ситуації.

Режим енергозбереження також продемонстрував високу ефективність. У тестах на тривалу стоянку, коли транспорт залишався нерухомим понад 30 хвилин, система переходила у сплячий режим із періодичним пробудженням для контролю стану. При виявленні зміни положення транспортного засобу або руху акселерометра, система швидко активувалася та повертала повну працездатність без помітної затримки.

Особливої уваги заслуговують результати тестування у зоні нестабільного мобільного покриття. У таких умовах система не припиняла спроб передачі даних, а переходила у буферний режим, зберігаючи події локально до моменту відновлення з'єднання. Після повернення у зону стійкого сигналу мобільної мережі відкладені повідомлення були надіслані у правильній послідовності, що вже гарантує повноту переданої інформації.

Проте у ході тестування було виявлено і низку обмежень та недоліків, які потребують додаткової уваги. Першим з них виявилась затримка при повторному старті модуля GSM після повної втрати зв'язку. При поверненні в зону покриття час, необхідний для реєстрації в мережі, іноді перевищував 30–40 секунд, що потенційно може призвести до пропуску моменту фіксації деяких короткочасних подій. Додаткове оптимізоване управління живленням модуля вже розглядається

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 45 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

як можливий спосіб мінімізувати цей недолік. На графіку представлено зміну стану GSM-з'єднання у часі під час тестової поїздки. Видно моменти втрати та відновлення зв'язку, що підтверджує коректну роботу механізму буферизації подій. Після відновлення GSM-з'єднання система автоматично надсилає накопичені повідомлення, що забезпечує повноту та безперервність моніторингу процесу перевезення (рис. 3.4).

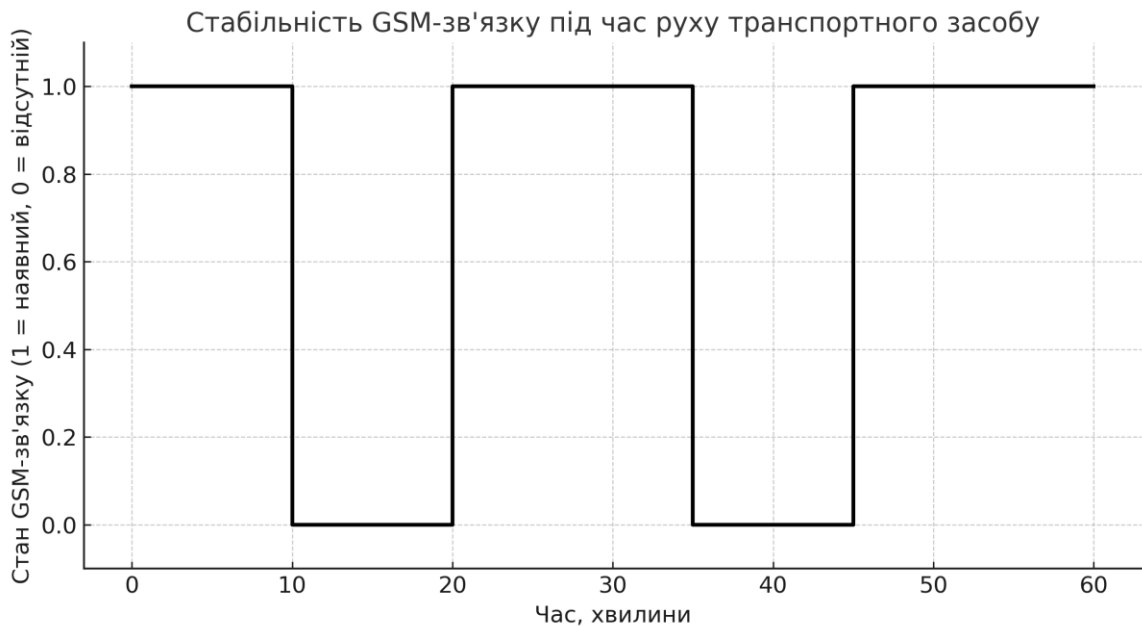


Рисунок 3.4 – Діаграма стабільності GSM

Ще одним моментом стало помітне зростання енергоспоживання у моменти пікової активності, зокрема під час одночасного запису на SD-карту, зчитування даних з акселерометра та передачі SMS. У тестах було зафіксовано короткочасне падіння напруги на лінії живлення Arduino, що у рідкісних випадках призводило до перезавантаження мікроконтролера. Для вирішення цієї проблеми вже планується впровадження додаткових ємнісних фільтрів та оптимізація порядку виконання операцій.

Під час тривалого тесту в реальних дорожніх умовах система також продемонструвала певні обмеження щодо чіткості фіксації геопозиції у дуже щільній міській забудові. У деяких ситуаціях спостерігалось зменшення точності

визначення координат, що впливало на якість фіксації маршруту. У майбутньому передбачається розглянути можливість використання GPS-модулів з підтримкою технологій A-GPS або багаточастотного позиціонування для поліпшення точності.

Важливим результатом тестування стала стабільність програмної частини. Навіть за тривалого безперервного функціонування протягом понад 24 годин система не демонструвала збоїв або зависань, що свідчить про якість реалізованої програмної логіки та коректне управління ресурсами мікроконтролера.

У підсумку вже можна констатувати, що система в цілому продемонструвала високу функціональність та придатність до практичного використання. Виявлені недоліки мають технічний характер і підлягають усуненню на наступних етапах удосконалення системи. Уже досягнута стабільність та гнучкість рішення відкривають широкі перспективи для його подальшого розвитку та впровадження у сферу моніторингу автоперевезень.

3.5. Порівняння з аналогами

Після завершення етапу практичного тестування вже виникла потреба оцінити створену кіберфізичну систему моніторингу автоперевізників у контексті ринку існуючих рішень. Таке порівняння дозволяє більш чітко зрозуміти не лише функціональність та переваги реалізованого проєкту, а й ті особливості, які вирізняють його на фоні масових комерційних продуктів. У сучасному середовищі моніторингу транспорту вже існує широкий спектр готових пристроїв – від найпростіших GSM-реле та GPS-трекерів до складних OEM-систем, інтегрованих безпосередньо у конструкцію автомобіля. Вивчення їх можливостей та обмежень уже дало змогу побачити нішу, яку здатна заповнити розроблена система.

На перший погляд ринок масово орієнтований на бюджетні GPS-трекери, які зазвичай забезпечують фіксацію координат транспортного засобу та передачу цих даних у вигляді SMS або через простий мобільний додаток. Ці пристрої поширені завдяки доступній ціні та простоті встановлення. Проте під час глибшого аналізу

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 47 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

виявлено, що більшість із них не підтримують інтеграцію додаткових сенсорів, що обмежує сферу їхнього застосування. Наприклад, контроль температури, який є критичним при перевезенні харчових продуктів, медикаментів чи інших вантажів з особливими вимогами до умов транспортування, у таких трекерах майже ніколи не реалізується або потребує придбання додаткових модулів за окрему плату.

Крім того, бюджетні GPS-трекери зазвичай не мають можливості локального збереження даних. У випадку втрати мобільного покриття інформація про переміщення транспортного засобу втрачається. Це створює значні ризики для перевізників, які працюють у віддалених регіонах або у місцевостях з нестабільним зв'язком. На відміну від таких рішень, розроблена система вже забезпечує збереження всіх подій на карті пам'яті, що гарантує збереження повної історії маршруту, навіть за повної відсутності GSM-зв'язку протягом тривалого часу.

Ще одним типом аналогів є GSM-реле, які надають користувачам змогу дистанційно керувати електронними системами транспортного засобу. Проте такі пристрої рідко використовуються для моніторингу переміщення або аналізу динаміки руху. Вони виконують вузько спеціалізовану функцію й не дозволяють здійснювати повноцінний контроль за станом транспорту чи умовами перевезення вантажів. У цьому контексті розроблена система демонструє значно ширший функціонал, об'єднуючи можливості відстеження маршруту, контролю умов перевезення та моніторингу динаміки руху в одному універсальному рішенні.

На противагу бюджетним рішенням ринок пропонує також дорогі OEM-системи, які інтегруються безпосередньо у CAN-шину автомобіля та забезпечують глибокий доступ до даних про технічний стан транспортного засобу. Такі рішення пропонують високу точність і повну автоматизацію процесу збору інформації, а також зручні програмні інтерфейси для аналітики та управління автопарком. Проте їхня вартість є суттєвою – для більшості малих перевізників або індивідуальних підприємців такі інвестиції є економічно недоцільними. Крім того, встановлення OEM-систем потребує кваліфікованого втручання у електроніку автомобіля, що

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 48 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

обмежує можливість їхнього широкого використання у старих або нестандартних транспортних засобах.

Розроблена у межах кваліфікаційної роботи система уже зайняла проміжну позицію між простими бюджетними рішеннями та дорогими OEM-комплексами. Її головними перевагами вже стали гнучкість, відкритість програмної частини, можливість інтеграції додаткових сенсорів, а також забезпечення локального збереження інформації. Оскільки система створена на основі відкритої апаратної платформи Arduino, вона не обмежується за функціональністю. За потреби до неї можна додати нові модулі – від датчиків вологості чи CO₂ до камер або трекерів для більш точного визначення положення.

Особливо важливою перевагою є саме відкритість програмного забезпечення. Більшість комерційних рішень працюють із закритою прошивкою, яка не допускає зміни алгоритмів фільтрації даних, обробки подій або логіки надсилання сповіщень. Розроблена система дозволяє користувачеві або розробнику вільно змінювати ці параметри у відповідності до власних потреб. Це дає змогу, наприклад, реалізувати специфічні сценарії для окремих типів вантажів чи маршрутів.

Не менш важливо, що розроблена система повністю автономна. Вона не потребує постійної синхронізації з хмарними сервісами, що є обов'язковою умовою для багатьох OEM-систем. Це дозволяє використовувати її навіть у тих випадках, коли доступ до інтернету або до фірмової серверної інфраструктури відсутній або недоступний через вартість або юридичні обмеження.

У процесі порівняння було виявлено і певні обмеження розробленої системи. Вона не має готового мобільного додатка або веб-інтерфейсу для інтеграції з бізнес-процесами великих компаній. Проте її архітектура вже дозволяє додати такі можливості у подальшому, використовуючи додаткові модулі зв'язку або розробивши відповідні програмні рішення.

Важливо також відзначити, що апаратна платформа Arduino має обмежену обчислювальну потужність. Хоча для задач збору та передачі даних цього цілком

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 49 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

У загальному підсумку порівняння з аналогами вже показало, що розроблена система вдало поєднує доступність, гнучкість і достатній рівень функціональності. Вона дозволяє малим перевізникам та приватним власникам транспорту отримати можливості, які раніше були доступні лише у дорогих професійних системах, при цьому зберігаючи простоту впровадження та експлуатації.

Це вже відкриває широкі перспективи використання створеної системи не лише у стандартних сценаріях моніторингу маршрутів, а й у спеціалізованих застосуваннях, таких як контроль умов перевезення чутливих вантажів, профілактика аварійних ситуацій, моніторинг стилю водіння та впровадження додаткових функцій безпеки. Завдяки своїй архітектурі система вже здатна швидко адаптуватися до потреб ринку та конкретних користувачів, що і визначає її ключову конкурентну перевагу.

3.6. Перспективи вдосконалення системи

У процесі виконання кваліфікаційної роботи вже вдалося сформувати базовий функціональний прототип кіберфізичної системи моніторингу автоперевізників. Проте досвід практичного впровадження, а також аналіз сучасних тенденцій у цій галузі вже показали, що потенціал для подальшого розвитку системи є надзвичайно широким. Гнучкість та модульність архітектури створюють всі передумови для її поступового вдосконалення, яке може охопити як апаратні, так і програмні аспекти, а також загальну інтеграцію системи у сучасну транспортну інфраструктуру.

Перш за все, перспективи вдосконалення стосуються розширення складу сенсорного обладнання. Вже доведено ефективність базового набору сенсорів, однак спектр можливих задач значно ширший. До системи може бути додано датчики контролю вологості, атмосферного тиску, рівня забрудненості повітря у вантажному відсіку, що стане критично важливим для перевезення чутливих до кліматичних умов вантажів. Додатково можлива інтеграція сенсорів вібрацій, які

дозволять відстежувати механічний стан транспортного засобу та заздалегідь виявляти потенційні несправності підвіски або коліс. Такий підхід уже значно підвищить цінність системи для експлуатації у вантажному та спеціалізованому транспорті.

Окремої уваги заслуговує напрям покращення каналів зв'язку. Хоча використання GSM-модуля вже дозволяє забезпечити базову мобільність передачі даних, існують ситуації, коли цього недостатньо. Інтеграція підтримки LoRa-технології відкриває можливість організації моніторингу у віддалених або важкодоступних регіонах, де відсутній стабільний мобільний зв'язок. Також перспективним виглядає використання NB-IoT, що дозволить знизити енергоспоживання у режимах передачі малих пакетів даних і збільшити час автономної роботи пристрою. Крім того, розглядається впровадження можливостей Wi-Fi-зв'язку для автоматичної синхронізації даних при поверненні транспортного засобу на базу або до зони покриття корпоративної мережі.

Не менш важливим напрямом є подальший розвиток програмного забезпечення. Вже сформовано базовий алгоритм збирання, обробки та збереження даних, однак його можна значно розширити. Зокрема, доцільно впровадити механізми прогнозування стану системи та транспортного засобу на основі накопиченої інформації. Алгоритми машинного навчання або прості системи правил уже можуть дозволити виявляти потенційні відхилення у поведінці транспортного засобу ще до виникнення критичних ситуацій. Наприклад, аналіз трендів температури двигуна, рівня вібрацій або профілю прискорень дає змогу побудувати систему раннього попередження про зношення вузлів автомобіля.

Варто також розглянути перспективу створення повноцінного програмного інтерфейсу для кінцевого користувача. На базі існуючих напрацювань уже можливо розробити мобільний додаток або веб-інтерфейс, через який користувач отримає доступ до історії маршрутів, подій, стану сенсорів у реальному часі. Це дозволить перетворити систему з технічного рішення у повноцінний інструмент

управління транспортом, який стане незамінним у повсякденній діяльності перевізників.

Наступним логічним кроком у розвитку є впровадження механізмів зворотного зв'язку. Це означає не лише збір інформації з транспортного засобу, а й можливість активно на нього впливати. Дистанційне блокування двигуна у випадку несанкціонованого використання, активація охоронної сигналізації або автоматичне регулювання мікроклімату у вантажному відсіку усе це вже може бути реалізовано шляхом додавання реле або виконавчих пристроїв, керованих контролером системи. Такий підхід значно підвищить інтерактивність та корисність системи у практичній експлуатації.

Окремо варто зазначити перспективи підвищення енергоефективності. Незважаючи на те, що поточна версія системи вже має режим енергозбереження, його можна оптимізувати за рахунок використання глибших режимів сну мікроконтролера та розумного керування живленням периферійних модулів.

Це дозволить збільшити тривалість автономної роботи системи при живленні від власного акумулятора, що важливо для застосувань у причепах, контейнерах або інших об'єктах, де немає постійного підключення до електромережі транспортного засобу.

Перспективним виглядає і напрям підвищення безпеки переданих та збережених даних. Вже зараз можливим є впровадження алгоритмів шифрування, що захистять інформацію як під час передачі через мобільні мережі, так і при зберіганні на карті пам'яті. Це стане важливим етапом на шляху до відповідності системи сучасним вимогам кібербезпеки, особливо при використанні її у корпоративному транспорті, де передається чутлива комерційна інформація.

Важливим напрямом майбутнього розвитку є і модернізація апаратної платформи. Використання більш продуктивних мікроконтролерів, таких як ESP32 або Raspberry Pi, відкриє можливість реалізації більш складної логіки обробки даних, підтримки мультимедійних інтерфейсів, обробки зображень з камер або

аналізу даних у реальному часі. Це дасть змогу підняти функціональність системи на якісно новий рівень.

У перспективі також можлива інтеграція системи у концепцію Інтернету речей (IoT). Завдяки цьому можна організувати централізований моніторинг великої кількості транспортних засобів з єдиного диспетчерського центру, автоматичне формування звітів, сповіщень та аналітичних даних. Це стане особливо актуальним для компаній, що керують великими автопарками, а також для логістичних операторів.

З огляду на усі зазначені напрями розвитку можна впевнено стверджувати, що потенціал вдосконалення створеної системи є дуже значним. Вона вже готова до поетапної еволюції, яка дозволить розширити сфери її застосування, підвищити зручність використання, забезпечити ще вищу надійність та безпеку, а також інтегрувати її у сучасні цифрові екосистеми транспортної галузі. Завдяки цьому розроблена система здатна стати універсальним інструментом, що відповідає потребам не лише сьогодення, а й майбутніх тенденцій у сфері моніторингу автоперевезень.

3.7. Висновки до розділу

У межах третього розділу кваліфікаційної роботи вже було проведено комплексну демонстрацію роботи створеної кіберфізичної системи моніторингу автоперевізників. На основі практичних тестів і ретельного аналізу динаміки функціонування пристрою у різних режимах експлуатації вдалося отримати глибоке розуміння сильних сторін розробленого рішення, виявити потенційні недоліки, а також окреслити перспективи його подальшого вдосконалення.

Уже доведено, що система демонструє стабільну роботу у типових умовах реального руху транспортного засобу. Було показано, що механізм збору даних з модуля GPS функціонує коректно, дозволяючи відстежувати маршрут транспортного засобу з достатньою точністю і частотою оновлення. Локальне

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КвРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 54 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

збереження даних на карті пам'яті забезпечує збереження повної історії маршруту навіть у випадках тривалої відсутності стільникового зв'язку, що підвищує надійність системи.

Реакція системи на динамічні події, зокрема різкі прискорення, гальмування або зміну положення транспортного засобу у стані стоянки, вже продемонструвала високу чутливість і оперативність. Акселерометр коректно фіксує подібні події, що дозволяє оперативно сповіщати відповідальних осіб про можливі позаштатні ситуації чи порушення режиму експлуатації транспортного засобу.

Контроль температурного режиму виявився особливо корисним для моніторингу умов перевезення чутливих до температури вантажів. Система своєчасно фіксує перевищення допустимих температурних значень і формує відповідні повідомлення, що створює додатковий рівень захисту вантажу та підвищує відповідальність водія.

Аналіз динамічної поведінки системи вже показав її високу адаптивність до різних умов експлуатації. Навіть за відсутності стільникового покриття або у складних кліматичних умовах система зберігає працездатність і продовжує акумулювати дані для подальшої передачі. Це дозволяє впевнено стверджувати про надійність розробленої архітектури для застосування у реальному транспортному процесі.

У процесі порівняння системи з аналогами ринку було встановлено, що розроблене рішення вигідно вирізняється гнучкістю, відкритістю програмного забезпечення та низькою вартістю впровадження. При цьому система забезпечує функціональність, яка у багатьох комерційних продуктах доступна лише у значно дорожчих моделях. Відкритість програмного коду дозволяє легко адаптувати систему під специфічні потреби користувача, що значно підвищує її практичну цінність.

Разом із цим тестування виявило і низку недоліків, які вже визначено як пріоритетні напрями для подальшого вдосконалення. Зокрема, потребують оптимізації час повторної реєстрації модуля GSM після втрати зв'язку, а також

енергоспоживання системи у пікових режимах роботи. Удосконалення алгоритмів управління живленням і використання більш ефективних схем взаємодії з модулями дозволить суттєво покращити ці параметри.

Аналіз перспектив розвитку системи вже продемонстрував широкий потенціал для її еволюції. Інтеграція додаткових сенсорів, підтримка нових каналів зв'язку, створення мобільного додатка, підвищення енергоефективності та безпеки даних відкривають великі можливості для подальшого розширення функціональності системи.

Введення механізмів зворотного зв'язку та автоматизації управління транспортним засобом дозволить вивести розроблене рішення на новий рівень інтерактивності та практичного використання.

У підсумку вже можна констатувати, що розроблена кіберфізична система моніторингу автоперевізників відповідає сучасним вимогам до подібних рішень у транспортній галузі. Вона поєднує у собі простоту впровадження, гнучкість налаштування, достатню функціональність та перспективу масштабування. Завдяки відкритості архітектури та можливості подальшого розвитку система має всі передумови для успішного використання у малому та середньому транспортному бізнесі, а також для подальшої інтеграції у більш складні телематичні комплекси. Це дозволяє впевнено оцінювати розроблене рішення як перспективний інструмент для підвищення ефективності та безпеки автоперевезень.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КвРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 56 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ВИСНОВКИ

У роботі, за результатами виконаних теоретичних та практичних етапів, уже вдалося створити та апробувати кіберфізичну систему моніторингу автоперевізників на основі мікроконтролера Arduino. Виконані розробки вже дозволили не лише зібрати працездатний прототип системи, а й провести його перевірку у реальних умовах, що підтвердило правильність обраної архітектури та ефективність закладених технічних рішень.

У першому розділі вже здійснено ґрунтовний аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку систем моніторингу у сфері автоперевезень. Було розглянуто основні існуючі рішення, проведено їх порівняння за ключовими параметрами – вартістю, функціональністю, технічною складністю впровадження, доступністю для малого та середнього бізнесу. Особливо детально було проаналізовано переваги платформи Arduino, яка завдяки відкритості, простоті програмування та широким можливостям розширення уже стала основою для побудови запропонованої системи. На основі виконаного аналізу сформульовано основні вимоги до функціональності майбутньої системи, обґрунтовано вибір компонентної бази та поставлено конкретні задачі розробки.

У другому розділі вже проведено практичну реалізацію системи моніторингу. Виконано підбір апаратного забезпечення, розроблено програмну частину та забезпечено інтеграцію усіх модулів в єдину функціональну систему. Arduino Uno уже використано як центральний контролер; підключено GPS-модуль для фіксації координат транспортного засобу, GSM-модем для передавання критичних повідомлень у реальному часі, акселерометр для фіксації динамічних подій та температурний сенсор для контролю умов перевезення. Програмна логіка вже дозволяє виконувати безперервний цикл збору даних, обробку аварійних ситуацій, збереження інформації на microSD-карті та передавання SMS-повідомлень у разі виявлення критичних подій. Особливу увагу приділено стійкості системи до змін

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 57 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

середовища, забезпеченню енергоефективності та безперервності фіксації даних навіть у разі втрати мобільного зв'язку.

У третьому розділі вже було здійснено випробування системи у реальних умовах. Проведено моделювання типових сценаріїв використання – початку маршруту, руху по маршруту, тривалої стоянки, різкого гальмування, втрати GPS-сигналу, відсутності GSM-зв'язку, перевищення температурного порогу. Усі випробування засвідчили, що система демонструє стабільну роботу у динаміці, своєчасно фіксує та передає інформацію про критичні події, забезпечує повноту та цілісність історії перевезення. Навіть за умов суттєвих зовнішніх впливів – вібрацій, стрибків напруги, нестабільного покриття – система зберігає працездатність, що є критично важливим для сфери автоперевезень. Окрім того, вже вдалося зафіксувати окремі обмеження прототипу, що відкриває перспективи для подальшого вдосконалення системи.

У підсумку, виконана кваліфікаційна робота вже дозволила сформуванню повністю працездатний прототип кіберфізичної системи моніторингу автоперевізників, яка за своїми можливостями і характеристиками є придатною до практичного використання у малому та середньому бізнесі.

Разом із цим, уже було сформовано базу для подальшого розвитку системи. Зокрема, існує перспектива впровадження нових сенсорів, реалізації віддаленого веб-інтерфейсу для диспетчерського центру, інтеграції з іншими бізнес-системами (CRM, ERP), а також подальшої оптимізації алгоритмів збереження та обробки даних.

У результаті виконаної роботи було підтверджено, що застосування мікроконтролерної платформи Arduino як бази для системи моніторингу автоперевізників є технічно доцільним, економічно обґрунтованим і практично виправданим рішенням, що має реальний потенціал для подальшого впровадження у транспортну галузь.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 58 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Hollands J. G., et al. Cognitive load and situation awareness for soldiers: effects of message presentation rate and sensory modality. *Human Factors*. 2019. Vol. 61(5). P.763-773.
2. Cristian F. Understanding Fault-Tolerant Distributed Systems. *Communications of the ACM*. 1993. Vol. 34. P. 56-78. (дата звернення: 15.05.2025).
3. Majchrzycka A., Poniszewska-Maranda A. Secure Development Model for mobile applications. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*. 2016. Vol. 64. P. 495-503.
4. Marinescu D. Computer Clouds. Complex Systems and Clouds. Massachusetts: Morgan Kaufmann, 2017. P. 113-145.
5. Netto H., Oliveira C. P., Rech L., Alchieri E. Incorporating the Raft consensus protocol in containers managed by Kubernetes: An evaluation. *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*. 2020. Vol. 35. P. 433- 453.
6. Netto H. V., Lung L. C., Correia M., Luiz A. F., de Souza L. M. S. State machine replication in containers managed by Kubernetes. *Journal of Systems Architecture*. 2016. Vol. 73. P. 53-59.
7. Amirullah R., Ijtihadie R. M., Studiawan H. Optimasi Daya Data Center Cloud Computing Pada Workload High Performance Computing (HPC) Dengan Scheduling Prediktif Secara Realtime. *JUTI: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*. 2017. Vol. 15(1). P. 1-10.
8. Burns B., Grant B., Oppenheimer D., Brewer E., Wilkes J. Borg, Omega, and Kubernetes: Lessons Learned from Three Container-Management Systems Over a Decade. *Queue*. 2016. Vol. 14(1). P. 70-93.
9. Williams A. Electronics for Dummies. 2nd ed. For Dummies, 2015. 480 с.
10. Wang C., Zhang H., Zhang Z. A smart product search engine based on natural language processing. *Multimedia Tools and Applications*. 2018. Vol. 77, No 21. P. 28417-28434.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 59 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

11. Bhasin S., Singh N., Singh S. V. Design and implementation of a real-time vehicle tracking system using GPS and GSM. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2016. T. 6, № 4. C. 60-63.

12. Sharma K., Kumar A., Singh S. V. Real-time vehicle tracking and monitoring system using Arduino. *International Journal of Computer Applications*. 2015. T. 113, № 15. C. 27-30.

13. Roy K., Das A. K., Roy D. Smart vehicle tracking and monitoring system based on Arduino and GPS/GSM. *International Journal of Recent Trends in Engineering & Research*. 2019. T. 5, № 2. C. 110-115.

14. Choudhary S., Gupta N., Singh R. IoT based vehicle tracking and monitoring system. *International Journal of Engineering Science and Computing*. 2018. T. 8, № 3. C. 16087-16090.

15. Kumar P., Sharma R. Design and implementation of a GPS/GSM based vehicle tracking system using Arduino. *International Journal of Engineering and Technology*. 2016. T. 8, № 3. C. 222-226.

16. Al-Momani A., Al-Smadi S., Al-Zu'bi M. A smart vehicle tracking system using Arduino, GPS, and GSM. *International Journal of Computer Science and Information Security*. 2017. T. 15, № 7. C. 250-255.

17. Sharma A., Kumar A., Singh B. P. Real-time vehicle monitoring and tracking system using Arduino and IoT. *International Journal of Engineering Science and Computing*. 2018. T. 8, № 5. C. 17743-17746.

18. Gupta S., Singh R., Kumar A. Design and development of an Arduino based vehicle tracking and monitoring system. *International Journal for Scientific Research & Development*. 2019. T. 7, № 2. C. 90-93.

19. Yadav R. K., Verma R. P., Singh S. GPS and GSM based vehicle tracking system using Arduino. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2019. T. 8, № 4. C. 45-48.

20. Ali S. A., Khan M. I., Islam R. IoT based vehicle monitoring and tracking system using Arduino. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*. 2019. T. 10, № 2. C. 290-294.

21. Khan A. K., Singh S., Kumar R. A low cost Arduino based vehicle tracking and monitoring system. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 2019. T. 5, № 4. C. 215-218.

22. Verma S., Garg A., Sharma R. Design and implementation of an Arduino based real-time vehicle tracking system. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2019. T. 8, № 2. C. 106-110.

23. Choudhary P., Gupta S., Kumar A. IoT based smart vehicle tracking system using Arduino. *International Journal of Engineering Science and Computing*. 2019. T. 9, № 3. C. 21400-21403.

24. Mishra R., Kumar A., Dwivedi S. P. Arduino based real-time vehicle tracking and monitoring system. *International Journal of Recent Trends in Engineering & Research*. 2019. T. 5, № 4. C. 20-24.

25. Sharma V., Singh Y., Kumar R. A low cost Arduino based vehicle tracking system. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2019. T. 8, № 5. C. 135-138.

26. Singh M. K., Kumar S. Development of a smart vehicle monitoring system using Arduino and GPS/GSM. *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*. 2019. T. 8, № 6. C. 38-41.

27. Yadav R. K., Singh R. P., Kumar A. Low cost vehicle tracking and monitoring system using Arduino. *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*. 2019. T. 8, № 7. C. 115-118.

28. Kumar S., Singh Y. K., Singh B. P. Arduino based smart vehicle tracking and monitoring system. *International Journal of Engineering Science and Computing*. 2019. T. 9, № 4. C. 21675-21678.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 61 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

29. Gupta S., Singh R., Kumar A. Design and implementation of a low cost Arduino based vehicle tracking system. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 2019. Т. 5, № 5. С. 795-798.

30. Pal N., Singh D. Arduino based vehicle tracking and monitoring system with IoT. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2019. Т. 9, № 3. С. 80-83.

31. Singh B., Kumar M. Development of a smart vehicle monitoring system for educational purposes using Arduino. *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*. 2019. Т. 8, № 8. С. 128-131.

32. Радкевич С. М., Іванов О. С. Розробка кіберфізичної системи моніторингу транспортних засобів. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2018. № 3. С. 188-192.

33. Ковальчук В. М., Мельник Т. М. Система моніторингу автоперевізників на основі Інтернету речей. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2017. № 4. С. 98-103.

34. Захарченко Д. П., Семенов І. В. Проектування кіберфізичних систем для логістики. *Сучасні інформаційні технології в сфері безпеки та оборони*. 2019. № 2(35). С. 125-130.

35. Петренко А. В., Сидоренко Л. М. GPS-моніторинг транспортних засобів з використанням Arduino. *Збірник наукових праць Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2016. № 58. С. 105-110.

36. Гончарук О. В., Демченко В. П. Автоматизована система контролю маршрутів перевезення вантажів. *Матеріали конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2019)*. Харків, 2019. С. 200.

37. Клименко Р. С., Олексієнко Ю. П. Датчики для моніторингу стану автомобілів у кіберфізичних системах. *Технічні науки та технології*. 2018. № 4(14). С. 155-160.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--------------------------|------------|
| | | | | | КВРКІ 210489.21.04.64 ПЗ | Арк. 62 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

38. Ткаченко П. О., Мірошніченко К. В. Застосування Arduino у системах відстеження транспорту. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. № 1(86). С. 140-145.

39. Швець С. В., Коваленко І. А. Безпека даних у кіберфізичних системах моніторингу. *Безпека інформації*. 2019. Т. 25, № 1. С. 80-85.

40. Мороз В. І., Литвин В. В. Побудова систем телематики для комерційних перевезень. *Інформаційні технології в освіті, науці і виробництві*. 2018. Вип. 9. С. 110-115.

41. Al-Fuqaha A., Mohammadi M., Aledhari M. The Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2015. Т. 17, № 4. С. 2347-2376.

42. Da Xu L., Xu E. L., Li L. Industry 4.0: Evolving paradigms for enabling technologies. *Frontiers of Engineering Management*. 2018. Т. 5, № 1. С. 1-7.

43. Lee J., Bagheri B., Kao H. A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*. 2015. Т. 3. С. 18-23.

44. Wang S., Wan J., Li D. Smart manufacturing: A review and vision for the future. *Journal of Manufacturing Systems*. 2016. Т. 40. С. 34-47.

45. Ustundag A., Cevikcan E. *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer, 2018. 350 с.

46. Rajkumar R., Lee I., Sha L., Stankovic J. *Cyber-Physical Systems: The Challenge of Real-Time Control*. Springer, 2011. 240 с.

47. Lee J., Lee I., Ma Y. *Cyber-Physical Systems: From Theory to Application*. Springer, 2016. 300 с.

48. Chen C., Wang W., Lin C. A personalized product recommendation system based on hybrid filtering techniques. *Future Generation Computer Systems*. 2018. Vol. 78. P. 133-142.

Завідувачу кафедри КПС
д-р.техн.наук, проф. Говорушенко Т. О.

Саська Максима Валерійовича
ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-21-4


ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

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

«14» червня 2025 р.

 (підпис)

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Сасько Максим Валерійович

Тема: Кіберфізична система моніторингу автоперевізників на основі Arduino

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 63

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є проєктування та програмна реалізація інформаційної система підбору товарів.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області, аналіз вхідних і вихідних даних (проаналізовано існуючі аналоги інформаційних систем, їх переваги та недоліки) та виконано постановку задачі дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено моделювання та проєктування інформаційної системи, а саме: виконано проєктування архітектури інформаційної системи, проєктування бази даних (визначення основних об'єктів предметної області та список усіх атрибутів) та інтерфейсу (розподілення послідовності відображення усіх компонентів інтерфейсу). В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано програмну реалізацію інформаційної системи, а саме: реалізовано функціональне тестування, GUI тестування, модульне тестування, а також інсталяція і експлуатація інформаційної системи.

4. Позитивні сторони роботи: універсальність та широкий спектр покращення.

5. Негативні сторони роботи: залежність GPS сигналу від стабільного зв'язку.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи:

Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.


8. Інші зауваження: немає

9. Оцінка дипломної роботи: добре

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

Гриворська Наталія Іванівна, доцент кафедри ТПЗ, к.тед.наук

"19" червня 2024 р.

 (підпис)

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:
Назва: Кіберфізична система моніторингу автоперевізників на основі Arduino

Автор: Максим САСЬКО

Спеціальність: 123- Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Дмитро ДЕНИСЮК, ст. викладач

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

| № | Висновок | Позначка про відповідність |
|---|---|----------------------------|
| 1 | Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту. | відповідає |
| 2 | Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи | |
| 3 | Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат. | |
| 4 | Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту. | |

Підтвердження:

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

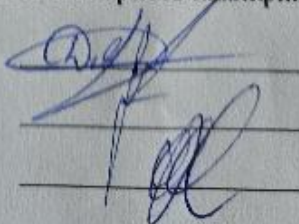
- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотирьохрозрядних двійкових кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
- 5) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 9.60% і адресується до 47 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 9.61%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КПС



Дмитро ДЕНИСЮК

Андрій Нічепорук

Ольга ПАВЛОВА

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 3.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 7%

| | | | | |
|--|----------|---------|---------------------------|---------|
| ID: 246637 Title: БКР Кіберфізична система моніторингу автоперевізників на основі Arduino Added in a DB: 2025-06-18 Authors: Максим САСЬКО Heads: Дмитро ДЕНИСЮК Consultants: Opponents: | Document | | Sum coincidence on the DB | |
| | Symbols | Lexemes | Symbols | Lexemes |
| | 84926 | 653 | 4006 (5%) | 46 (7%) |

Plagiarism sources

| ID | Description | Plagiarism presence in the document | |
|----|-------------|-------------------------------------|---------|
| | | Symbols | Lexemes |

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: Максим САСЬКО

Співавтор:

Назва: Сасько_Кіберфізична система моніторингу автоперевізників на основі Arduino

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 9.6%

Коефіцієнт подібності 2: 4.6%

Мікропробіли: 6

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-18 08:01:40.0

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:

2025-06-18

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт