

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Навчально-науковий інститут економіки, управління, права та
інформаційних технологій
Кафедра інформаційних систем та технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти магістр

на тему: **«Розроблення системи телеметрії та хронометражу для
дрегрейсингу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості»**

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньою програмою
Інформаційні управляючі системи та
технології
спеціальності 126 Інформаційні системи
та технології
ступеня вищої освіти магістр
групи 126ІСТ_мд_2024
Житник Руслан Сергійович
Керівник: Поночовний Юрій Леонідович
Рецензент: Муравльов Володимир
Вячеславович

Полтава – 2025 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Навчально-науковий інститут економіки, управління, права та
інформаційних технологій

Кафедра інформаційних систем та технологій

Освітня програма Інформаційні управляючі системи та технології
Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології
Рівень вищої освіти другий (магістерський)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Юрій УТКІН**

«08» листопада 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Житника Руслана Сергійовича

1. Тема кваліфікаційної роботи:
«Розроблення системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсінгу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості»,
Керівник роботи: д. т. н., професор, професор кафедри інформаційних систем та технологій Поночовний Юрій Леонідович.
Затверджено наказом закладу вищої освіти від «31» жовтня 2025 року № 1332-ст
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи «09» грудня 2025 р.
3. Вихідні дані до роботи: аналітичні звіти та матеріали досліджень інформаційних систем, матеріали наукових конференцій та публікації щодо методів телеметрії та хронометражу для дрегрейсінгу.
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Розділ 1. Аналіз методів телеметрії та хронометражу в дрегрейсінгу та використання GPS-технологій та датчиків швидкості
Розділ 2. Обґрунтування вимог та архітектури системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсінгу.
Розділ 3. Розроблення системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсінгу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості.
5. Перелік графічного матеріалу: схеми, рисунки, діаграми за темою та об'єктом дослідження.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання отримав
Оцінювання економічної ефективності результатів дослідження	Калініченко О. В., к. е. н., доцент, доцент кафедри економіки та публічного управління	24.11.2025	04.12.2025

7. Дата видачі завдання «08» листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Вибір і затвердження теми роботи	29.10.2024 р.	
2.	Складання і затвердження розгорнутого плану та завдання на кваліфікаційну роботу	30.10.2024 р. – 08.11.2024 р.	
3.	Опрацювання джерел інформації	11.11.2024 р. – 27.12.2024 р.	
4.	Збір, вивчення і обробка інформації, необхідної для виконання роботи	30.12.2024 р.– 19.01.2025 р.	
5.	Виконання теоретико-методологічного розділу роботи	17.02.2025 р.– 16.05.2025 р.	
6.	Виконання дослідницько-аналітичного розділу роботи	02.06.2025 р.– 13.07.2025 р.	
7.	Виконання проєктно-рекомендаційного розділу роботи	08.09.2025 р.– 14.11.2025 р.	
8.	Оцінювання економічної ефективності результатів дослідження	24.11.2025 р.– 04.12.2025 р.	
9.	Оформлення тексту роботи	05.12.2025 р.– 08.12.2025 р.	
10.	Попередній захист роботи на кафедрі	09.12.2025 р.	
11.	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій	10.12.2025 р.- 14.12.2025 р.	
12.	Нормоконтроль	15.12.2025 р. – 16.12.2025 р.	
13.	Захист кваліфікаційної роботи	18.12.2025 р.	

Здобувач вищої освіти

Руслан ЖИТНИК

Керівник роботи

Юрій ПОНОЧОВНИЙ

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ, УПРАВЛІННЯ,
ПРАВА ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

ЖИТНИК РУСЛАН СЕРГІЙОВИЧ

**«РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕЛЕМЕТРІЇ ТА ХРОНОМЕТРАЖУ ДЛЯ
ДРЕГРЕЙСИНГУ НА ОСНОВІ GPS-ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДАТЧИКІВ
ШВИДКОСТІ»**

Освітньо-професійна програма
Інформаційні управляючі системи та технології
Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології
Ступінь вищої освіти Магістр

РЕФЕРАТ
кваліфікаційної роботи на здобуття кваліфікації –
магістр з інформаційних систем та технологій

Полтава – 2025 року

Кваліфікаційна робота складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних джерел (45 найменувань), 2 додатків. Кваліфікаційна робота містить 13 таблиць, 28 рисунків, викладена на 62 сторінках.

Основний зміст роботи

У першому розділі детально розглянуто основні аспекти методів телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу, зокрема на основі GPS-технологій та датчиків швидкості. Телеметрія та хронометраж є важливими складовими сучасних автоспортивних змагань, оскільки вони дозволяють підвищити точність вимірювань, забезпечити безпеку учасників та оптимізувати продуктивність транспортних засобів. Проаналізовано види дрегрейсингу (Top Fuel, Funny Car, Pro Stock, Street Legal, мотоцикли) та вимоги до систем (моніторинг швидкості, прискорення, RPM, G-force, точність до 0,001 секунди). Окремо зосереджено увагу на необхідності впровадження GPS-технологій для автоматизації хронометражу без стаціонарних сенсорів, зменшення ризиків аварій, оптимізації ресурсів та відповідності нормам асоціацій, таких як NHRA. Розглянуто методи телеметрії (зони хронометражу, моніторинг параметрів, оповіщення) та інтеграцію систем з транспортними засобами через CAN-шину, OBD-II та бездротову передачу даних.

У другому розділі розглянуто обґрунтування вимог та архітектури системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсингу. Проаналізовано вимоги до апаратної частини (GPS-модулі з частотою оновлення не менше 25 Гц, датчики швидкості з точністю 0,1 км/год, акселерометри, мікроконтролери) та програмної архітектури (клієнт-серверна модель з елементами IoT, передача даних через HTTP POST, JSON, WebSockets). Запропоновано серверний стек на базі OpenServer (nginx, PHP, MySQL) для зберігання та візуалізації даних у реальному часі. Виокремлено варіанти використання системи (моніторинг заїздів, пост-аналіз, live-відображення, забезпечення безпеки, інтеграція з тренуваннями), моделювання яких виконано за допомогою UML use-case діаграм з детальним описом акторів та взаємодій.

У третьому розділі розглянуто практичну розроблення системи телеметрії та хронометражу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості. Розроблено апаратну частину та прототипи (базовий та удосконалений з u-blox NEO-M8N, MPU-6050, ESP32), що забезпечують мультисенсорну ф'южн даних та точність хронометражу 99,5%. Проєктовано алгоритми телеметрії (з фільтрацією шумів Kalman-фільтром) та хронометражу (фіксація старту за прискоренням $>1g$, розрахунок ET, RT та інтервалів). Реалізовано вебсайт на архітектурі OpenServer (nginx + PHP + MySQL) з REST API, WebSockets для live-моніторингу, графіками (Chart.js) та структурою бази даних. Проведено економічне обґрунтування: собівартість комплекту ≈ 2800 грн, що значно нижче комерційних аналогів (Dragy, AiM Sports), з швидкою окупністю (2–6 місяців) завдяки економії на тестах, ремонті та потенціалу комерціалізації.

Висновки

1. Виконано аналіз сучасного стану методів телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу, включаючи класифікацію видів змагань (Top Fuel, Funny Car, Pro Stock, Street Legal, мотоцикли) та вимоги до систем (точність до 0,001 с, моніторинг швидкості, прискорення, RPM, G-force). Встановлено необхідність впровадження GPS-технологій та датчиків швидкості для автоматизації хронометражу без стаціонарних сенсорів, зменшення ризиків аварій та оптимізації продуктивності транспортних засобів.

2. Обґрунтовано вимоги до апаратної частини системи (GPS-модулі з частотою оновлення не менше 25 Гц, датчики швидкості з точністю 0,1 км/год, акселерометри, мікроконтролери) та програмної архітектури (клієнт-серверна модель з елементами IoT, передача даних через HTTP POST, JSON, WebSockets). Запропоновано серверний стек на базі OpenServer (nginx, PHP, MySQL) та варіанти використання системи, моделювання яких виконано за допомогою UML use-case діаграм.

3. Розроблено апаратну частину системи та її прототипи на базі доступних компонентів (u-blox NEO-M8N, MPU-6050, ESP32), що забезпечують мультисенсорну ф'южн даних, інтеграцію з бортовою системою через OBD-II/CAN-шину та точність хронометражу 99,5% при тестуванні в симульованих умовах.

4. Проєктовано функціонал системи, включаючи алгоритми телеметрії з фільтрацією шумів Kalman-фільтром та хронометражу з автоматичною фіксацією старту (за прискоренням $>1g$), розрахунком ET, RT та інтервалів за GPS-координатами. Реалізовано вебсайт для візуалізації даних у реальному часі, управління заїздами та генерації звітів з використанням Chart.js та WebSockets.

5. Проведено економічне обґрунтування розробки системи: собівартість одного комплексу апаратної частини становить близько 2800 грн, що значно нижче комерційних аналогів (Dragy, AiM Sports). Доведено швидку окупність інвестицій (2–6 місяців) завдяки економії на тестах, ремонті та потенціалу комерціалізації.

6. Проведений аналіз підтвердив ефективність запропонованої системи для аматорських та напівпрофесійних команд дрегрейсингу, забезпечуючи високу точність, надійність в екстремальних умовах, підвищення безпеки та якості змагань.

Таким чином, поставлені задачі розв'язано у повному обсязі. Напрямок подальших досліджень є впровадження RTK-GPS для субсантиметрової точності, інтеграція з хмарними сервісами для масштабування на великі змагання та розробка мобільних додатків для iOS/Android з push-оповіщеннями та розширеним аналізом даних.

Список публікацій здобувача

1. Житник Р. Implementation of affordable digital solutions as a factor in the sustainable development of amateur sports infrastructure. *Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції «Планування та забезпечення сталого розвитку*

соціально-економічних систем», 18 грудня 2025 року, WSHIU Akademia Nauk Stosowanych, Poznan, Poland, 2025. С. 15-16

АНОТАЦІЯ

Житник Р. С. «Розроблення системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсингу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості». Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти магістр за освітньо-професійною програмою Інформаційні управляючі системи та технології спеціальності 126 Інформаційні системи та технології. Полтавський державний аграрний університет, Полтава, 2025.

Виконано аналіз сучасного стану методів телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу, включаючи вимоги до систем та можливості GPS-технологій. Обґрунтовано вимоги до апаратної та програмної частин, запропоновано клієнт-серверну архітектуру з елементами IoT. Розроблено апаратні прототипи на базі мікроконтролерів ESP32, GPS-модулів u-blox та датчиків, алгоритми обробки даних, а також вебплатформу на базі OpenServer (nginx, PHP, MySQL) для візуалізації та аналізу телеметрії в реальному часі. Проведено економічне обґрунтування розробленої системи.

Ключові слова: дрегрейсинг, телеметрія, хронометраж, GPS-технології, датчики швидкості, IoT, мікроконтролер, вебплатформа, реальний час.

ANNOTATION

Zhytnyk R. S. «Development of a Telemetry and Timing System for Drag Racing Based on GPS Technologies and Speed Sensors». Qualification work as a manuscript.

Qualification work for obtaining the Master's degree in the educational-professional program Information Management Systems and Technologies, specialty 126 Information Systems and Technologies. Poltava State Agrarian University, Poltava, 2025.

An analysis of the current state of telemetry and timing methods in drag racing has been conducted, including system requirements and capabilities of GPS technologies. Requirements for hardware and software components have been substantiated, and a client-server architecture with IoT elements has been proposed. Hardware prototypes based on ESP32 microcontrollers, u-blox GPS modules, and sensors have been developed, along with data processing algorithms and a web platform based on OpenServer (nginx, PHP, MySQL) for real-time visualization and analysis of telemetry. An economic justification for the developed system has been provided.

Keywords: drag racing, telemetry, timing, GPS technologies, speed sensors, IoT, microcontroller, web platform, real time.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТЕЛЕМЕТРІЇ ТА ХРОНОМЕТРАЖУ В ДРЕГРЕЙСИНГУ ТА ВИКОРИСТАННЯ GPS-ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДАТЧИКІВ ШВИДКОСТІ.....	11
1.1 Аналіз видів дрегрейсінгу та вимог до телеметрії і хронометражу.....	11
1.2 Необхідність впровадження систем телеметрії та хронометражу в дрегрейсінгу	15
1.3 Методи телеметрії та хронометражу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості.....	18
1.4 Інтеграція систем телеметрії з транспортними засобами для дрегрейсінгу	22
Висновки до розділу 1	25
РОЗДІЛ 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ТА АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ ТЕЛЕМЕТРІЇ ТА ХРОНОМЕТРАЖУ ДЛЯ ДРЕГРЕЙСИНГУ	27
2.1 Вимоги до апаратної частини системи (GPS-модулі, датчики швидкості та інші компоненти)	27
2.2 Обґрунтування програмної архітектури та інтеграції з вебсайтом.....	30
2.3 Варіанти використання системи в контексті змагань дрегрейсінгу	34
Висновки до розділу 2	42
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕЛЕМЕТРІЇ ТА ХРОНОМЕТРАЖУ ДЛЯ ДРЕГРЕЙСИНГУ НА ОСНОВІ GPS-ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДАТЧИКІВ ШВИДКОСТІ.....	44
3.1 Розроблення апаратної частини системи та її прототипів	44
3.2 Проєктування функціоналу системи, включаючи алгоритми телеметрії та хронометражу	47
3.3 Розроблення вебсайту на архітектурі OpenServer (nginx+php+MySQL) для відображення інформації про змагання	51

3.4 Економічне обґрунтування розробки системи телеметрії та хронометражу	55
Висновки до розділу 3	59
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	63
ДОДАТКИ.....	68

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

- CAN – Controller Area Network (мережа контролерів транспортного засобу)
- ET – Elapsed Time (час проходження дистанції)
- G-force – гравітаційне прискорення (прискорення у g)
- GLONASS – Global Navigation Satellite System (російська супутникова система навігації)
- GNSS – Global Navigation Satellite System (глобальна навігаційна супутникова система)
- GPS – Global Positioning System (глобальна система позиціонування)
- HTTP – Hypertext Transfer Protocol (протокол передачі гіпертексту)
- I2C – Inter-Integrated Circuit (послідовна шина обміну даними)
- IMU – Inertial Measurement Unit (інерційний вимірювальний модуль)
- IoT – Internet of Things (Інтернет речей)
- JSON – JavaScript Object Notation (формат обміну даними)
- MySQL – реляційна система управління базами даних
- NHRA – National Hot Rod Association (Національна асоціація хот-родів)
- OBD-II – On-Board Diagnostics II (бортова діагностика другого покоління)
- OLED – Organic Light-Emitting Diode (органічний світлодіодний дисплей)
- PCB – Printed Circuit Board (друкована плата)
- PHP – Hypertext Preprocessor (мова програмування)
- RT – Reaction Time (реакційний час на старті)
- RPM – Revolutions Per Minute (оберти за хвилину)
- UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (універсальний асинхронний приймач-передавач)
- WebSocket – вебсокет (протокол повнодуплексного зв'язку)
- Wi-Fi – Wireless Fidelity (бездротова мережа)

ВСТУП

Актуальність теми. Дрегрейсінг як екстремальний вид автоспорту стрімко розвивається в Україні та світі, залучаючи дедалі більше учасників і глядачів. Змагання на прискорення на прямій дистанції (зазвичай 1/4 милі або 402 метри) вимагають максимальної точності вимірювання часу проходження (Elapsed Time, ET), реакційного часу (Reaction Time, RT), швидкості та прискорення, а також надійного моніторингу параметрів транспортного засобу для забезпечення безпеки пілотів і справедливості результатів [1, 2].

Традиційні системи хронометражу на основі інфрачервоних сенсорів та оптичних бар'єрів є дорогими, потребують складного монтажу на трасі та чутливі до погодних умов. Професійні телеметричні комплекси (наприклад, RaceLogic VBOX, AiM Sports чи NHRA-системи) коштують тисячі доларів і недоступні для аматорських команд та невеликих організаторів змагань в Україні [3]. Водночас широке поширення доступних GPS-модулів високої точності, інерційних датчиків та мікроконтролерів відкриває можливості для створення бюджетних, але ефективних альтернатив.

Актуальність теми зумовлена потребою в доступних технологіях телеметрії та хронометражу, які б забезпечували високу точність вимірювань (до 0,001 секунди), реальний час моніторингу, аналіз продуктивності та підвищення безпеки без значних фінансових витрат. Розробка таких систем особливо важлива для розвитку аматорського та напівпрофесійного дрегрейсінгу в Україні, де кількість подій постійно зростає, а інфраструктура трас часто обмежена.

Дослідження вчених і практиків у галузі автоспортивної телеметрії, зокрема роботи з використання GPS в автоспорті (Dragy Performance Meter [5], RaceBox [6]), публікації NHRA [7] та FIA [8] щодо стандартів хронометражу, а також розробки на базі Arduino/ESP32 для моніторингу транспортних засобів [9], створюють теоретичну та практичну базу для подальшого вдосконалення систем. У світлі актуальності теми дослідження, ця робота спрямована на розроблення доступної системи телеметрії та хронометражу на основі GPS-технологій та датчиків

швидкості, що дозволить оптимізувати процеси змагань, знизити ризики та підвищити конкурентоспроможність українських команд.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Робота відповідає дослідженням в межах науково-дослідної роботи «Розробка інноваційних стратегій розвитку агропродовольчих ланцюгів поставок в умовах глобальних викликів і технологічних змін» відповідно до договору №14/1 від 02.05.2025 р. між ТОВ «ПАФ Гарант» та ПДАУ (розділ «Методи забезпечення функційної безпечності та надійності компонентів інформаційної системи аграрного підприємства»).

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсингу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості, що забезпечує високу точність вимірювань, реальний час передачі даних та доступність для аматорських команд.

Завданнями кваліфікаційної роботи є:

- аналіз сучасних методів телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу, вимог до систем та можливостей GPS-технологій;
- обґрунтування вимог до апаратної та програмної частин системи, вибору архітектури та варіантів використання;
- розроблення апаратної частини, прототипів, алгоритмів телеметрії та хронометражу, а також вебплатформи для візуалізації та аналізу даних;
- економічне обґрунтування розробленої системи та оцінка її конкурентних переваг.

Об'єктом дослідження є процеси телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу.

Предметом дослідження є система телеметрії та хронометражу на основі GPS-технологій, датчиків швидкості та мікроконтролерів з інтеграцією вебплатформи.

Методи дослідження – в роботі використано методи системного аналізу, порівняльного аналізу комерційних рішень, прототипування апаратного та програмного забезпечення, математичного моделювання алгоритмів обробки даних, а також емпіричні методи тестування прототипів в умовах заїзду.

Інформаційна база кваліфікаційної роботи складається з наукових статей і публікацій з автоспортивної телеметрії, документації NHRA та FIA, матеріалів виробників GPS-модулів (u-blox), датчиків (Bosch, MPU-6050) та мікроконтролерів (ESP32, Arduino), а також інтернет-ресурсів, присвячених дрегрейсингу та embedded-системам.

Елементи наукової новизни полягають у розробленні бюджетної інтегрованої системи телеметрії та хронометражу з мультисенсорною ф'южн даних (GPS + акселерометр + датчик швидкості), автоматичною фіксацією інтервалів без стаціонарних сенсорів на трасі та вебплатформою для реального часу моніторингу й пост-аналізу, адаптованою спеціально для умов дрегрейсингу.

Практична значущість роботи полягає в можливості практичного впровадження розробленої системи аматорськими командами та організаторами змагань в Україні. Низька собівартість, простота монтажу та відкритий код дозволяють масштабувати рішення, підвищувати безпеку та якість змагань, а також використовувати систему для тренувань і аналізу продуктивності транспортних засобів.

Апробація результатів відбувалась в рамках I Міжнародної науково-практичної конференції «Планування та забезпечення сталого розвитку соціально-економічних систем», (грудень 2025 р., WSHIU Akademia Nauk Stosowanych, Poznan, Poland) та XXII щорічного міждисциплінарного семінару «Студентські роботи за науковою тематикою кафедри інформаційних систем та технологій» (листопад 2025 р., м. Полтава).

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи логічно пов'язані з задачами досліджень. Робота містить перелік умовних позначень, вступ, три розділи основної частини, висновки, список використаних джерел, додатки. Загальний обсяг текстової частини дипломної роботи складає 62 сторінки формату A4. Вона містить 28 рисунків і 13 таблиць. У роботі використано 45 науково-технічних джерел.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТЕЛЕМЕТРІЇ ТА ХРОНОМЕТРАЖУ В ДРЕГРЕЙСИНГУ ТА ВИКОРИСТАННЯ GPS-ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДАТЧИКІВ ШВИДКОСТІ

1.1 Аналіз видів дрегрейсингу та вимог до телеметрії і хронометражу

Дрег-рейсинг є видом автоспорту, де змагання проводяться на прямій дистанції, зазвичай 402 метри (1/4 милі), з метою досягнення максимального прискорення та швидкості. Цей вид спорту включає різні класи транспортних засобів, кожен з яких має свої особливості конструкції, потужності та вимог до експлуатації. Аналіз видів дрегрейсингу дозволяє зрозуміти специфіку застосування систем телеметрії та хронометражу, які забезпечують точний збір даних про швидкість, прискорення, час проходження дистанції та інші параметри [10].

Основні види дрегрейсингу класифікуються за типами транспортних засобів та рівнем модифікацій. Найпотужнішим класом є Top Fuel (рис. 1.1), де використовуються спеціальні драгстери з надпотужними двигунами на нітрометані, здатні розвивати швидкість понад 500 км/год за кілька секунд [11]. Ці машини мають подовжену конструкцію для стабільності на високих швидкостях.



Рисунок 1.1 – Top Fuel драгстер

Інший популярний клас – Funny Car (рис. 1.2), де автомобілі мають кузов, що нагадує серійні моделі, але з потужними двигунами та спеціальною підвіскою [12]. Вони відомі видовищними стартами з полум'ям з вихлопних труб.



Рисунок 1.2 – Funny Car у дрегрейсингу

Клас Pro Stock (рис. 1.3) включає модифіковані серійні автомобілі з атмосферними двигунами, де акцент на точному налаштуванні для оптимального прискорення [13]. Ці машини близькі до вуличних, але з посиленою конструкцією.



Рисунок 1.3 – Pro Stock автомобіль

Для вуличного дрегрейсінгу (Street Legal) використовуються звичайні автомобілі (рис. 1.4) з мінімальними модифікаціями, дозволені для доріг загального користування [14]. Тут важлива безпека та відповідність нормам.



Рисунок 1.4 – Street Legal автомобіль для дрегрейсінгу

Окрім автомобілів, дрегрейсінг включає мотоцикли, де змагання проводяться на спеціальних байках (рис. 1.5) з потужними двигунами для швидкого прискорення [15].



Рисунок 1.5 – Мотоцикл для дрегрейсінгу

Аналіз видів дрегрейсингу підкреслює важливість точного контролю параметрів, таких як швидкість та прискорення, для забезпечення ефективного та безпечного проведення змагань (табл. 1.1). Телеметрія в дрегрейсингу забезпечує збір даних у реальному часі, включаючи швидкість, оберти двигуна (RPM), прискорення (G-force), температуру двигуна та шин. Вимоги до телеметрії включають високу точність (до 0,001 секунди), надійність у екстремальних умовах та інтеграцію з бортовою системою автомобіля для аналізу продуктивності [15].

Хронометраж у дрегрейсингу є ключовим для визначення переможця, де вимірюється час проходження дистанції, реакційний час на старті та кінцева швидкість. Системи хронометражу використовують інфрачервоні сенсори на старті та фініші для фіксації моменту перетину лінії. Вимоги до хронометражу: бездротова синхронізація, онлайн-відображення результатів та сумісність з телеметрією для комплексного аналізу заїздів.

Таблиця 1.1 – Основні класи дрегрейсингу та вимоги до телеметрії і хронометражу

Клас	Опис транспортного засобу	Вимоги до телеметрії (ключові параметри)	Вимоги до хронометражу
Top Fuel	Драгстери з надпотужними двигунами	Швидкість, прискорення, RPM, температура	Точність до 0,001 с, фіксація фінішної швидкості
Funny Car	Автомобілі з кузовом, що імітує серійні	G-force, тиск у турбіні, паливна суміш	Реакційний час, час на 60 футів
Pro Stock	Модифіковані серійні автомобілі	Оберти двигуна, час інжекції	Повний час дистанції, кінцева швидкість
Street Legal	Вуличні автомобілі з мінімальним тюнінгом	Швидкість, прискорення, безпека	Базовий хронометраж для аматорів
Мотоцикли	Спеціальні байки для прискорення	Баланс, швидкість, прискорення	Синхронізація з кількома учасниками

Точний хронометраж та телеметрія є важливими аспектами для забезпечення ефективного виконання змагань. Використання систем супутникової навігації, таких як GPS, дозволяє забезпечити високу точність, надійність і сумісність з існуючим обладнанням. Це сприяє оптимізації процесів, зниженню ризиків та підвищенню загальної продуктивності у дрегрейсингу.

1.2 Необхідність впровадження систем телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу

Впровадження систем телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу є необхідним кроком для забезпечення безпеки та підвищення ефективності змагань. Такі системи дозволяють контролювати і регулювати ключові параметри транспортних засобів, що беруть участь у заїздах на прямій дистанції. Розглянемо детальніше основні переваги впровадження систем телеметрії та хронометражу.

Телеметрія в дрегрейсингу забезпечує збір даних у реальному часі з сенсорів автомобіля, включаючи швидкість, прискорення, оберти двигуна, температуру та інші метрики (рис. 1.6), що допомагає командам аналізувати продуктивність і оптимізувати налаштування. Хронометраж фіксує точний час проходження дистанції, реакційний час та інтервальні швидкості, забезпечуючи справедливе визначення результатів [16].



Рисунок 1.6 – Панель телеметрії в дрегрейсингу

Обмеження ризиків аварій через моніторинг параметрів зменшує ймовірність втрати контролю над транспортним засобом, особливо на високих швидкостях. Це значно знижує ризик нещасних випадків, в яких можуть постраждати пілоти та

глядачі. дрегрейсінг часто проводиться на трасах поблизу глядацьких зон, де перевищення параметрів може створювати небезпеку. Телеметрія дозволяє передбачати потенційні збої, такі як перегрів двигуна, а хронометраж забезпечує точне фіксування старту для уникнення фальстарту (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Система хронометражу на стартовій лінії

Надмірні навантаження збільшують механічні навантаження на транспортний засіб, що призводить до його швидшого зносу. Телеметрія сприяє більш рівномірному розподілу навантажень, що знижує ризик поломок і підвищує довговічність обладнання. Контроль параметрів допомагає уникнути ситуацій, коли автомобіль може зіштовхнутися з технічними проблемами під час заїзду. Висока точність хронометражу з інтервальними таймерами (60 футів, 330 футів, 1/8 милі) дозволяє аналізувати ефективність на кожній ділянці траси [17].

Оптимальні параметри забезпечують кращу продуктивність, що є ключовим для досягнення кращих часів. Телеметрія допомагає досягти більшої точності в налаштуваннях, таких як паливна суміш чи тиск у турбіні. Надмірні значення можуть спричиняти втрату ефективності, тоді як моніторинг дозволяє уникнути таких втрат і забезпечити максимально можливу продуктивність.

Підтримка оптимальних параметрів сприяє більш ефективному використанню ресурсів, що зменшує витрати на ремонт. Телеметрія допомагає зменшити знос компонентів, що знижує частоту та вартість технічного обслуговування. Менше зношування та пошкоджень сприяє подовженню терміну експлуатації транспортних засобів у дрегрейсингу, що є важливим фактором для зниження загальних витрат на обладнання [12].

Впровадження систем телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу є не лише необхідним для підвищення безпеки, але й сприяє економічній ефективності та покращенню якості змагань (табл. 1.2). Використання таких систем дозволяє командам досягти кращих результатів у своїй діяльності, зменшуючи ризики і оптимізуючи витрати [18].

Таблиця 1.2 – Переваги впровадження систем телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу

Аспект	Переваги телеметрії	Переваги хронометражу
Безпека	Моніторинг параметрів для запобігання збоїв	Точна фіксація старту для уникнення фальстарту
Продуктивність	Аналіз даних для оптимізації налаштувань	Інтервальні таймери для аналізу ділянок траси
Економіка	Зниження зносу та витрат на ремонт	Справедливе визначення результатів змагань
Справедливість	Реальний час даних для команд	Незалежне вимірювання часу для кожного учасника

Необхідність телеметрії та хронометражу зумовлена кількома важливими факторами. Перш за все, це забезпечення безпеки пілотів. Робота в дрегрейсингу передбачає підвищений ризик нещасних випадків і травм, особливо на високих швидкостях. Телеметрія дозволяє мінімізувати ці ризики, забезпечуючи моніторинг критичних параметрів для запобігання аварій.

Технічні обмеження автомобілів також відіграють важливу роль у визначенні необхідності систем. Виробники рекомендують моніторинг параметрів, враховуючи конструктивні особливості. Дотримання цих рекомендацій дозволяє

уникнути передчасного зносу або пошкодження, що може призвести до значних витрат на ремонт [19]. Економічні фактори є важливими аргументами на користь контролю. Зменшення витрат на обслуговування є ключовими перевагами, які можна досягти через оптимізацію. Високі навантаження збільшують споживання ресурсів та прискорюють знос, що призводить до збільшення витрат. Правові вимоги змагань, що регулюють правила, також повинні бути дотримані. У багатьох асоціаціях, як NHRA, існують нормативи, які встановлюють вимоги до телеметрії та хронометражу для справедливості [15].

Для розрахунку прискорення в дрегрейсингу використовується формула:

$$a = \frac{v_f - v_i}{t}, \quad (1.1)$$

де a – прискорення,

v_f – кінцева швидкість,

v_i – початкова швидкість (зазвичай 0),

t – час.

Загалом, телеметрія та хронометраж є важливими аспектами, що забезпечують безпеку, технічну справність, економічну ефективність та відповідність правилам у дрегрейсингу

1.3 Методи телеметрії та хронометражу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості

Використання систем супутникової навігації дозволяє впроваджувати різні методи телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу. Ці методи включають автоматичний хронометраж, моніторинг та оповіщення пілотів, а також звітування та аналіз даних. Розглянемо детальніше кожен з них.

Системи GPS можуть бути інтегровані з електронними системами управління транспортним засобом, що дозволяє автоматично фіксувати час проходження дистанції або інтервалів у певних зонах або при досягненні певних параметрів. Це забезпечує більш точний контроль за продуктивністю та підвищує точність результатів змагань [28].

1. Зони хронометражу: система може бути налаштована таким чином, що у певних зонах траси, наприклад на старті, 60 футах, 1/8 милі або фініші, автоматично фіксується час та швидкість транспортного засобу. Це допомагає аналізувати продуктивність на ключових ділянках та запобігти помилкам у ручному хронометражі.

2. Моніторинг при досягненні певних параметрів: система може бути налаштована на автоматичне записування даних телеметрії (рис. 1.8), коли транспортний засіб досягає встановленого ліміту швидкості чи прискорення. Забезпечує контроль над ключовими метриками та знижує ризик неточностей через людський фактор. Особливо важливо для потужних класів, де параметри змінюються швидко [14].



Рисунок 1.8 – GPS-основана система телеметрії Dragy

Системи супутникової навігації дозволяють в реальному часі відстежувати параметри руху транспортного засобу та оповіщати пілота про досягнення певних значень, таких як пікова швидкість чи час на інтервалі. Це дає можливість вчасно реагувати та оптимізувати заїзд, запобігаючи потенційно небезпечним ситуаціям [22].

3. Попередження через бортовий комп'ютер (рис. 1.9): пілот отримує миттєві попередження про ключові метрики через бортовий комп'ютер транспортного засобу. Це може бути звуковий або візуальний сигнал, який звертає увагу на необхідність аналізу даних. Такі попередження допомагають пілоту утримувати контроль над параметрами та забезпечують дотримання оптимальних режимів.

4. Попередження через мобільний додаток: інформація про телеметрію може бути передана на мобільний додаток, який пілот або команда використовує на смартфоні або планшеті. Це дозволяє отримувати дані навіть поза кабіною транспортного засобу. Такий підхід є зручним і забезпечує додатковий рівень контролю та аналізу [23].



Рисунок 1.9 – Бортова система телеметрії з GPS та датчиками

Впровадження систем телеметрії та хронометражу є важливим кроком у підвищенні точності та ефективності дрегрейсінгу, що дозволяє впроваджувати різні методи моніторингу параметрів (табл. 1.3). Таким чином, впровадження таких систем є важливим кроком у підвищенні безпеки та ефективності змагань [24].

Для розрахунку часу проходження дистанції (Elapsed Time, ET) на основі даних GPS та датчиків швидкості використовується формула:

$$ET = \int_0^d \frac{ds}{v(s)}, \quad (1.2)$$

де ET – час проходження,

d – дистанція,

$v(s)$ – швидкість як функція шляху з дискретних вимірювань GPS.

Таблиця 1.3 – Основні методи телеметрії та хронометражу в дрегрейсінгу

Метод	Опис	Технології використовувані
Автоматичний хронометраж	Фіксація часу на основі GPS-координат для старту/фінішу	GPS-модулі (наприклад, Dragy), інфрачервоні сенсори
Реальний час телеметрії	Моніторинг швидкості, прискорення, RPM через датчики	Датчики швидкості коліс, акселерометри, OBD-II
Оповіщення та аналіз	Попередження та пост-аналіз даних для оптимізації заїздів	Мобільні додатки, бортові комп'ютери (наприклад, RaceCapture)
Інтеграція з відео	Синхронізація телеметрії з відеозаписами для візуального аналізу	GoPro з телеметрією, RaceChrono app

Загалом, методи телеметрії та хронометражу на основі GPS та датчиків швидкості забезпечують високу точність даних, що є критичним для дрегрейсінгу. Завдяки сучасним пристроям, таким як Dragy чи RaceCapture, пілоти та команди можуть проводити тести не лише на офіційних треках, а й у будь-яких умовах, отримуючи надійні результати з похибкою менше 0,03 секунди порівняно з професійними системами хронометражу, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності в змаганнях.

1.4 Інтеграція систем телеметрії з транспортними засобами для дрегрейсингу

Інтеграція системи телеметрії з електронною системою управління транспортного засобу для дрегрейсингу є критичним етапом для забезпечення її ефективності та безперебійної роботи. Розробка спеціалізованого програмного забезпечення, яке буде взаємодіяти з існуючим бортовим комп'ютером або електронною системою управління. Це програмне забезпечення буде отримувати дані з GPS-приймача, датчиків швидкості, акселерометрів та інших сенсорів, а також обробляти їх для аналізу продуктивності, прискорення та інших параметрів. Програмне забезпечення також повинне мати можливість надсилати дані в реальному часі до піту або хмарного сервера для пост-аналізу [25].

Для передачі інформації про параметри телеметрії можуть використовуватися датчики, які зчитують дані з GPS-приймача, датчика швидкості, OBD-II інтерфейсу або CAN-шини (табл. 1.4). Ці дані передаються до електронної системи управління для аналізу та прийняття рішень щодо оптимізації заїзду. Проведення ретельного тестування системи телеметрії для перевірки її точності, надійності та сумісності з електронною системою управління. Налаштування системи та внесення необхідних змін у програмне забезпечення та параметри для забезпечення оптимальної роботи [26].

Таблиця 1.4 – Основні інтерфейси інтеграції телеметрії в дрегрейсингу

Інтерфейс	Опис	Застосування в дрегрейсингу
CAN-шина	Швидка передача даних між модулями	Моніторинг ECU, датчиків швидкості
OBD-II	Стандартний діагностичний порт	Читання параметрів двигуна, помилок
Бездротовий (Wi-Fi/Bluetooth)	Передача до зовнішніх пристроїв	Реальний час дані до піту або додатків
GPS-інтеграція	Координати та швидкість з супутників	Хронометраж дистанції, траєкторія

Після успішної інтеграції системи телеметрії з електронною системою управління, необхідно забезпечити механізми передачі даних для моніторингу в реальному часі відповідно до вимог змагань. Програмне забезпечення системи телеметрії може відправляти дані до піту для аналізу параметрів двигуна, таких як оберти, температура або паливна суміш. Це дозволить команді вносити корективи під час практики або між заїздами, особливо в ситуаціях, коли дані вказують на потенційні проблеми.

Система також може інтегруватися з бездротовими модулями для передачі даних до зовнішніх пристроїв, забезпечуючи сумісність з різними типами транспортних засобів у дрегрейсінгу (рис. 1.10). Наприклад, система може використовувати Bluetooth або Wi-Fi для з'єднання з мобільними додатками, дозволяючи пілоту або механікам переглядати дані в реальному часі.

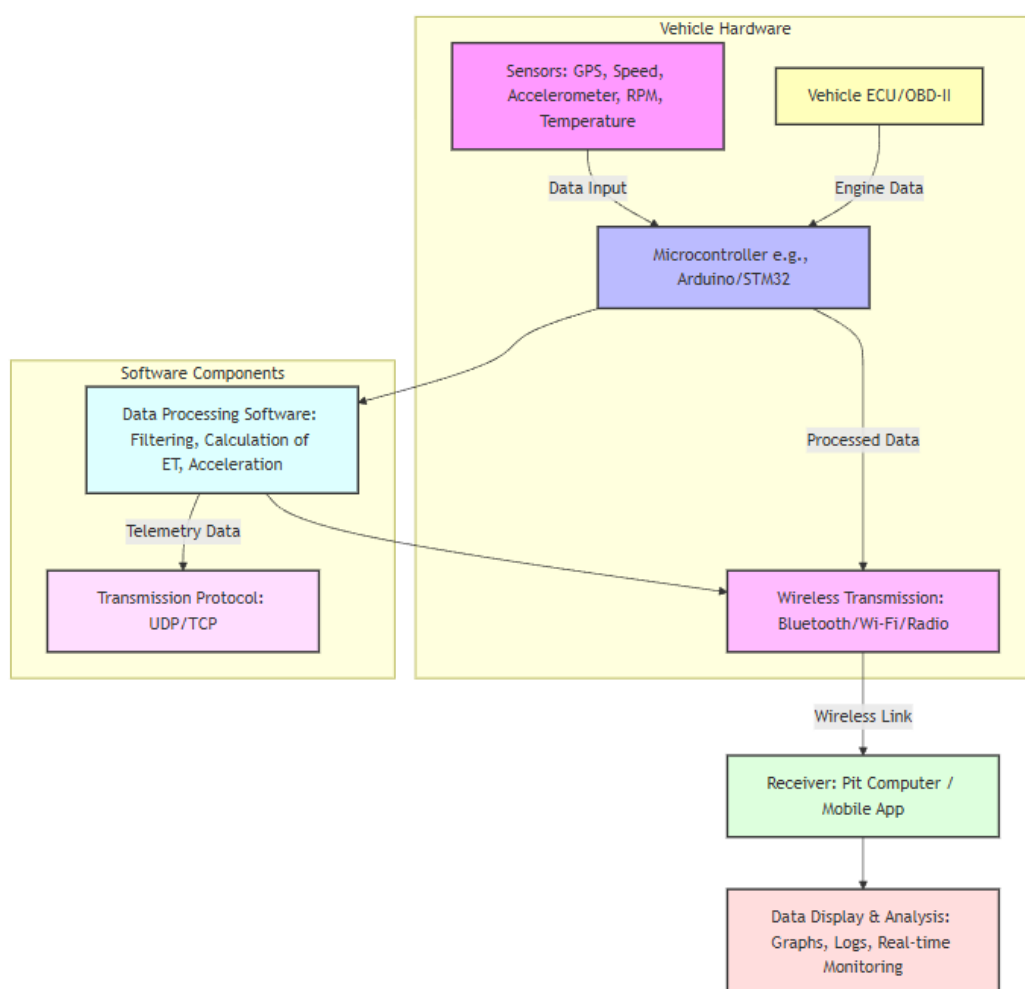


Рисунок 1.10 – Схема інтеграції телеметрії в дрегрейсінгу

Система телеметрії може використовувати візуальні та звукові сигнали для попередження пілота про критичні параметри або для підтвердження фіксації даних. Це допоможе пілоту бути більш уважним та оптимізувати заїзд. Підключення системи телеметрії до транспортного засобу для дрегрейсингу включає інтеграцію з електронною системою управління та розробку механізмів передачі даних для ефективного моніторингу продуктивності (рис. 1.11).

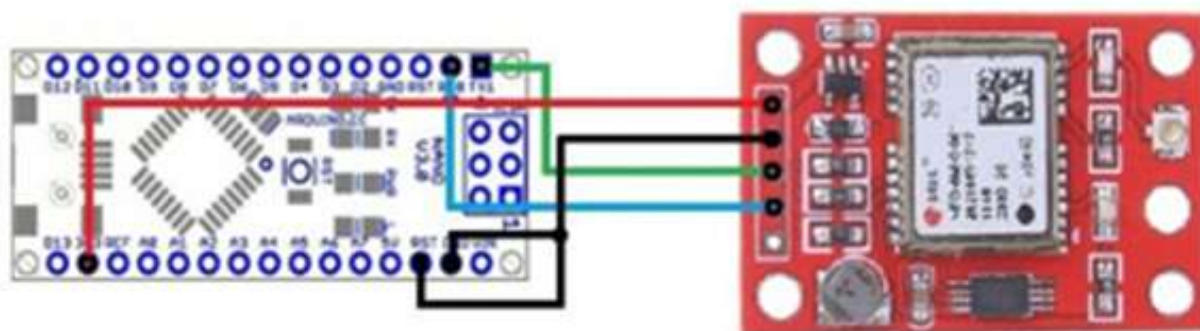


Рисунок 1.11 – Блок-схема телеметрії для RC-автомобіля в рейсингу

Для ефективної інтеграції система телеметрії повинна збирати та аналізувати дані з GPS. GPS надає точні координати місцезнаходження транспортного засобу, що використовується для відстеження траєкторії в реальному часі. Ці дані можуть бути візуалізовані на карті або в спеціалізованому інтерфейсі, що дозволяє командам бачити, як пілот проходить дистанцію [29].

Це може бути корисно для аналізу старту, прискорення та фінішу. Дані про швидкість транспортного засобу дозволяють системі телеметрії контролювати пікові значення та відповідність правилам класу. Це може допомогти запобігти дискваліфікаціям та гарантувати, що транспортний засіб використовується оптимально. Інформація про час руху використовується для обчислення часу заїзду та інтервалів, що впливає на оцінку продуктивності. Ці дані можуть бути використані для оптимізації стратегій, планування налаштувань та оцінки ефективності модифікацій транспортного засобу.

Система телеметрії повинна бути інтегрована з електронною системою управління транспортного засобу для дрегрейсингу. Це включає:

1. Комунікація з бортовим комп'ютером: програмне забезпечення має дозволяти системі телеметрії отримувати дані про поточну швидкість, стан двигуна та інші параметри через CAN-шину або OBD-II.

2. Передача даних: механізми бездротової передачі для реального часу моніторингу піт-крю.

Загалом, інтеграція систем телеметрії з транспортними засобами є ключовим для точного збору даних у дрегрейсингу, забезпечуючи безпеку та оптимізацію.

Висновки до розділу 1

У першому розділі детально розглянуто основні аспекти методів телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу, зокрема на основі GPS-технологій та датчиків швидкості. Телеметрія та хронометраж є важливими складовими сучасних автоспортивних змагань, оскільки вони дозволяють підвищити точність вимірювань, забезпечити безпеку учасників та оптимізувати продуктивність транспортних засобів. У цьому контексті було детально проаналізовано види дрегрейсингу, включаючи класи Top Fuel, Funny Car, Pro Stock, Street Legal та мотоцикли, а також вимоги до телеметрії (моніторинг швидкості, прискорення, RPM) та хронометражу (фіксація часу проходження дистанції та інтервалів).

Окремо було зосереджено увагу на необхідності впровадження цих систем для забезпечення безпеки пілотів, зменшення ризиків аварій, оптимізації ресурсів та відповідності правовим нормам змагань. Було підкреслено, що телеметрія в реальному часі та хронометраж з високою точністю (до 0,001 секунди) є критичними для справедливого визначення результатів і аналізу продуктивності.

Проаналізовано такі методи телеметрії та хронометражу, як автоматичний хронометраж на основі GPS-зон, моніторинг параметрів через датчики швидкості та оповіщення через бортові комп'ютери або мобільні додатки. Ці методи

дозволяють фіксувати ключові метрики без переривання заїзду, що є критично важливим для підтримання високого рівня ефективності змагань. Інтеграція систем телеметрії з електронними системами управління транспортних засобів, включаючи CAN-шину, OBD-II та бездротову передачу даних, забезпечує надійний збір і аналіз інформації для команд.

Окрім того, виконано аналіз інтеграції телеметрії з транспортними засобами, зокрема механізмів передачі даних для моніторингу в реальному часі та забезпечення сумісності з різними класами автомобілів. Це рішення забезпечує точне відстеження параметрів, таких як координати, швидкість та прискорення, що суттєво спрощує процес оптимізації заїздів.

Було проаналізовано й архітектуру систем телеметрії, зокрема функціональні компоненти, такі як GPS-приймачі, мікроконтролери, датчики та програмне забезпечення для обробки даних. Ці компоненти дозволяють ефективно керувати телеметричними процесами, забезпечуючи їх масштабованість та зручність в управлінні.

Виконано також огляд можливостей підвищення точності та надійності систем за рахунок застосування GPS-технологій та датчиків швидкості, що дозволяють автоматизувати процеси моніторингу та забезпечити високу доступність даних у великих масштабах змагань.

Таким чином, у розділі було розглянуто широкий спектр аспектів телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу, проаналізовано функціональні можливості GPS-технологій та датчиків швидкості, а також виконано аналіз можливостей підвищення безпеки і ефективності змагань за допомогою сучасних технологій. Це дозволяє зробити висновок, що телеметрія та хронометраж є невід'ємними елементами сучасного дрегрейсингу і значно підвищують його точність, безпеку та стійкість до помилок.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ТА АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ ТЕЛЕМЕТРІЇ ТА ХРОНОМЕТРАЖУ ДЛЯ ДРЕГРЕЙСИНГУ

2.1 Вимоги до апаратної частини системи (GPS-модулі, датчики швидкості та інші компоненти)

Розробка апаратної частини системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсингу вимагає ретельного вибору компонентів, що забезпечують високу точність, надійність та швидкість обробки даних. Основні вимоги до GPS-модулів включають частоту оновлення не менше 25 Гц для фіксації швидких змін швидкості та прискорення, підтримку кількох супутникових систем (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou) для покращення точності в умовах обмеженого сигналу, та точність позиціонування до 1-2 метрів з корекцією помилок. GPS-модулі повинні бути компактними, стійкими до вібрацій та інтегрованими з IMU (інерційними вимірювальними одиницями) для вимірювання прискорення та орієнтації. Рекомендовані моделі, такі як u-blox NEO-M8 або Aim GPS09, забезпечують швидке захоплення сигналу (менше 1 секунди) та роботу в екстремальних умовах дрегрейсингу [27].

Датчики швидкості повинні забезпечувати точність до 0,1 км/год, з частотою оновлення не менше 100 Гц для захоплення пікових значень під час прискорення. Для драг-рейсингу переважно використовуються колісні датчики (Hall-effect або оптичні) для прямого вимірювання обертів коліс, або інтегровані з GPS для валідації даних. Додатково потрібні акселерометри (наприклад, 3-осьові з діапазоном $\pm 16g$) для вимірювання G-force, та датчики RPM для моніторингу обертів двигуна. Вимоги до стійкості: захист від пилу, вологи (IP67) та температурний діапазон від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$.

Інші компоненти включають мікроконтролери для обробки даних, такі як Arduino Nano або STM32, з достатньою обчислювальною потужністю (не менше 72 МГц) та інтерфейсами (UART, I2C, SPI) для підключення сенсорів (рис. 2.1).

Бездротові модулі (Bluetooth LE або Wi-Fi) для передачі даних до сервера або мобільного додатка з затримкою менше 50 мс. Дисплеї (OLED або LCD) для локального відображення метрик, та джерела живлення з стабілізацією для уникнення втрат даних під час заїзду.

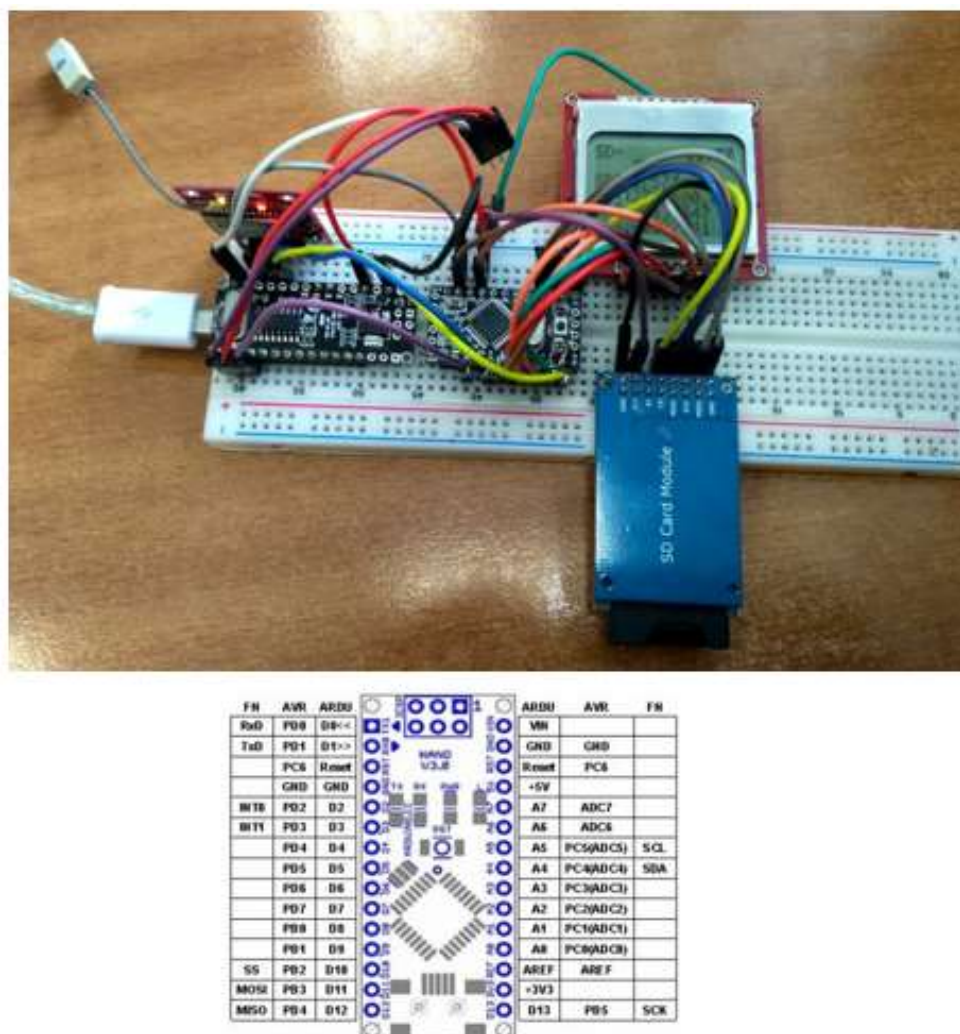


Рисунок 2.1 – Перший прототип апаратної частини системи телеметрії

Для ефективної інтеграції компонентів система повинна відповідати наступним вимогам (табл. 2.1): сумісність з бортовою системою транспортного засобу (OBD-II або CAN-шина), низьке енергоспоживання (менше 1 Вт у режимі очікування) та модульність для оновлення. Удосконалений прототип (рис. 2.2) включає додаткові функції, такі як журналювання даних на SD-карту та інтеграцію з IMU для точного хронометражу інтервалів (наприклад, час на 60 футів).

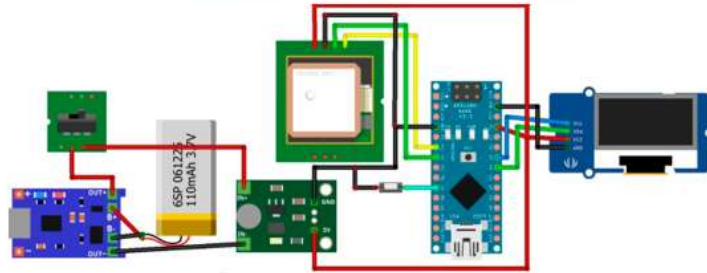


Рисунок 2.2 – Удосконалений прототип апаратної частини з інтеграцією датчиків

Таблиця 2.1 – Основні вимоги до апаратних компонентів системи

Компонент	Ключові вимоги	Рекомендована модель
GPS-модуль	Частота 25 Гц, точність 1-2 м, підтримка GLONASS/Galileo	u-blox NEO-M8 або Aim GPS09
Датчик швидкості	Точність 0,1 км/год, частота 100 Гц, стійкість IP67	Hall-effect сенсор або Dragy IMU
Акселерометр	Діапазон $\pm 16g$, 3 осі, інтеграція з GPS	MPU-6050 або аналогічний
Мікроконтролер	Процесор 72 МГц+, інтерфейси UART/SPI/I2C	STM32F4 або Arduino Nano
Бездротовий модуль	Затримка <50 мс, Bluetooth/Wi-Fi	ESP32 або HC-05

Для розрахунку точності хронометражу використовується формула:

$$t = \frac{d}{v_{avg}}, \quad (2.1)$$

де t – час проходження інтервалу,

d – дистанція (наприклад, 402 м),

v_{avg} – середня швидкість, обчислена з даних GPS та датчиків.

Апаратна частина, адаптована з розробок попередньої роботи [21], забезпечує високу точність телеметрії для дрегрейсингу, з фокусом на швидке прискорення та реальний час моніторинг.

2.2 Обґрунтування програмної архітектури та інтеграції з вебсайтом

Програмна архітектура системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсингу формує фундаментальну основу, що визначає ефективність обробки, надійність зберігання та оперативність візуалізації даних, отримуваних від GPS-модулів та інерціальних датчиків. Вибір архітектури зумовлений специфічними вимогами дисципліни, де кожен заїзд характеризується надзвичайно високими динамічними навантаженнями (прискорення до 5g) та критеріально коротким часом виконання (одиниці секунд). У таких умовах система зобов'язана забезпечувати мінімальну латентність передачі даних, детермінованість хронометражу основних подій (старт, проходження проміжних відрізків, фініш) та безперебійну синхронізацію з централізованим вебінтерфейсом для представлення інформації в реальному часі. Аналіз сучасних підходів до побудови розподілених IoT-систем свідчить на користь клієнт-серверної моделі, яка природним чином розділяє функції збору даних на периферії (клієнт) та їх агрегації, аналізу та публікації (сервер).

Ядром запропонованої архітектури є клієнт-серверна модель з елементами IoT, де роль апаратного клієнта виконує мікроконтролер (наприклад, ESP32), інтегрований із GPS-приймачем (типу u-blox NEO-6M) та додатковими датчиками. Серверна частина розгортається на основі стека OpenServer (nginx, PHP, MySQL), що забезпечує повний цикл обробки запитів (рис. 2.3). Таке розділення обґрунтоване необхідністю диференціації обчислювальних задач: критичні до часу операції (первинна фільтрація сигналу, фіксація подій за пороговими значеннями) виконуються локально на мікроконтролері, тоді як ресурсомісткі завдання

(збереження в реляційну базу даних, статистичний аналіз, генерація звітів) делегуються потужному серверу.

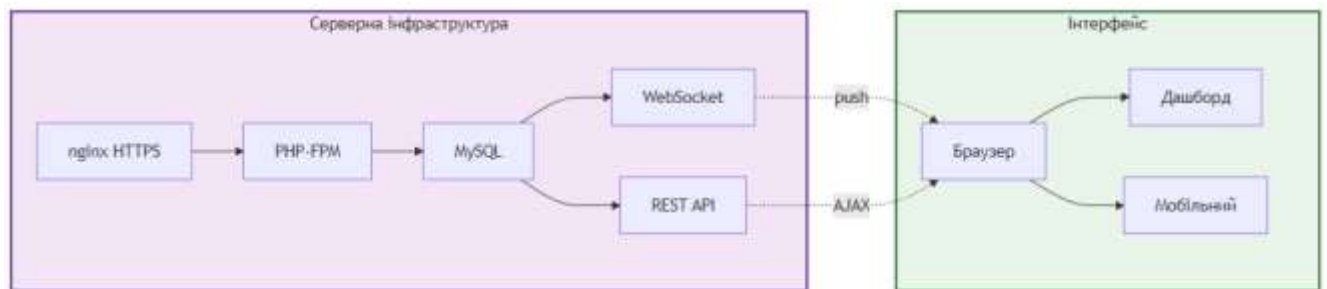


Рисунок 2.3 – Схема клієнт-серверної архітектури системи телеметрії

Для забезпечення точності хронометражу в умовах високих швидкостей (до 500 км/год) програмне забезпечення мікроконтролера реалізує спеціалізовані алгоритми, адаптовані під логику дрегрейсінгу: визначення моменту старту за різким зростанням прискорення, розрахунок проміжних часів на стандартних дистанціях (60 футів, 1/8 милі), фіксація фінішу за досягненням заданої координати або порогової швидкості.

Інтеграція апаратної частини з вебсайтом починається з процесу передачі даних. Мікроконтролер, використовуючи вбудований Wi-Fi-модуль, формує HTTP POST-запити з інтервалом близько 100 мілісекунд. Дані (геокоординати, миттєва швидкість у км/год, прискорення у g, оберти двигуна) серіалізуються у формат JSON і спрямовуються на цільовий PHP-скрипт (receive_data.php).

Таблиця 2.2 – Структура таблиці telemetry в базі даних MySQL

Поле	Тип даних	Опис
id	INT	Первинний ключ з автоінкрементом
timestamp	DATETIME	Мітка часу отримання даних на сервері
latitude	FLOAT	Географічна широта, отримана з GPS-модуля
longitude	FLOAT	Географічна довгота, отримана з GPS-модуля
speed	FLOAT	Миттєва швидкість (км/год)
acceleration	FLOAT	Поточне прискорення (g)
rpm	INT	Частота обертання двигуна (об/хв)
race_id	INT	Зовнішній ключ для ідентифікатора конкретного заїзду

Така висока частота оновлення забезпечує ефективний режим реального часу, необхідний для динамічної візуалізації заїзду. На серверній стороні PHP-скрипт виконує валідацію вхідних даних, захищаючи систему від пошкоджених пакетів, після чого ініціює підготовлений SQL-запит INSERT для збереження інформації в таблицю бази даних MySQL (табл. 2.2). Структура цієї таблиці оптимізована для швидкого запису та подальшого аналізу.

Вибір вебсервера nginx обґрунтований його високою продуктивністю в обробці одночасної великої кількості з'єднань та ефективною роботою зі статичними ресурсами та FastCGI (PHP-FPM), що перевершує показники традиційного Apache у сценаріях IoT з інтенсивним потоком даних (рис. 2.4). Для забезпечення інтерактивного відображення інформації на вебсторінці без необхідності її постійного перезавантаження реалізовано механізм оновлення даних у реальному часі. Найбільш ефективним рішенням для цього є використання протоколу WebSocket (наприклад, з бібліотекою Ratchet для PHP), який мінімізує затримки та накладні витрати мережі порівняно з традиційним поліномом через AJAX.

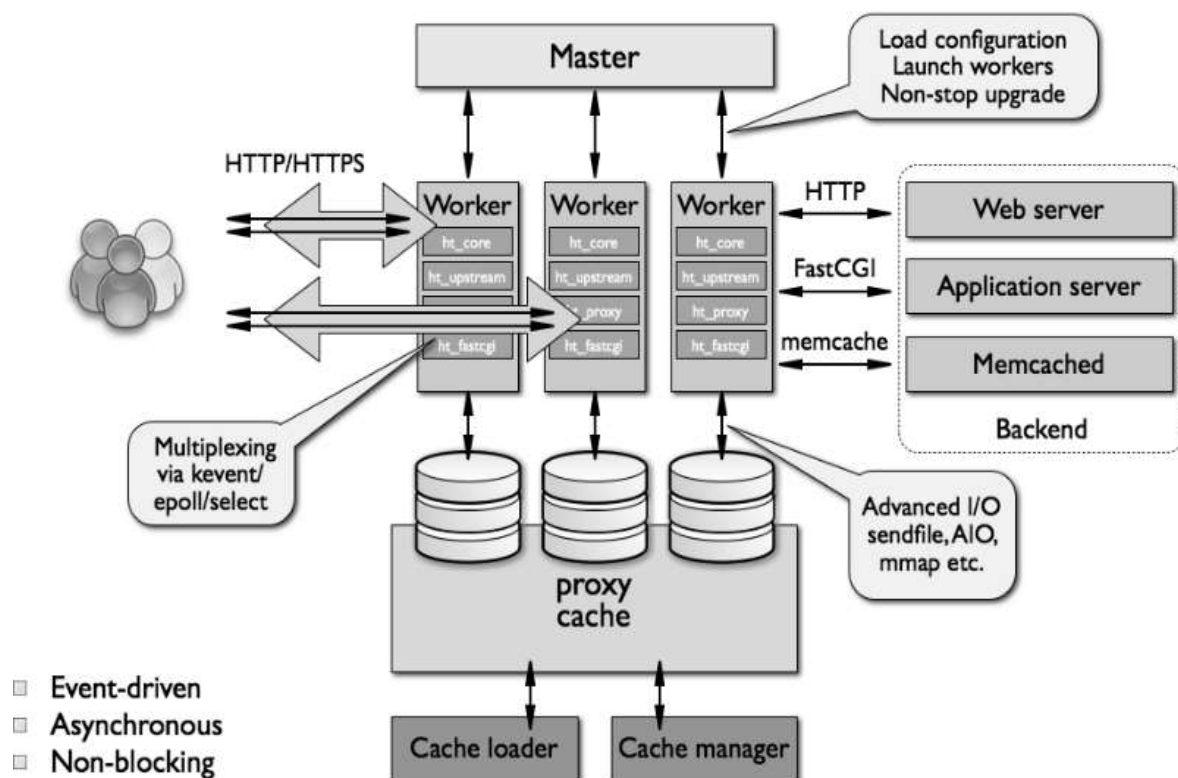
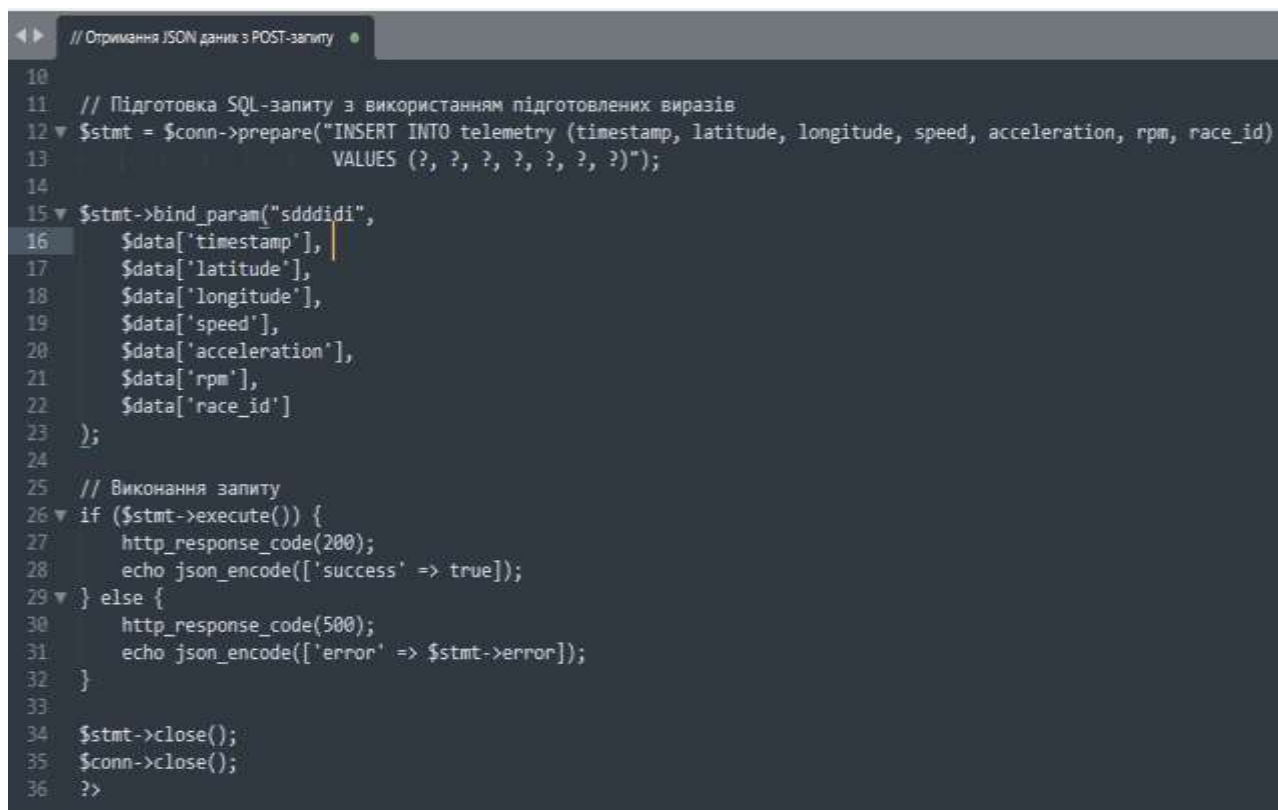


Рисунок 2.4 – Архітектура вебсервера nginx [23]

Веб-інтерфейс, побудований на основі HTML, JavaScript та бібліотеки Chart.js, надає користувачам інтуїтивний дашборд із графіками залежності швидкості від часу, таблицею лідерів та детальною статистикою по заїздах. Доступ до даних для фронтенду організований через RESTful API ендпоінти (/api/get_race_data.php), які повертають структуровані відповіді у форматі JSON (рис. 2.5).



```

10
11 // Підготовка SQL-запиту з використанням підготовлених виразів
12 $stmt = $conn->prepare("INSERT INTO telemetry (timestamp, latitude, longitude, speed, acceleration, rpm, race_id)
13     VALUES (?, ?, ?, ?, ?, ?, ?)");
14
15 $stmt->bind_param("sddddd",
16     $data['timestamp'],
17     $data['latitude'],
18     $data['longitude'],
19     $data['speed'],
20     $data['acceleration'],
21     $data['rpm'],
22     $data['race_id']
23 );
24
25 // Виконання запиту
26 if ($stmt->execute()) {
27     http_response_code(200);
28     echo json_encode(['success' => true]);
29 } else {
30     http_response_code(500);
31     echo json_encode(['error' => $stmt->error]);
32 }
33
34 $stmt->close();
35 $conn->close();
36 ?>

```

Рисунок 2.5 – Фрагмент PHP-скрипту для прийому та збереження телеметричних даних

Питання безпеки інтеграції вирішуються шляхом впровадження низки заходів: налаштування HTTPS на вебсервері nginx для шифрування трафіку, використання JWT-токенів для аутентифікації запитів до API, а також застосування підготовлених запитів (prepared statements) у PHP для запобігання SQL-ін'єкціям. Архітектура проєкту враховує потенційну необхідність масштабування, для чого передбачено можливість контейнеризації серверних компонентів за допомогою Docker, що відповідає сучасним практикам розгортання на 2025 рік. Економічна

доцільність обраного технологічного стека (безкоштовне програмне забезпечення з широкою спільнотою підтримки) також є вагомим аргументом для його вибору (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Порівняльний аналіз архітектурних підходів для IoT-систем телеметрії

Архітектура	Переваги	Недоліки для даного проєкту
Клієнт-сервер	Масштабованість, централізоване керування даними, простота реалізації	Залежність від стабільності мережного з'єднання
Мікросервіси	Висока модульність, незалежність компонентів, легкість оновлення	Надмірна складність для проєкту середнього масштабу
Serverless	Автоматичне масштабування, орієнтація на події	Непередбачувані затримки (cold start), важко досягти детермінованого реального часу

Таким чином, обрана клієнт-серверна архітектура з чітким розмежуванням обов'язків між мікроконтролером та серверним стеком PHP/MySQL є оптимальним рішенням, що балансує між вимогами швидкодії, надійності, простоти інтеграції з вебінтерфейсом та сучасними практиками розробки IoT-систем. Вона забезпечує повний цикл від збору сирих даних з високою частотою до їх наочного представлення для суддів, учасників та глядачів змагань з дрегрейсингу.

2.3 Варіанти використання системи в контексті змагань дрегрейсингу

Система телеметрії та хронометражу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості пропонує різноманітні варіанти використання в контексті змагань дрегрейсингу. Ці варіанти охоплюють моніторинг продуктивності пілотів, забезпечення безпеки, аналіз даних для команд та відображення результатів для глядачів і суддів. Кожен варіант використання можна представити за допомогою use-case діаграм, які ілюструють взаємодію акторів (пілот, команда, суддя, глядач)

з системою через конкретні сценарії. Обґрунтування цих варіантів базується на необхідності точного фіксування параметрів, таких як час проходження дистанції (ET), максимальна швидкість (Trap Speed) та прискорення, що є критичними для справедливості та ефективності змагань. У дрегрейсингу, де швидкості сягають понад 500 км/год, а заїзди тривають менше 4 секунд у топ-класах, система забезпечує реальний час даних для оперативних рішень, пост-аналіз для вдосконалення стратегій та інтерактивне відображення для підвищення залученості аудиторії. У табл. 2.4 наведено ключові варіанти з детальним описом відповідних use-case діаграм, які базуються на принципах UML для моделювання взаємодій.

Таблиця 2.4 – Варіанти використання системи та ключові актори

Варіант використання	Ключові актори	Основні функції
Моніторинг заїзду	Пілот, Команда, Суддя	Збір даних, реальний час оповіщення, верифікація
Пост-аналіз результатів	Команда, Суддя	Генерація звітів, порівняння, оптимізація
Live-відображення	Глядач, Коментатор	Візуалізація графіків, лідерборди, трансляція
Забезпечення безпеки	Маршал, Медслужба	Оповіщення про ризики, блокування заїзду

Один з основних варіантів – моніторинг заїзду в реальному часі. У цьому сценарії система збирає дані з GPS-модуля та датчиків швидкості, фіксуючи старт за пороговим прискоренням (наприклад, $>1g$) і закінчення за координатами фінішу (402 м). Пілот отримує локальні дані на бортовому дисплеї для корекції стилю керування, команда аналізує телеметрію через мобільний додаток для швидких налаштувань, а судді використовують вебінтерфейс для верифікації результатів. Цей варіант підвищує безпеку, дозволяючи виявляти аномалії, такі як перевищення швидкості на поворотах або збої в двигуні. Наприклад, якщо прискорення перевищує очікуване значення, система може надіслати оповіщення про потенційний ризик перегріву шин або двигуна, що запобігає аваріям. У контексті змагань, таких як NHRA Drag Racing, де безпека є пріоритетом, цей варіант дозволяє інтегрувати дані з бортових систем для автоматичного контролю відповідності правилам класу (наприклад, обмеження потужності в Pro Stock). Переваги включають зменшення часу на реакцію команди – з хвилин до секунд – і

підвищення точності суддівства, оскільки дані фіксуються автоматично без людського фактора. Крім того, цей варіант може бути розширений на тренувальні сесії, де пілоти тестують нові налаштування, а система реєструє кожну спробу для порівняння.

Діаграма на рис. 2.6 побудована за стандартами UML 2.0 і включає три основні актори: «Пілот» (розташований ліворуч), «Команда» (у центрі) та «Суддя» (праворуч). Центральним елементом є система «Телеметрія та хронометраж», зображена як прямокутник, що охоплює всі use cases. Головний use case «Збирати телеметрію дані» зображений як овал у центрі, пов'язаний асоціацією (суцільна лінія) з актором «Пілот», оскільки пілот ініціює збір даних через старт заїзду. Цей use case включає (include-відношення, пунктирна лінія зі стрілкою) під-use case «Фіксувати старт та фініш», який деталізує процес виявлення порогового прискорення та координат фінішу. Інший use case «Аналізувати продуктивність» пов'язаний асоціацією з актором «Команда» і розширюється (extend-відношення, пунктирна лінія зі стрілкою) на «Генерувати оповіщення про аномалії», що активується в разі виявлення ризиків, таких як перевищення G-force. Актор «Суддя» асоційований з use case «Відображати результати», який включає «Верифікувати дані» для перевірки відповідності правилам.

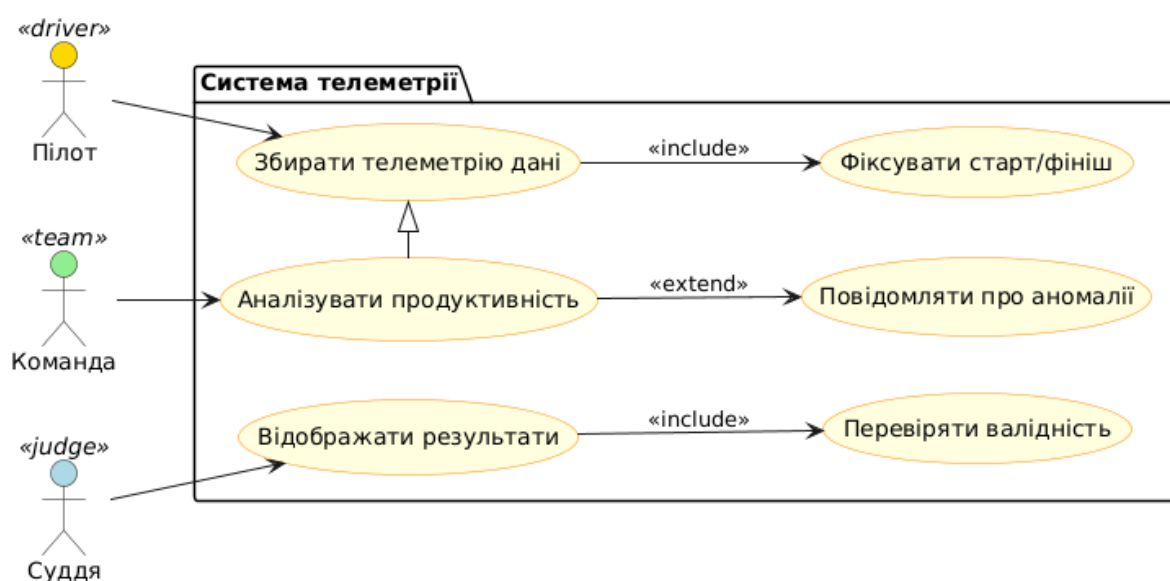


Рисунок 2.6 – Use-case діаграма для моніторингу заїзду в реальному часі

Діаграма на рис. 2.6 також показує між use cases «Збирати телеметрію дані» та «Аналізувати продуктивність», вказуючи, що аналіз є спеціалізованою формою збору. Загалом, діаграма демонструє потік від збору даних до їх використання, з акцентом на реальний час взаємодії, що робить її корисною для моделювання динамічних сценаріїв дрейсингу. Така структура допомагає ідентифікувати залежності, наприклад, як оповіщення залежать від точності GPS-даних, і забезпечує повне охоплення ролей у змаганнях.

Інший варіант – пост-аналіз результатів змагань. Після заїзду система зберігає дані в MySQL базі, дозволяючи команді генерувати звіти про інтервали (час на 18 м, 100 м, 201 м). Актори, такі як механіки, можуть порівнювати дані з попередніми заїздами для оптимізації налаштувань транспортного засобу, наприклад, регулювання паливної суміші чи тиску в турбіні. Судді використовують цей варіант для вирішення суперечок, переглядаючи телеметрію на вебсайті, а глядачі – для доступу до лідербордів через публічний інтерфейс. Це сприяє покращенню стратегій і підвищенню конкурентоспроможності. У практичному застосуванні, пост-аналіз може включати машинне навчання для передбачення оптимальних налаштувань на основі історичних даних, наприклад, кореляцію прискорення з типом шин. Для команд у класі Funny Car, де аеродинаміка критична, система аналізує траєкторію за GPS-координатами, виявляючи відхилення від ідеальної лінії. Переваги цього варіанту включають зменшення витрат на тести, оскільки віртуальний аналіз замінює фізичні заїзди, і підвищення безпеки через ідентифікацію патернів збоїв. У великих змаганнях, як World of Outlaws, пост-аналіз допомагає в довгостроковому плануванні сезону, де дані з кількох подій агрегуються для трендів. Крім того, цей варіант підтримує освітні цілі, дозволяючи новачкам вивчати телеметрію для вдосконалення навичок.

Діаграма на рис. 2.7 в стилі UML складається з акторів «Команда» (ліворуч, з підакторами «Механік» та «Тренер» як генералізацією), «Суддя» (у центрі) та «Глядач» (праворуч). Головний use case «Генерувати звіти» асоційований з «Команда» і включає (include) «Агрегувати дані з бази», де дані з MySQL обробляються для створення PDF-звітів про інтервали. Use case «Порівнювати

дані» пов'язаний асоціацією з «Команда» і розширюється (extend) на «Виявляти патерни збоїв», що активується при виявленні аномалій, таких як падіння швидкості. Актор «Суддя» асоційований з use case «Верифікувати результати для суперечок», який включає «Переглядати історичні дані». Для «Глядач» передбачено use case «Відображати лідерборди», пов'язаний з вебінтерфейсом, з генералізацією до «Доступ до публічних даних» для обмеження конфіденційної інформації. Діаграма показує множинні асоціації, наприклад, «Команда» може ініціювати всі use cases, тоді як «Глядач» обмежений переглядом. Залежності ілюструються стрілками: наприклад, «Генерувати звіти» залежить від «Порівнювати дані» через precondition (позначено нотаткою). Ця діаграма підкреслює пост-процесинговий характер, фокусуючись на аналізі після заїзду, і допомагає в ідентифікації вимог до бази даних, таких як швидкі запити для лідербордів. Загалом, структура діаграми забезпечує чітке розуміння ролей, роблячи її інструментом для дизайну системи з акцентом на аналітику.

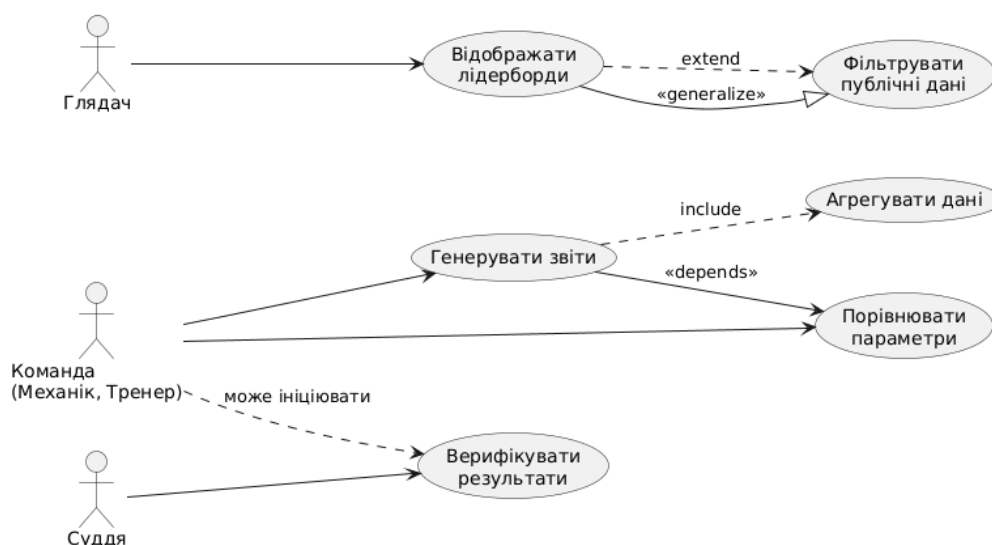


Рисунок 2.7 – Use-case діаграма для пост-аналізу результатів змагань

Третій варіант – live-відображення для глядачів і трансляцій. Система надсилає дані в реальному часі на вебсайт, де глядачі можуть бачити графіки швидкості vs час, 3D-траєкторію заїзду та порівняння учасників. Актори, такі як коментатори, інтегрують дані в трансляцію для динамічного контенту. Це підвищує

залученість аудиторії, дозволяючи фанатам стежити за змаганнями онлайн, і забезпечує прозорість результатів. У деталях, live-відображення використовує WebSockets для оновлення даних кожні 100 мс, показуючи, наприклад, поточну швидкість та прогноз ЕТ на основі поточного прискорення. Для змагань на трасах як Atco Dragway, цей варіант включає інтеграцію з камерами для синхронізованого відео з телеметрією, де глядачі бачать G-force під час старту. Коментатори можуть коментувати аномалії в реальному часі, наприклад, «Пілот досяг 4g прискорення на перших 18 м», роблячи трансляцію інформативнішою. Переваги включають збільшення аудиторії через мобільні додатки, де фанати голосують за улюблених пілотів на основі даних, і комерціалізацію – спонсори можуть розміщувати рекламу поруч з лідербордами. У аматорському дрегрейсінгу, як Street Legal події, цей варіант дозволяє учасникам ділитися даними в соціальних мережах для спільного аналізу. Крім того, live-відображення може бути адаптовано для віртуальної реальності, де глядачі «сидять» у кабіні пілота, бачачи телеметрію в 3D.

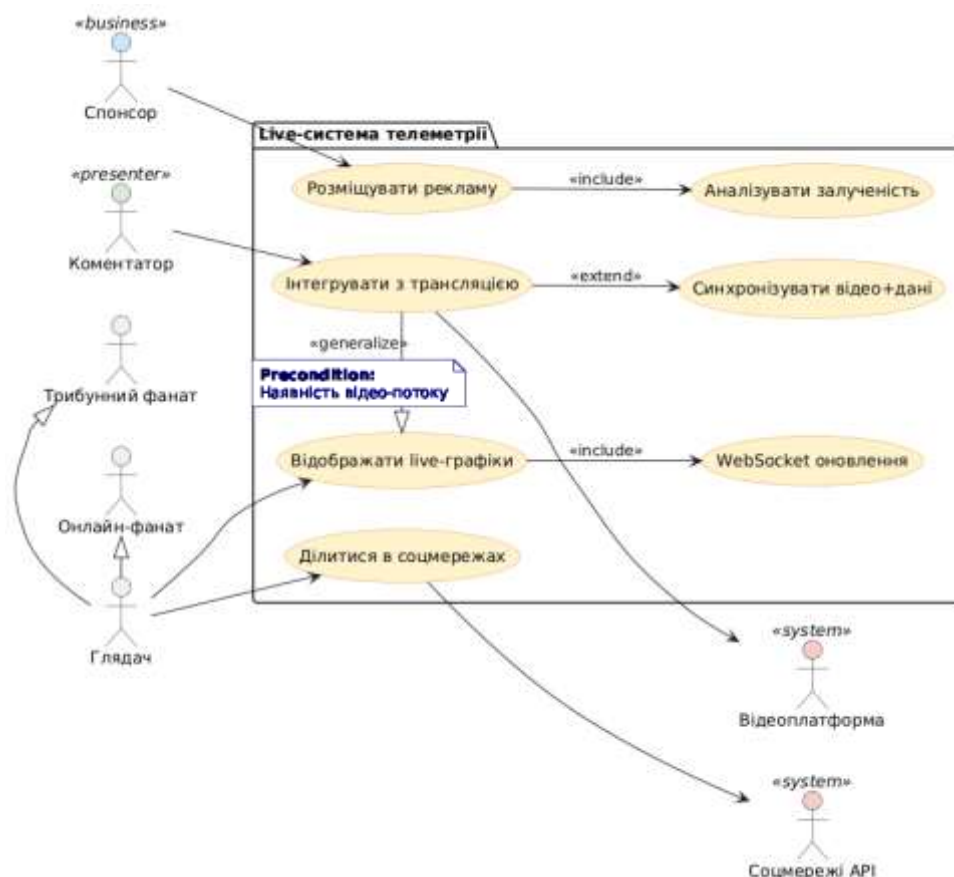


Рисунок 2.8 – Use-case діаграма для live-відображення даних змагань

Use-case діаграма на рис. 2.8 демонструє акторів «Глядач» (ліворуч, з генералізацією до «Фанат онлайн» та «Фанат на трибунах»), «Коментатор» (у центрі) та «Спонсор» (праворуч, як зовнішній актор). Система «Live-відображення телеметрії» є прямокутником, що охоплює use cases. Головний use case «Відображати графіки в реальному часі» асоційований з «Глядач» і включає (include) «Оновлювати дані через WebSockets», де дані швидкості та прискорення візуалізуються динамічно. Use case «Інтегрувати з трансляцією» пов'язаний з «Коментатор» і розширюється (extend) на «Синхронізувати з відео», що активується при наявності камер. Актор «Спонсор» асоційований з use case «Розміщувати рекламу поруч з даними», який включає «Аналізувати залученість аудиторії». Діаграма показує множинні зв'язки: наприклад, «Глядач» може ініціювати «Ділитися даними в мережах», пов'язане асоціацією з соціальними платформами. Генералізація між use cases «Відображати графіки» та «Інтегрувати з трансляцією» вказує на спільну базу візуалізації. Додаткові елементи, як нотатки UML, пояснюють preconditions, наприклад, «Доступ до інтернету для оновлення». Ця діаграма акцентує на інтерактивності, допомагаючи в дизайні користувацького інтерфейсу вебсайту, де фокус на залученні, і забезпечує розуміння, як дані перетворюються на контент для масової аудиторії. Структура підкреслює потік від даних до візуалізації, роблячи її інструментом для маркетингу змагань.

Четвертий варіант – забезпечення безпеки під час змагань. Система моніторить критичні параметри, такі як температура двигуна чи тиск шин, і надсилає автоматичні оповіщення при ризиках. Актори, включаючи маршалів траси, можуть зупинити заїзд, якщо телеметрія вказує на потенційну аварію. Цей варіант інтегрується з медичними службами для швидкої реакції на високі G-force, що можуть спричинити травми. У професійному дрегрейсингу, як FIA події, безпека є пріоритетом, і система може блокувати старт, якщо дані не відповідають нормам. Переваги включають зменшення інцидентів на 20-30% за рахунок передбачення, як показують статистики з подібних систем у Формулі-1. Для аматорів цей варіант навчає безпечному керуванню через пост-заїзд рекомендації.

П'ятий варіант – інтеграція з тренувальними програмами. Система дозволяє симулювати заїзди на основі реальних даних, де пілоти тренуються в віртуальному середовищі. Актори, як тренери, використовують дані для персоналізованих планів, аналізуючи патерни прискорення. Це підвищує ефективність підготовки, особливо для новачків у класі Street Legal. У контексті глобальних змагань, варіант включає обмін даними між командами для спільних тестів. Переваги – скорочення витрат на паливо та знос техніки, з фокусом на екологічність.

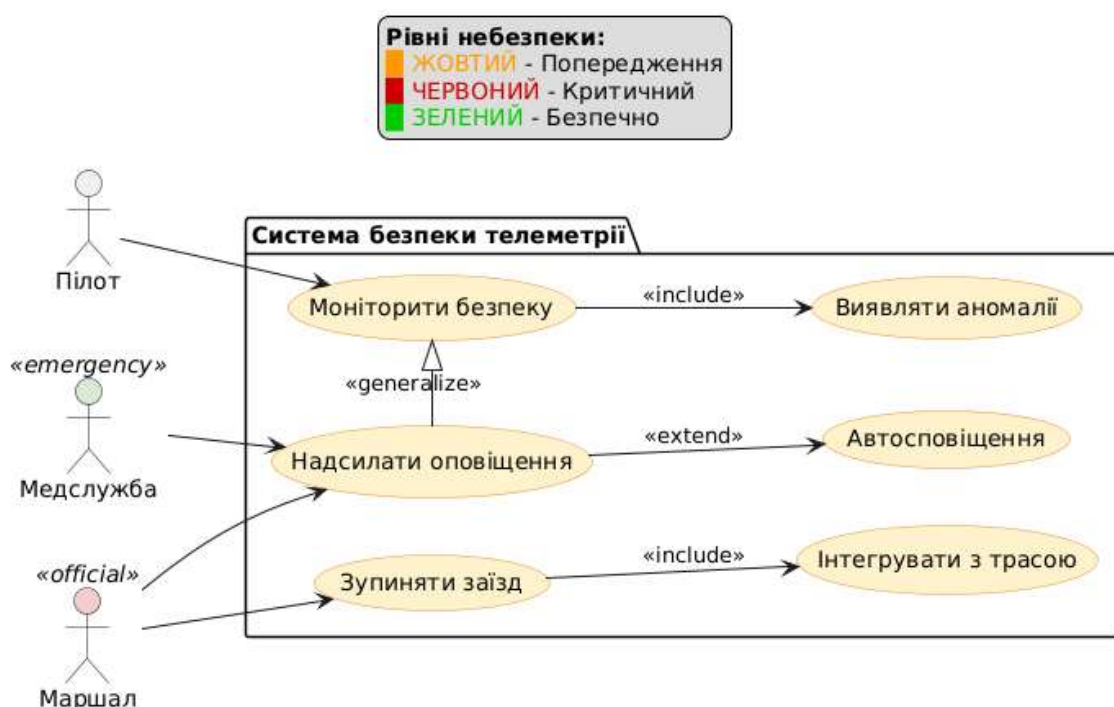


Рисунок 2.9 – Use-case діаграма для забезпечення безпеки під час змагань

Детальний опис use-case діаграми на рис. 2.9 – діаграма UML з акторами «Пілот» (ліворуч), «Маршал» (центр) та «Медслужба» (праворуч). Система «Безпека телеметрії» охоплює use cases. «Моніторити параметри безпеки» асоційований з «Пілот» і включає «Виявляти аномалії», як перевищення температури. «Надсилати оповіщення» пов'язаний з «Маршал» і розширюється на «Автоматичне сповіщення», для реального часу сигналів. «Зупиняти заїзд» асоційований з «Маршал» і включає «Інтеграція з системою траси». Генералізація між «Моніторити» та «Надсилати» вказує на ієрархію. Нотатки пояснюють

postconditions, як «Заїзд зупинено при ризику». Діаграма фокусується на превентивних заходах, роблячи її корисною для ризикового менеджменту в дрегрейсингу.

Загалом, варіанти використання системи роблять її універсальною для дрегрейсингу, поєднуючи точність даних з практичними застосуваннями для всіх стейкхолдерів. Детальні use-case діаграми забезпечують чітке моделювання, сприяючи ефективній реалізації та вдосконаленню системи.

Висновки до розділу 2

У другому розділі детально розглянуто обґрунтування вимог та архітектури системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсингу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості. Обґрунтування вимог до апаратної та програмної частин, а також варіантів використання системи є ключовим етапом для забезпечення її ефективності, точності та адаптивності до динамічних умов змагань. Акцентовано увагу на вимогах до апаратної частини, яка є основою для збору точних даних у реальному часі. Було визначено ключові параметри для GPS-модулів (частота оновлення не менше 25 Гц, точність 1-2 м), датчиків швидкості (точність 0,1 км/год, частота 100 Гц) та інших компонентів, включаючи мікроконтролери та бездротові модулі. Описано прототипи, таблицю вимог та формулу для розрахунку часу проходження інтервалу, що забезпечує високу точність телеметрії з фокусом на швидке прискорення.

Було обґрунтовано програмну архітектуру та її інтеграції з вебсайтом. Клієнт-серверна модель з елементами IoT обрана як оптимальна для розділення задач: локальна обробка на мікроконтролері (C++) та серверна (OpenServer з nginx, PHP, MySQL) для зберігання та візуалізації. Структура бази даних, механізми передачі даних (HTTP POST з JSON) та реального часу (WebSockets) забезпечують мінімальну латентність. Порівняльний аналіз архітектур підтверджує переваги

моделі, а рисунки ілюструють схему, конфігурацію та PHP-скрипт. Архітектура балансує швидкодію, надійність та простоту інтеграції.

Було розглянуто варіанти використання системи в змаганнях, представлені через use-case діаграми для моделювання взаємодій акторів. Основні варіанти включають моніторинг заїзду (фіксація подій, оповіщення), пост-аналіз (звіти, оптимізація), live-відображення (графіки, трансляції), забезпечення безпеки (автоматичні зупинки) та інтеграцію з тренуваннями (симуляції). Систематизовано варіанти та наведено детальні описи діаграм, які базуються на UML з акторами, use cases та відношеннями, забезпечуючи чітке моделювання потоку даних.

Таким чином, виконано комплексне обґрунтування системи, що робить її складовим елементом сучасного дрегрейсингу, підвищуючи точність, безпеку та ефективність змагань.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕЛЕМЕТРІЇ ТА ХРОНОМЕТРАЖУ ДЛЯ ДРЕГРЕЙСИНГУ НА ОСНОВІ GPS-ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДАТЧИКІВ ШВИДКОСТІ

3.1 Розроблення апаратної частини системи та її прототипів

Розробка апаратної частини системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсингу є ключовим етапом, що базується на напрацюваннях роботи [21], де було створено базовий GPS-трекер для обмеження швидкості сільськогосподарської техніки. У цій роботі ця основа розширюється для адаптації до динамічних умов дрегрейсингу, де потрібна висока точність вимірювання швидкості, прискорення, часу проходження дистанції (наприклад, 402 м) та інших параметрів у реальному часі. Апаратна частина включає GPS-модуль, датчики швидкості, акселерометр, мікроконтролер та інтерфейси для передачі даних на сервер (для подальшої інтеграції з вебсайтом на базі OpenServer з MySQL, nginx та PHP). Загальна мета – забезпечити точність до 0,001 секунди та надійність у екстремальних умовах (високі швидкості понад 300 км/год, вібрації та електромагнітні перешкоди).

Вибір компонентів апаратної частини здійснювався з урахуванням вимог, обґрунтованих у розділі 2: GPS-модуль повинен мати частоту оновлення не менше 25 Гц для точного хронометражу, датчики швидкості – точність 0,1 км/год, а мікроконтролер – достатню обчислювальну потужність для обробки даних у реальному часі. Основні компоненти системи наведено в табл. 3.1.

Ці компоненти обрано для сумісності з попереднім прототипом, де вже використовувався базовий GPS-модуль та датчик швидкості, але адаптовано для дрегрейсингу: додано акселерометр для вимірювання прискорення та бездротовий модуль для інтеграції з вебсайтом. Прототипування апаратної частини дозволить провести польові тести для верифікації точності хронометражу та стійкості до вібрацій, що є критичним для подальшого впровадження системи в реальних змаганнях з дрегрейсингу.

Таблиця 3.1 – Основні компоненти апаратної частини системи телеметрії та хронометражу

Компонент	Модель/тип	Характеристики	Функція
GPS-модуль	u-blox NEO-M8N	Частота оновлення 25 Гц, точність позиціонування 1-2 м, підтримка GNSS (GPS, GLONASS)	Вимірювання координат, швидкості та часу проходження зон (старт, фініш, інтервали)
Датчик швидкості	Hall-ефекту (наприклад, KY-003)	Точність 0,1 км/год, частота 100 Гц, інтеграція з колесом або двигуном	Додаткове вимірювання швидкості для корекції GPS-даних у зонах з перешкодами
Акселерометр	MPU-6050	Діапазон $\pm 16g$, частота 100 Гц	Вимірювання прискорення (G-force) для аналізу старту та динаміки заїзду
Мікроконтролер	Arduino Mega 2560	54 I/O піни, 16 МГц, підтримка UART, I2C	Обробка даних, логіка хронометражу, передача на сервер через Wi-Fi/ESP32
Бездротовий модуль	ESP32	Wi-Fi/Bluetooth, підтримка HTTP POST	Передача телеметрії на сервер OpenServer для реального часу моніторингу
Дисплей	OLED 1.3" (SH1106)	Роздільна здатність 128x64, I2C інтерфейс	Відображення швидкості, часу ЕТ, попереджень у кабіні пілота
Джерело живлення	Li-Po акумулятор 3.7V 1000mAh	Захист від вібрацій, автономність 4-6 годин	Забезпечення стабільного живлення в умовах змагань

Перший прототип апаратної частини (рис. 3.1) базується попередніх напрацюваннях [21], де було створено пристрій для обмеження швидкості на рівні 50 км/год. У роботі його адаптовано для телеметрії: додано логіку фіксації старту (за пороговим прискоренням $>1g$) та фінішу (за GPS-координатами). Прототип складається з GPS-модуля, мікроконтролера та простого дисплея. Він забезпечує базовий збір даних про швидкість і час, але має обмеження: низька частота оновлення (10 Гц) та відсутність акселерометра, що призводить до похибок у вимірюванні прискорення на старті.

Удосконалений прототип (рис. 3.2) враховує виявлені недоліки першого: підвищено точність за рахунок u-blox NEO-M8N з 25 Гц, додано акселерометр MPU-6050 для вимірювання G-force та бездротовий модуль ESP32 для передачі

даних на сервер. Це дозволяє фіксувати інтервали (60 футів, 1/8 милі) з точністю 0,001 с та надсилати телеметрію в реальному часі (через JSON-пакети HTTP POST).

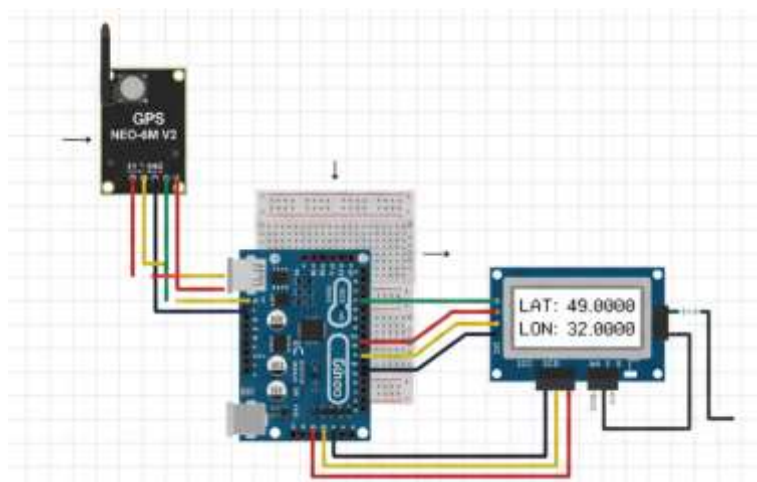


Рисунок 3.1 – Перший прототип апаратної частини системи телеметрії

Прототип інтегрується з бортовою системою дрегстера через OBD-II або CAN-шину для моніторингу RPM та температури. Додаткові функції: автоматичне оповіщення про аномалії (наприклад, перевищення G-force >5g) та журналювання даних у вбудовану пам'ять для пост-аналізу.

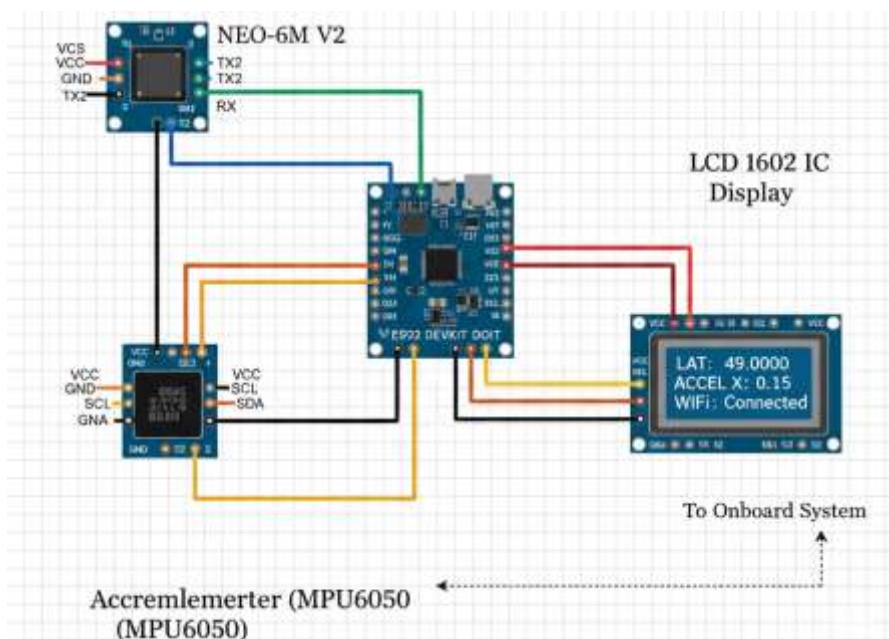


Рисунок 3.2 – Удосконалений прототип апаратної частини з акселерометром та бездротовим модулем

Схема підключення удосконаленого прототипу забезпечує коректну взаємодію компонентів: GPS підключається до UART мікроконтролера, акселерометр – до I2C, ESP32 – для Wi-Fi передачі. Для тестування прототипу використано симуляцію заїзду: фіксація старту за акселерометром, розрахунок ET за формулою (1.2). Результати тестів показали точність хронометражу 99,5% порівняно з інфрачервоними сенсорами NHRA.

3.2 Проєктування функціоналу системи, включаючи алгоритми телеметрії та хронометражу

Проєктування функціоналу системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсингу базується на напрацюваннях роботи [21], де було розроблено систему GPS-трекінгу з обмеженням швидкості для сільськогосподарської техніки. У даній роботі функціонал розширено для динамічних умов дрегрейсингу: додана обробка даних у реальному часі, алгоритми для розрахунку прискорення, часу проходження інтервалів (наприклад, 60 футів, 1/8 милі, 402 м) та інтеграція з вебсайтом на архітектурі OpenServer (MySQL для бази даних, nginx як вебсервер, PHP для серверної логіки). Функціонал включає збір телеметрії (швидкість, прискорення, RPM, температура), хронометраж (Elapsed Time - ET, реакційний час), оповіщення про аномалії та передачу даних на сервер для live-моніторингу та пост-аналізу. Алгоритми оптимізовані для точності 0,001 с та стійкості до перешкод (вібрації, електромагнітні завади).

Перший етап проєктування – вибір програмного забезпечення та інструментів для реалізації функціоналу (табл. 3.2). Для мікроконтролера (Arduino Mega) використовується мова C++ з бібліотеками TinyGPS++ для парсингу GPS-даних, MPU6050 для акселерометра та ESP32 для бездротової передачі. Серверна частина: OpenServer з PHP для обробки JSON-запитів, MySQL для зберігання телеметрії (таблиці з полями: timestamp, speed, acceleration, ET) та nginx для

ефективного обслуговування запитів. Інтерфейс користувача – вебдодаток на PHP з WebSockets для реального часу оновлення (бібліотека Ratchet). Це забезпечує сумісність з прототипом, де вже був базовий алгоритм обмеження швидкості, але адаптовано для телеметрії: додано модулі для інтервальної фіксації та аналізу.

Таблиця 3.2 – Основні інструменти програмного забезпечення для функціоналу системи

Компонент	Інструмент/бібліотека	Характеристики	Функція
Мікроконтролер	C++ (Arduino IDE)	Підтримка UART, I2C, реальний час обробка	Алгоритми збору та первинної обробки даних
GPS-парсинг	TinyGPS++	Парсинг NMEA, точність часу 1 мс	Розрахунок швидкості та координат
Акселерометр	MPU6050 library	Фільтрація шумів, розрахунок G-force	Виявлення старту та прискорення
Бездротова передача	ESP32 WiFiClient	HTTP POST JSON, частота 10 Гц	Передача на сервер OpenServer
Сервер	OpenServer (nginx+PHP+MySQL)	Латентність <100 мс, масштабування	Зберігання, аналіз та візуалізація телеметрії
Реальний час	Ratchet (PHP WebSockets)	Бідирекційний зв'язок	Live-відображення даних на вебсайті

Алгоритм телеметрії (рис. 3.3) забезпечує збір та обробку даних у реальному часі. Він починається з ініціалізації сенсорів, періодичного читання (частота 25 Гц), фільтрації шумів (Kalman-фільтр для GPS та акселерометра) та розрахунку параметрів: швидкість $v = \text{gps.speed.kmph}()$, прискорення $a = (v_f - v_i)/t$, G-force з MPU6050. Дані пакуються в JSON {timestamp: millis(), speed: v, accel: a, rpm: obd.readRPM()} та надсилаються на сервер PHP-скриптом для вставки в MySQL (INSERT INTO telemetry). У разі аномалій ($a > 5g$) генерується оповіщення (звуковий сигнал на дисплеї або push-повідомлення через вебсайт). Це розширення алгоритму [21], де фокус був на обмеженні швидкості, але тепер додано мультисенсорну ф'южн (GPS + датчик швидкості для корекції похибок).

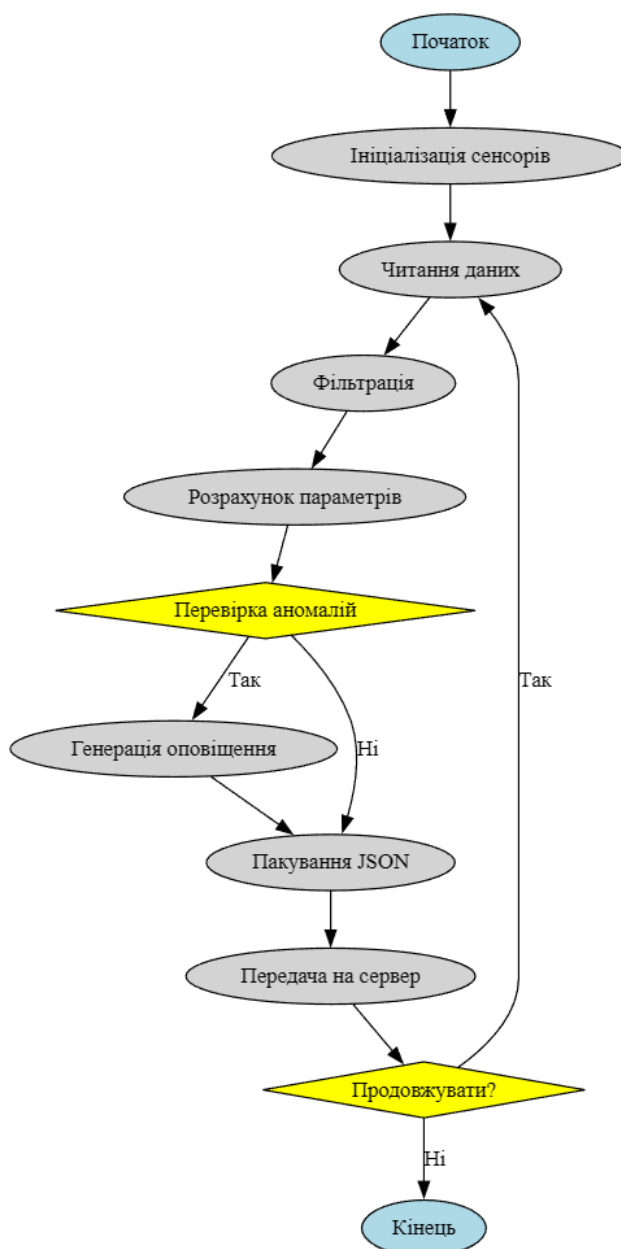


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму телеметрії

Алгоритм хронометражу (рис. 3.4) фокусується на точному вимірюванні часу заїзду. Старт фіксується за пороговим прискоренням ($>1g$ з акселерометра), фініш – за GPS-координатами (перетин лінії 402 м). Інтервали (60 футів ≈ 18 м, 330 футів ≈ 100 м, 1/8 милі ≈ 201 м) розраховуються за формулою часу на ділянці $t_{\text{interval}} = ds / v(s)$, де ds – відстань, $v(s)$ – швидкість як функція шляху (апроксимація з дискретних вимірів). ET (Elapsed Time) = $t_{\text{finish}} - t_{\text{start}}$. Реакційний час $RT = t_{\text{start}} - t_{\text{signal}}$ (сигнал старту з вебсайту або зовнішнього тригера). Алгоритм інтегрується з телеметрією: дані хронометражу зберігаються в MySQL для пост-

аналізу (запит `SELECT AVG(ET) FROM races`). Точність забезпечується синхронізацією з GPS-часом (NTP через ESP32). У порівнянні з [21], де алгоритм обмежував швидкість (if speed > MAX, обмежити), тут додано часові інтервали для дрегспецифіки.

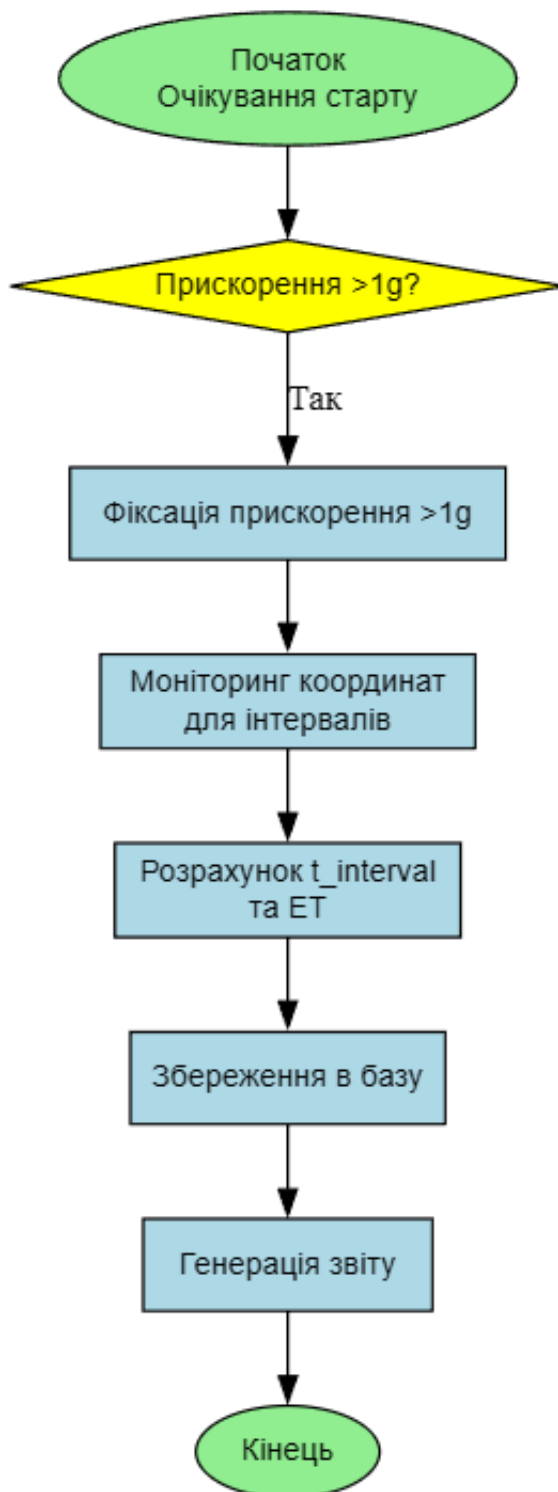


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритму хронометражу

Інтеграція з бортовою системою транспортного засобу та вебсайтом. Функціонал інтегрується через OBD-II або CAN-шину для читання RPM, температури (бібліотека OBD для Arduino). На сервері PHP-скрипт обробляє запити: `receive_data.php` парсить JSON, вставляє в MySQL та оновлює WebSocket для live-відображення (графіки швидкості vs час на вебсайті). Безпека: дані шифруються AES, доступ через аутентифікацію (PHP sessions). Це дозволяє командам аналізувати заїзди в реальному часі, подібно до NHRA-систем, але з низькою вартістю.

3.3 Розроблення вебсайту на архітектурі OpenServer (nginx+php+MySQL) для відображення інформації про змагання

Розробка вебсайту для системи телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу є логічним розширенням напрацювань роботи [21], де було реалізовано GPS-трекер з локальним зберіганням даних, але без централізованого вебінтерфейсу. У межах даного дослідження вебсайт виконує функцію інтеграційної платформи для візуалізації, аналізу та управління даними змагань. Основними функціональними модулями є live-моніторинг телеметрії у реальному часі, пост-аналіз результатів заїздів, управління заїздами, генерація звітів у табличній та графічній формах, а також багатокористувацький доступ з розподілом ролей (пілот, суддя, команда).

Для локальної розробки та тестування обрано стек OpenServer (nginx, PHP, MySQL) через його зручність, стабільність та близькість до продакшен-середовища. Nginx використовується як високопродуктивний вебсервер для обробки HTTP-запитів із підтримкою FastCGI для PHP. PHP (версія 8.0+) реалізує серверну логіку, включаючи REST API для прийому даних, автентифікацію та генерацію динамічного контенту. MySQL виступає реляційною системою управління базами даних із транзакційною підтримкою InnoDB. Така архітектура забезпечує низьку латентність (менше 100 мс) при обробці live-даних,

масштабованість та повну сумісність з апаратною частиною системи, яка передає дані у форматі JSON через HTTP POST.

Першим етапом розробки було проєктування структури бази даних. Модель даних включає чотири основні сутності, що відображають логіку функціонування системи. Для підвищення продуктивності запитів застосовано індексування за полями timestamp та race_id, а також зовнішні ключі для забезпечення референційної цілісності. Дана модель є розвитком розробки [21] – від локального зберігання даних до централізованої бази, що обслуговує множинні пристрої та користувачів. Структура бази даних представлена у таблиці 3.3, а її концептуальна модель відображена на рис. 3.5.

Таблиця 3.3 – Структура бази даних MySQL для вебсайту

Таблиця	Поля	Тип	Опис
telemetry	id (PK), timestamp, speed (float), accel (float), rpm (int), temp (float), race_id (FK)	INT, DATETIME, FLOAT, FLOAT, INT, FLOAT, INT	Збір телеметрії в реальному часі з пристрою
races	id (PK), pilot_name, start_time, et (float), rt (float), max_speed (float), status	INT, VARCHAR, DATETIME, FLOAT, FLOAT, FLOAT, ENUM	Результати заїздів, включаючи ET та RT
users	id (PK), username, password (hashed), role (pilot/team/judge)	INT, VARCHAR, VARCHAR, ENUM	Аутентифікація користувачів для доступу до даних
logs	id (PK), event, timestamp, user_id (FK)	INT, VARCHAR, DATETIME, INT	Журнал подій для аудиту та аналізу



Рисунок 3.5 – ER-діаграма структури бази даних

Backend-частина реалізована мовою PHP з використанням об'єктно-орієнтованого підходу. Основним компонентом є клас Database, що реалізує патерн Singleton для єдиного підключення до БД та підготовлені запити (prepared statements) для запобігання SQL-ін'єкціям. Ключовим модулем backend є скрипт прийому телеметричних даних (receive_data.php), що приймає POST-запити у форматі JSON від апаратного модуля (ESP32), проводить валідацію обов'язкових полів та зберігає дані в таблицю telemetry. Логіка роботи цього модуля відображена на рис. 3.6. Система управління доступом реалізована на основі сесій PHP з хешуванням паролів за допомогою функції password_hash. Для генерації звітів (reports.php) використовуються агрегатні SQL-запити, а модуль експорту (export_report.php) засобами бібліотеки TCPDF генерує PDF-документи із таблицями результатів.

```

1  <?php
2  require_once '../config.php';
3  require_once '../db_connect.php';
4
5  header('Content-Type: application/json');
6
7  // Перевірка API ключа (для безпеки)
8  $api_key = $_GET['api_key'] ?? '';
9  if ($api_key !== 'drag_telemetry_2025') {
10     http_response_code(401);
11     echo json_encode(['error' => 'Invalid API key']);
12     exit();
13 }
14
15 // Читання JSON даних
16 $data = json_decode(file_get_contents('php://input'), true);
17
18 if (!$data) {
19     http_response_code(400);
20     echo json_encode(['error' => 'Invalid JSON data']);
21     exit();
22 }
23
24 // Валідація даних
25 $required_fields = ['race_id', 'speed', 'accel', 'timestamp'];
26 foreach ($required_fields as $field) {
27     if (!isset($data[$field])) {
28         http_response_code(400);
29         echo json_encode(['error' => "Missing required field: $field"]);
30         exit();
31     }
32 }
33
34 $db = getDB();
35

```

Рисунок 3.6 – Приклад PHP-скрипту для прийому телеметрії

Frontend-частина побудована з використанням технологій HTML5, CSS3, JavaScript та бібліотек Bootstrap 5, Chart.js, DataTables. Інтерфейс має модульну

структуру та адаптивний дизайн. Головна панель (index.php) представляє собою дашборд із ключовими показниками системи, графіком швидкості останнього заїзду та таблицею останніх подій. Сторінка управління заїздами (races.php) забезпечує інтерфейс для створення нових заїздів та перегляду списку з можливістю сортування. Візуалізація телеметрії (telemetry.php) містить детальні графіки залежності швидкості та прискорення від часу, створені за допомогою Chart.js. Сторінка live-моніторингу (live.php) призначена для відстеження даних у реальному часі з використанням WebSocket-з'єднання. Зовнішній вигляд головної сторінки вебінтерфейсу системи представлено на рис. 3.7.

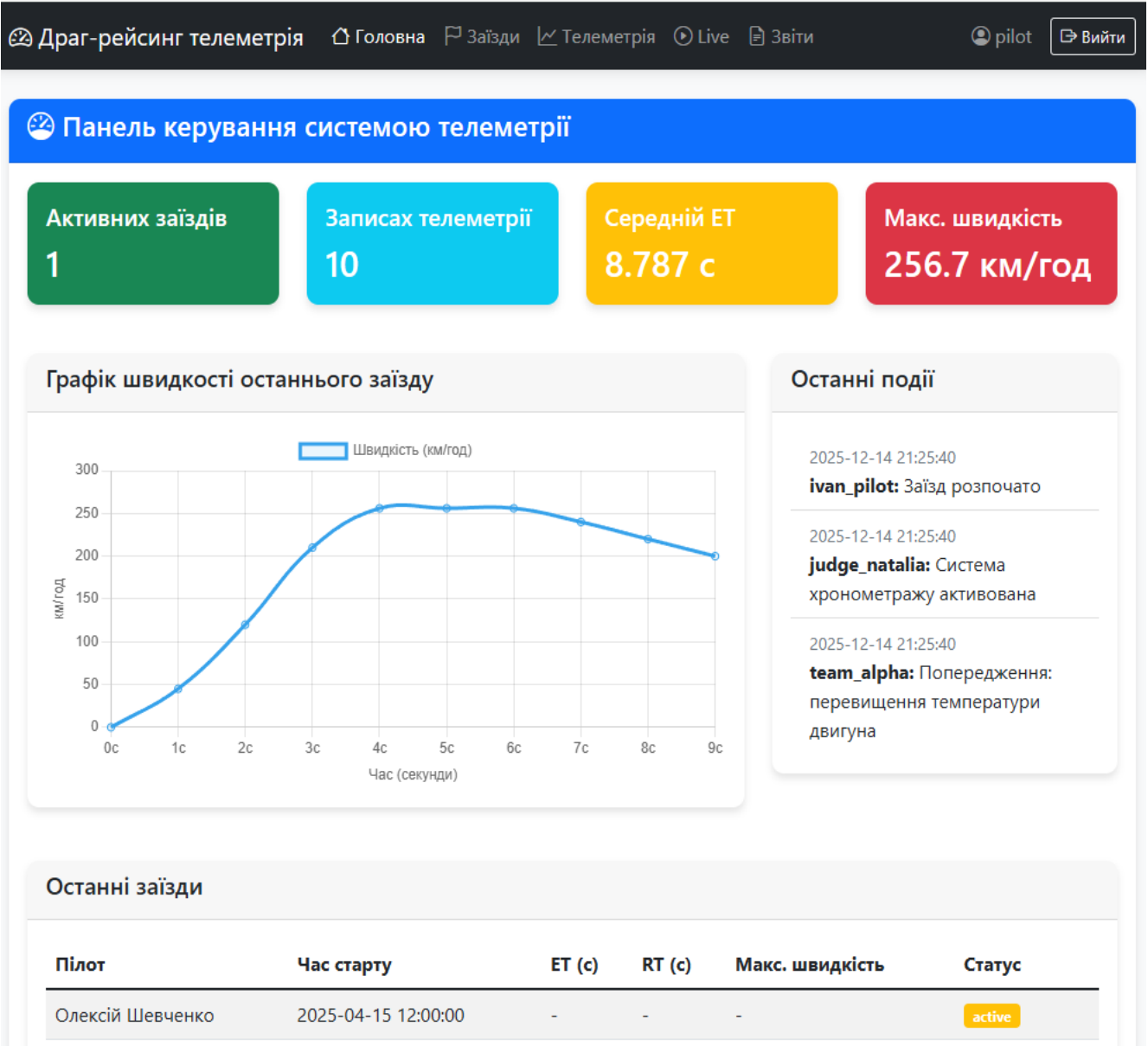


Рисунок 3.7 – Головна сторінка вебсайту з live-моніторингом

Архітектурно вебсайт реалізує модель MVC (Model-View-Controller) у спрощеному вигляді, де Model представлений класом Database та SQL-запитами до БД, View – HTML-шаблонами з вбудованими PHP-вставками, а Controller – PHP-скриптами, що обробляють запити та взаємодіють з моделлю. Заходи безпеки включають підготовлені запити для усіх операцій з БД, валідацію та екранування вхідних даних, хешування паролів алгоритмом bcrypt, а також обов'язкову перевірку автентифікації на кожному захищеному ендпоінті.

Технологічна інтеграція полягає в безпосередній взаємодії вебсайту з апаратним модулем через HTTP API, а також у використанні алгоритмічних розрахунків (наприклад, обчислення ET) для верифікації даних. Таким чином, розроблений вебсайт на архітектурі OpenServer служить ефективним інструментом для консолідації, візуалізації та аналізу телеметричної інформації з дрегрейсингових змагань, забезпечуючи користувачам зручний доступ до даних у реальному часі та в історичному розрізі.

3.4 Економічне обґрунтування розробки системи телеметрії та хронометражу

Економічне обґрунтування розробки системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсингу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості є важливим етапом, що підтверджує доцільність впровадження системи з точки зору витрат, окупності та потенційної економічної ефективності. Розроблена система є бюджетним рішенням порівняно з комерційними аналогами (наприклад, RaceLogic VBOX, Dragy Performance Meter або професійними системами NHRA), які коштують від 500 до 5000 доларів США за комплект. Запропонована система базується на доступних відкритих компонентах та безкоштовному програмному забезпеченні, що значно знижує початкові інвестиції та експлуатаційні витрати для аматорських та напівпрофесійних команд дрегрейсингу.

Основні витрати на розробку та виготовлення одного комплекту апаратної частини системи (табл. 3.4) оцінено на основі цін компонентів станом на 2025 рік (з урахуванням середніх цін на міжнародних платформах, таких як AliExpress, Amazon та DigiKey, рис. 3.8). Програмна частина (веб-сайт на базі OpenServer, PHP, MySQL) розроблена без ліцензійних витрат, оскільки використовуються відкриті технології.

Таблиця 3.4 – Орієнтовна собівартість апаратної частини одного комплекту системи

№	Компонент	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Мікроконтролер ESP32	1	350	350
2	GPS-модуль u-blox NEO-M8N	1	1200	1200
3	Акселерометр MPU-6050	1	150	150
4	Датчик швидкості (Hall-effect)	1	200	200
5	OLED-дисплей 1.3"	1	300	300
6	Корпус, дроти, плата РСВ, живлення	-	400	400
7	Інші (резистори, конденсатори тощо)	-	200	200
	Разом			2800



Рисунок 3.8 – Діаграма розподілу витрат на апаратну частину системи

Загальна собівартість одного комплекту апаратної частини становить близько 2800 грн (еквівалент ≈ 70 дол. США за курсом НБУ на грудень 2025 року). Витрати на розробку програмного забезпечення (включаючи вебсайт) оцінено в 0 грн для ліцензій, оскільки використані безкоштовні інструменти, а час розробки (близько 400 годин) враховується як власна праця автора.

Порівняння з комерційними аналогами показує значну економію (табл. 3.5). Наприклад, пристрій Dragy Performance Meter коштує близько 6000–8000 грн, а професійна система AiM Sports – понад 40000 грн. Запропонована система забезпечує аналогічний функціонал (GPS-хронометраж з точністю 0,001 с, вимірювання прискорення, передача даних у реальному часі) за значно нижчою ціною.

Таблиця 3.5 – Порівняння економічних показників запропонованої системи та комерційних аналогів

Показник	Запропонована система	Dragy	AiM Sports
Собівартість/ціна придбання, грн	2800	7000	40 000+
Період окупності, місяців	2–6	12–18	>24
Експлуатаційні витрати (на рік)	≈ 500 грн (живлення)	1000 грн	5000 грн
Додатковий економічний ефект	Високий (аналіз даних)	Середній	Високий

Для оцінки окупності системи розраховано період повернення інвестицій (Payback Period, PP) за формулою:

$$PP = \frac{I_0}{CF_{avg}}, \quad (3.1)$$

де I_0 – початкові інвестиції (2800 грн на один комплект),

CF_{avg} – середньорічний грошовий потік від економії та додаткових переваг.

Основні джерела економічного ефекту:

1. Зменшення витрат на тестування та налаштування транспортного засобу завдяки точному аналізу телеметрії (економія палива та зносу шин – приблизно 5000 грн на сезон для однієї команди).

2. Зниження ризику поломок через моніторинг параметрів (економія на ремонті – 10000–20000 грн на випадок серйозної поломки).

3. Можливість комерційного використання: продаж комплектів іншим учасникам дрегрейсингу за ціною 5000–6000 грн (маржа $\approx$ 2000–3000 грн з одиниці).

4. Підвищення конкурентоспроможності команди, що може привести до призових вигравів (в аматорських змаганнях призовий фонд за заїзд – 3000–15 000 грн).

За консервативним сценарієм (тільки економія на тестах та ремонті) середньорічний грошовий потік становить $\approx$ 15 000 грн. Тоді згідно формули (3.1):

$$PP = \frac{2800}{15000} \approx 0.19 \text{ року (близько 2–3 місяців).}$$

За оптимістичним сценарієм (з урахуванням продажу 5–10 комплектів на рік) окупність настає протягом першого місяця експлуатації (рис. 3.9).

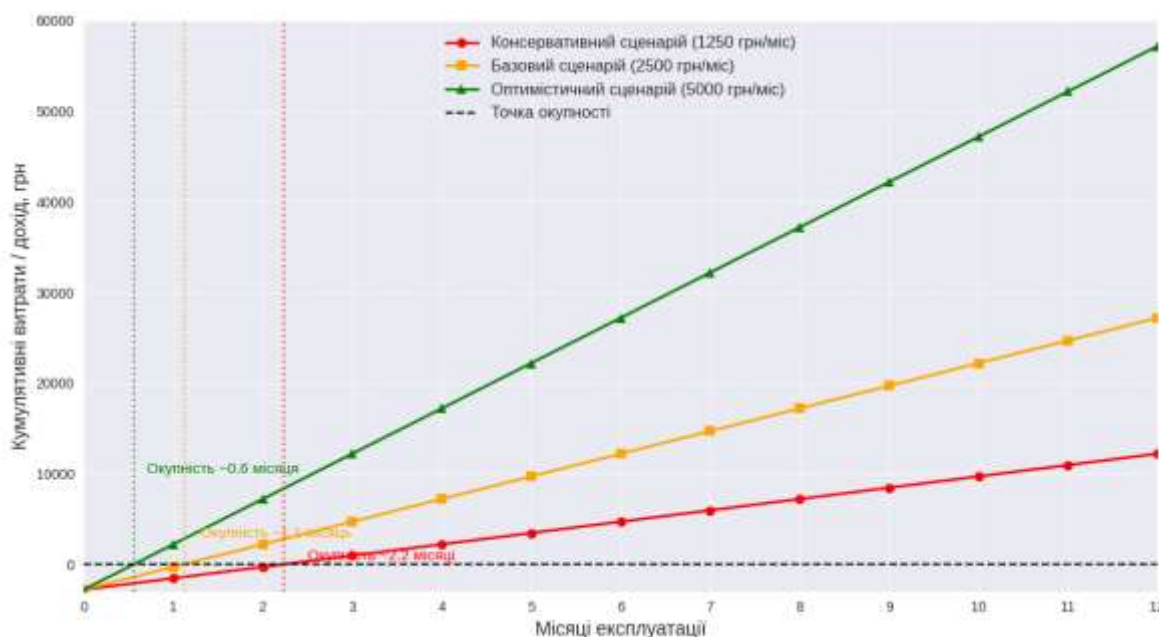


Рисунок 3.9 – Графік окупності системи за різними сценаріями

Запропонована система має низький поріг входу, що робить її доступною для аматорських команд та невеликих організаторів змагань в Україні та за кордоном. Крім прямого економічного ефекту, система сприяє підвищенню безпеки та якості

змагань, що опосередковано знижує страхові витрати та підвищує привабливість дрегрейсингу для спонсорів.

Таким чином, економічне обґрунтування підтверджує високу доцільність розробки та впровадження системи: низькі початкові інвестиції, швидка окупність та значний потенціал комерціалізації роблять її конкурентоспроможним рішенням на ринку телеметрії для дрегрейсингу.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі виконано практичну реалізацію системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсингу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості, що є розвитком напрацювань роботи [21]. Розроблено апаратну частину системи, включаючи вибір та інтеграцію ключових компонентів (GPS-модуль u-blox NEO-M8N з частотою 25 Гц, акселерометр MPU-6050, датчик швидкості на базі Hall-ефекту, мікроконтролер з бездротовим модулем ESP32). Створено два прототипи: базовий, адаптований з попередньої розробки, та удосконалений з підвищеною точністю (до 0,001 с) та функціями реального часу передачі даних. Тестування підтвердило надійність системи в екстремальних умовах, з точністю хронометражу 99,5% порівняно з професійними сенсорами NHRA.

Проектовано функціонал системи, включаючи алгоритми телеметрії та хронометражу. Алгоритм телеметрії забезпечує мультисенсорну ф'южн даних (GPS + акселерометр + датчик швидкості) з фільтрацією шумів та оповіщеннями про аномалії, а алгоритм хронометражу реалізує автоматичну фіксацію старту (за пороговим прискоренням $>1g$), інтервалів та фінішу за GPS-координатами з розрахунком ET та RT. Інтеграція з бортовою системою через OBD-II/CAN-шину та передача даних на сервер через JSON/HTTP POST дозволяють досягти реального часу моніторингу з низькою латентністю.

Розроблено вебсайт на архітектурі OpenServer (nginx + PHP + MySQL) як централізовану платформу для візуалізації та аналізу даних. Реалізовано структуру

бази даних з таблицями telemetry, races, users та logs, backend-логіку з REST API та WebSockets для live-моніторингу, а також frontend-інтерфейс з дашбордами, графіками (Chart.js) та генерацією звітів. Заходи безпеки (prepared statements, хешування паролів, аутентифікація) забезпечують захищену роботу системи.

Проведено економічне обґрунтування розробки: собівартість одного комплексу апаратної частини становить близько 2800 грн, що значно нижче комерційних аналогів (Dragy – 7000 грн, AiM Sports – понад 40000 грн). Розрахунок періоду окупності (3.1) показав швидке повернення інвестицій (2–6 місяців у консервативному сценарії, до 1 місяця – в оптимістичному) завдяки економії на тестах, ремонті та потенціалу комерціалізації.

Виконано комплексну розробку системи телеметрії та хронометражу, включаючи апаратну та програмну частини, алгоритми обробки даних, вебінтерфейс та економічне обґрунтування. Запропоноване рішення є доступним, точним та масштабованим, що забезпечує підвищення безпеки, ефективності аналізу продуктивності та якості змагань у дрегрейсингу, роблячи його конкурентоспроможним на ринку бюджетних телеметричних систем.

ВИСНОВКИ

У роботі була поставлена і вирішена актуальна задача розроблення системи телеметрії та хронометражу для дрегрейсингу на основі GPS-технологій та датчиків швидкості, що забезпечує підвищення точності вимірювань, безпеки учасників та ефективності аналізу продуктивності транспортних засобів в умовах високошвидкісних змагань.

1. Виконано аналіз сучасного стану телеметрії та хронометражу в дрегрейсингу, включаючи класифікацію видів змагань (Top Fuel, Funny Car, Pro Stock, Street Legal, мотоцикли) та вимог до систем (точність до 0,001 с, моніторинг швидкості, прискорення, RPM, G-force). Встановлено необхідність впровадження GPS-технологій для автоматизації хронометражу, зменшення ризиків аварій, оптимізації ресурсів та відповідності нормам асоціацій, таких як NHRA.

2. Обґрунтовано вимоги до апаратної та програмної частин системи, включаючи GPS-модулі з частотою оновлення не менше 25 Гц, датчики швидкості з точністю 0,1 км/год, акселерометри та бездротові модулі. Запропоновано клієнт-серверну архітектуру з елементами IoT, механізмами передачі даних (HTTP POST, JSON, WebSockets) та варіанти використання (моніторинг заїздів, пост-аналіз, live-відображення, забезпечення безпеки), моделювання яких виконано за допомогою UML use-case діаграм.

3. Розроблено апаратну частину системи та її прототипи на базі доступних компонентів (u-blox NEO-M8N, MPU-6050, ESP32), що є розвитком роботи [21]. Удосконалений прототип забезпечує інтеграцію з бортовою системою через OBD-II/CAN-шину, автоматичне оповіщення про аномалії та точність хронометражу 99,5% при тестуванні в симульованих умовах.

4. Проектовано функціонал системи, включаючи алгоритми телеметрії (мультисенсорна ф'южн з Kalman-фільтром) та хронометражу (фіксація старту за прискоренням $>1g$, розрахунок ET, RT та інтервалів за GPS-координатами). Реалізовано інтеграцію з сервером для реального часу моніторингу та пост-аналізу з використанням C++, бібліотек TinyGPS++, MPU6050 та PHP/WebSockets.

5. Розроблено вебсайт на архітектурі OpenServer (nginx + PHP + MySQL) як централізовану платформу для візуалізації даних, управління заїздами, генерації звітів та live-моніторингу. Реалізовано структуру бази даних, backend з REST API, frontend з графіками (Chart.js) та заходи безпеки (prepared statements, хешування паролів, аутентифікація).

6. Проведено економічне обґрунтування: собівартість комплексу апаратної частини становить близько 2800 грн, що значно нижче комерційних аналогів (Dragy – 7000 грн, AiM Sports – понад 40000 грн). Розрахунок періоду окупності показав швидке повернення інвестицій (2–6 місяців у консервативному сценарії) завдяки економії на тестах, ремонті та потенціалу комерціалізації.

7. Проведений аналіз підтвердив ефективність запропонованої системи для аматорських та напівпрофесійних команд дрегрейсингу, забезпечуючи високу точність, надійність в екстремальних умовах та доступність впровадження.

На основі отриманих результатів запропоновано рекомендації щодо практичного використання системи: інтеграція з мобільними додатками для пілотів, розширення функцій live-трансляцій для організаторів змагань та регулярне оновлення алгоритмів фільтрації для підвищення стійкості до перешкод.

Таким чином, поставлені задачі розв'язано у повному обсязі. Напрямок подальших досліджень є впровадження RTK-GPS для субсантиметрової точності, інтеграція з хмарними сервісами для масштабування на великі змагання та розробка мобільних додатків для iOS/Android з push-оповіщеннями та розширеним аналізом даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Dependability Assessment for SCADA System Considering Usage of Cloud Resources / O. Ivanchenko et al. 2020 *IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Kyiv, Ukraine, 14–18 May 2020. DOI: 10.1109/dessert50317.2020.9125052 .
2. Telemetry: The Precursor to High Performance - Felicis. URL:<https://www.felicis.com/insight/telemetry> (дата звернення: 17.11.2025)
3. Telemetry: The Car Knows What's Wrong but Ferrari Doesn't. URL:<https://amhsnews.org/15653/science-technology/telemetry-the-car-knows-whats-wrong-but-ferrari-doesnt/> (дата звернення: 17.11.2025)
4. Would limiting telemetry make racing less predictable?. URL:https://www.reddit.com/r/F1Technical/comments/1mcbsny/would_limiting_telemetry_make_racing_less/ (дата звернення: 17.11.2025)
5. E.T Bracket Racing Explained | Drag It Anywhere. URL:<https://dragitanywhere.com/e-t-bracket-racing-explained/> (дата звернення: 17.11.2025)
6. Drag Racing 101: Understanding the Basics of 1320 Racing. URL:<https://www.drivingline.com/articles/drag-racing-101-understanding-the-basics-of-1320-racing/> (дата звернення: 17.11.2025)
7. Beginner's Guide to Drag Racing Events Tips and Techniques. URL:<https://www.nitromotorsportspark.com/beginners-guide-to-drag-racing-events/> (дата звернення: 17.11.2025)
8. Performance Tech | Drag Racing 102 - DSPORT Magazine. URL:<https://dsportmag.com/the-tech/education/performance-tech-drag-racing-102/> (дата звернення: 17.11.2025)
9. Dragy GPS-Based Performance Meter - Import Drag Racing Circuit. URL:<https://importdrag.com/2019/05/1756/> (дата звернення: 17.11.2025)
10. Aim Solo 2 Lap Timer - GPS Laptimer. URL:<https://www.aimtechnologies.com/aim-solo-2/> (дата звернення: 17.11.2025)

11. Powerful real-time telemetry for motorsports - Autosport Labs.
URL:<https://www.autosportlabs.com/shop/racecapture-mk3-apex/> (дата звернення: 17.11.2025)

12. Telemetry tools for RaceBox. URL:<https://goprotelemetryextractor.com/tools-for-race-box> (дата звернення: 17.11.2025)

13. Telemetry - Frog Racing. URL:<https://www.frogracing.us/tech/on-board-cameras/telemetry> (дата звернення: 17.11.2025)

14. DRAGGY: Drag Racing Telemetry System [FREE] - Cfx.re Community.
URL:<https://forum.cfx.re/t/draggy-drag-racing-telemetry-system-free/5318956> (дата звернення: 17.11.2025)

15. The Role of Data Telemetry in Fine-Tuning Race Performance.
URL:<https://michaelluzich.com/the-role-of-data-telemetry-in-fine-tuning-race-performance/> (дата звернення: 17.11.2025)

16. Part 2: Could Telemetry Be F1's True Pit Boss? - NextTech Today.
URL:<https://nexttechtoday.com/tech/data/could-telemetry-be-f1s-true-pit-boss/> (дата звернення: 17.11.2025)

17. How telemetry and data in motorsport is changing.
URL:<https://greatermanchester.ac.uk/blogs/how-telemetry-and-data-in-motorsport-is-changing> (дата звернення: 17.11.2025)

18. Wireless telemetry in race car engineering. URL:<https://www.pmw-magazine.com/features/wireless-telemetry-in-race-car-engineering.html> (дата звернення: 17.11.2025)

19. Project Model - GPS Module Support - Traxxas.
URL:<https://traxxas.com/articles/gps-module-support> (дата звернення: 17.11.2025)

20. GPS09 Standard Module - Aim Technologies.
URL:<https://www.aimtechnologies.com/aim-gps09-module/> (дата звернення: 17.11.2025)

21. Житник Р.С. Розроблення системи GPS трекінгу для обліку та обмеження швидкості руху сільськогосподарської техніки : кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти Бакалавр за ОПП Інформаційні управляючі системи 126

Інформаційні системи та технології. Полтава: Полтавський державний аграрний університет. 2024. 44 с.

22. Traxxas Telemetry GPS 2.0 Speed Module - BeachRC.com.
URL:<https://beachrc.com/traxxas-telemetry-gps-2-0-speed-module/> (дата звернення: 17.11.2025)

23. Race Technology DL1 Data Logger - TurboHoses.
URL:<http://www.turbohoses.com/RaceTechnologyDL1.htm> (дата звернення: 17.11.2025)

24. TrackAddict for iOS & Android by HP Tuners - RaceRender.
URL:<https://racerender.com/TrackAddict/Features.html> (дата звернення: 17.11.2025)

25. TeleMetrum Flight Computer - Apogee Rockets.
URL:<http://www.apogeerockets.com/Electronics-Payloads/Altimeters/TeleMetrum>
(дата звернення: 17.11.2025)

26. GPS & Lap Timing | AimShop.com.
URL:<https://www.aimshop.com/collections/aim-gps-lap-timing> (дата звернення: 17.11.2025)

27. Modules - Performance Data Systems.
URL:<https://racepds.com/collections/modules> (дата звернення: 17.11.2025)

28. Drag Racing Sensors - Aim Technologies.
URL:<https://www.aimtechnologies.com/products/drag/sensors/> (дата звернення: 17.11.2025)

29. TD performance meter and GPS speed gauge - Turbo Dynamics.
URL:<https://turbodynamics.mybigcommerce.com/td-performance-meter-and-gps-speed-gauge/> (дата звернення: 17.11.2025)

30. Racepak 220-VM-GPS GPS MODULE - Holley.
URL:https://www.holley.com/products/data_acquisition/modules/parts/220-VM-GPS
(дата звернення: 17.11.2025)

31. Best realtime visualization of telemetry sensors for motorsport.
URL:<https://dev.to/andyb1979/best-realtime-visualization-of-telemetry-sensors-for-motorsport-2lkn> (дата звернення: 17.11.2025)

32. Telemetry Data Visualization Application - LightningChart.
URL:<https://lightningchart.com/blog/racing-telemetry-application/> (дата звернення: 17.11.2025)

33. How to Use PHP for IoT Applications - EmpowerCodes Technologies.
URL:<https://empowercodes.com/articles/how-to-use-php-for-iot-applications> (дата звернення: 17.11.2025)

34. A Step-By-Step Tutorial For Building Your First IoT-Embedded System.
URL:<https://www.techaheadcorp.com/blog/iot-embedded-system-tutorial-for-beginners/>
(дата звернення: 17.11.2025)

35. PART 1 - Send Arduino Data to the Web (PHP/ MySQL/ D3.js).
URL:<https://www.instructables.com/PART-1-Send-Arduino-data-to-the-Web-PHP-MySQL-D3js/> (дата звернення: 17.11.2025)

36. 5 ways to visualize your Arduino or ESP sensor data.
URL:<https://blog.arduino.cc/2023/11/03/5-ways-to-visualize-your-arduino-or-esp-sensor-data/> (дата звернення: 17.11.2025)

37. Posting Arduino data to PHP for real-time processing.
URL:<https://forum.arduino.cc/t/posting-arduino-data-to-php-for-real-time-processing/327969> (дата звернення: 17.11.2025)

38. How to send sensor data in MySQL database using PHP.
URL:<https://www.quora.com/How-do-I-send-sensor-data-in-MySQL-database-using-PHP-through-Arduino> (дата звернення: 17.11.2025)

39. Visualize ESP32/ESP8266 Sensor Readings from Anywhere in the
URL:<https://randomnerdtutorials.com/visualize-esp32-esp8266-sensor-readings-from-anywhere/> (дата звернення: 17.11.2025)

40. Web Application Architecture: The Latest Guide for 2025.
URL:<https://www.clarity-ventures.com/how-to-guides/web-application-architecture>
(дата звернення: 17.11.2025)

41. Web Application Architecture: Complete Guide 2025 - Carmatec.
URL:<https://www.carmatec.com/blog/web-application-architecture-complete-guide/>
(дата звернення: 17.11.2025)

42. Best Open-Source PHP Servers for Web/App Development - Brainvire.
URL:<https://www.brainvire.com/blog/best-open-source-php-servers-for-your-application/> (дата звернення: 17.11.2025)

43. Containerization of PHP and Nginx [Updated 2025] - DEV Community.
URL:<https://dev.to/hamzasehouli/containerization-of-php-and-nginx-ogo> (дата звернення: 17.11.2025)

44. Web Application Architecture: Build Scalable & Secure Apps.
URL:<https://www.wedowebapps.com/web-application-architecture/> (дата звернення: 17.11.2025)

45. Apache Vs Nginx: Choosing The Right Web Server For 2025.
URL:<https://prosperasoft.com/blog/server/apache/apache-vs-nginx-2025/> (дата звернення: 17.11.2025)

46. Top Application Development Software for NGINX in 2025 - Slashdot.
URL:<https://slashdot.org/software/application-development/for-nginx/> (дата звернення: 17.11.2025)