

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Кіберфізична система адаптивного управління медіаконтентом на основі моніторингу мережевої активності пасажиропотоку  
Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»  
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»  
Назва

Шифр КвРКІ 022032.22.01.58 ПЗ

Виконав здобувач IV курсу, група KI2-22-1

  
Підпис

Назар КОВАЛЬ  
Ініціали, прізвище

Керівник

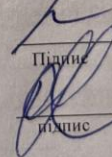
  
Підпис

Вадим  
ЗАДНІПРОВСЬКИЙ  
Ініціали, прізвище

Науковий ступінь, учене звання  
Нормоконтролер канд.фіз.-мат.наук, доцент  
Науковий ступінь, учене звання

Підпис

Тетяна КИСІЛЬ  
Ініціали, прізвище

  
Підпис

Ольга ПАВЛОВА  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
завідувач кафедри КІС  
«01» червня 2026 р.

Підпис

дата

Хмельницький 2026

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)

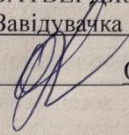
Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КІС

  
Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ковалю Назару Ігоровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система адаптивного управління медіаконтентом на основі моніторингу мережевої активності пасажиропотоку

Керівник проекту (роботи) Задніпровський Вадим Григорович, старший викладач.

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

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Кіберфізична система адаптивного управління медіаконтентом та постановка задачі щодо її розробки

Проектування системи обробки інформації у кіберфізичній системі адаптивного управління медіаконтентом

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи адаптивного управління медіаконтентом

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

Структурна схема системи

Схема електрична принципова

Алгоритм перехоплення пакетів

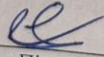
6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

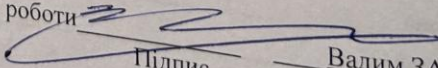
7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2026 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – кіберфізична система адаптивного управління медіаконтентом та постановка задачі щодо її розробки	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – проєктування системи обробки інформації у кіберфізичній системі адаптивного управління медіаконтентом	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи адаптивного управління медіаконтентом	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК		
		Червень 2026 року	

Здобувач   
Підпис

Назар КОВАЛЬ  
Імя, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи 

Підпис

Вадим ЗАДНІПРОВСЬКИЙ  
Імя, ПРІЗВИЩЕ



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Кіберфізична система адаптивного управління медіаконтентом на основі моніторингу мережевої активності пасажиропотоку».

Автор роботи: Назар КОВАЛЬ.

Керівник роботи: Вадим ЗАДНІПРОВСЬКИЙ.

Пояснювальна записка: 63 с., 16 рис., 2 табл., 3 дод., 43 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

АДАПТИВНЕ УПРАВЛІННЯ, АРХІТЕКТУРА, БАЗА ДАНИХ, МЕДІАКОНТЕНТ, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, МОНІТОРИНГ, ПАСАЖИРОПОТІК, ДИНАМІЧНЕ ЦІНОУТВОРЕННЯ.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці кіберфізичної системи управління медіаконтентом на основі моніторингу мережевої активності пасажиропотоку. Актуальність теми зумовлена потребою автоматизації ціноутворення в сегменті цифрової зовнішньої реклами. Традиційні статичні моделі не враховують фактичну кількість аудиторії в поточний момент. Застосування методів пасивного моніторингу радіоефіру створює основу для впровадження алгоритмів динамічного ціноутворення. У результаті зростає рентабельність рекламних носіїв без порушення конфіденційності користувачів.

Метою роботи є проектування та реалізація розподіленої платформи для збору аналітики й віддаленого управління трансляцією. У ході дослідження було проаналізовано існуючі рішення, обрано елементну базу на основі мікроконтролера ESP32, розроблено архітектуру реляційної бази даних та математичну модель розрахунку вартості рекламних слотів. Також спроектовано мікропрограмне забезпечення для автономної роботи IoT-модуля та веб-інтерфейс для різних ролей користувачів.



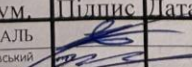


Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Кіберфізична система адаптивного управління медіаконтентом та постановка задачі щодо її розробки .....	7
1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань .....	7
1.2 Оцінка та порівняння наявних рішень .....	8
1.3 Методи вирішення поставленої задачі в контексті дослідження.....	9
1.4 Аналіз вимог до мобільного інтерфейсу користувача .....	11
1.5 Висновки до першого розділу.....	13
2 Проектування системи обробки інформації у кіберфізичній системі адаптивного управління медіаконтентом .....	14
2.1 Розробка загальної архітектури та взаємодії компонентів системи .....	14
2.2 Інфологічне та даталогічне проектування бази даних .....	16
2.2.1 Обґрунтування вибору реляційної моделі (SQL vs NoSQL) .....	16
2.2.2 Технічні переваги PostgreSQL у контексті проєкту .....	17
2.2.3 Інфологічна модель системи.....	18
2.2.4 Даталогічна модель та фізична реалізація.....	18
2.3 Проектування архітектури та інтерфейсу мобільного додатка.....	20
2.3.1 Архітектурне рішення та взаємодія .....	20
2.3.2. Проектування інтерфейсу.....	21
2.4 Математичне моделювання алгоритму динамічного ціноутворення ....	21
2.4.1 Обґрунтування вибору математичного підходу .....	22
2.4.2 Виведення та опис розрахункової формули.....	22
2.4.3 Роль коефіцієнта волатильності $\alpha$ .....	23
2.4.4 Практичні сценарії та обмеження .....	23
2.4.5 Аналіз залежності вартості від щільності потоку.....	24
2.5 Проектування протоколів взаємодії та безпеки даних.....	25
2.5.1 Розподілена модель автентифікації.....	25

				КвРКІ.022032.22.01.58 ПЗ			
Зм. Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Кіберфізична система адаптивного управління медіаконтентом на основі моніторингу мережевої активності пасажиропотоку	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Назар КОВАЛЬ <small>Ізюмський</small>				у	2	72
Перевір.					ХНУ КІ2-22-1		
Н.контр.	Тетяна КИСІЛЬ						
Затвер.	Ольга ПАВЛОВА						

2.5.2 Розмежування прав доступу.....	26
2.5.3 Життєвий цикл запиту та компоненти обробки.....	26
2.5.4 Забезпечення оновлень у режимі реального часу.....	27
2.6 Проектування логіки функціонування периферійного вузла .....	27
2.6.1 Моделювання циклів роботи та станів пристрою .....	28
2.6.2 Алгоритм частотного сканування .....	29
2.6.3 Забезпечення відмовостійкості через апаратний таймер .....	30
2.6.4 Логіка офлайн-кешування на основі файлової системи .....	30
2.7 Проектування користувацьких інтерфейсів .....	31
2.7.1 Обґрунтування вибору технологічного стека фронтенду.....	31
2.7.2 Розробка структури кабінетів та рольових моделей .....	31
2.7.3 Логіка роботи модуля «Плеєр».....	32
2.7.4 Інтеграція платіжних шлюзів та фінансовий шлях користувача ....	32
2.7.5 Адаптивність та реальний час.....	33
2.8 Висновки до другого розділу .....	33
3 Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи адаптивного управління медіаконтентом.....	34
3.1 Апаратна реалізація на базі мікроконтролера.....	34
3.1.1 Вибір середовища розробки та обґрунтування інструментарію .....	34
3.1.2 Програмна реалізація механізму пасивного сніфінгу .....	34
3.1.3 Забезпечення стабільності та автономності вузла .....	36
3.1.4 Механізм віддаленого оновлення.....	37
3.1.5 Обґрунтування вибору апаратної платформи та периферії.....	38
3.2. Реалізація мобільного клієнта.....	38
3.2.1. Обґрунтування вибору технологічного стеку .....	38
3.2.2. Основні аспекти реалізації та бібліотеки.....	39
3.3 Розробка серверної частини платформи .....	43
3.3.1 Архітектурний підхід та валідація даних .....	43
3.3.2 Взаємодія з базою даних через об'єктно-реляційне відображення .....	44
3.3.3 Програмна реалізація алгоритму ціноутворення.....	44

3.3.4	Безпека, автентифікація та авторизація .....	45
3.3.5	Схема бази даних та структура збереження метрик.....	46
3.4	Розробка клієнтських веб-додатків та системи ініціалізації .....	46
3.4.1	Архітектура та інтерактивні картографічні сервіси .....	47
3.4.2	Автоматичне налаштування мікроконтролера.....	47
3.4.3	Інтеграція платіжного шлюзу та обробка транзакцій .....	49
3.4.4	Автономний плеєр медіаконтенту .....	50
3.4.5	Користувацький досвід та інтерфейс моніторингу .....	51
3.5	Тестування системи та оцінка ефективності .....	53
3.5.1	Функціональне тестування апаратних та програмних модулів .....	53
3.5.2	Стрес-тестування та аналіз продуктивності.....	54
3.5.3	Тестування мобільного додатку .....	55
3.5.4	Аналіз результатів та підтвердження працездатності.....	55
3.5.5	Аналіз граничних станів та обробка помилок.....	56
3.6	Висновок до третього розділу.....	57
	Висновки .....	58
	Перелік джерел посилань .....	59
	Додаток А Копія креслення «Структурна схема системи».....	65
	Додаток Б Копія креслення «Схема електрична принципова» .....	66
	Додаток В Копія креслення «Алгоритм перехоплення пакетів» .....	67

						КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			4

## ВСТУП

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується швидким впровадженням концепції Інтернету речей і формуванням кіберфізичних систем [1]. Сьогодні пристрої не обмежуються простим збором даних, а активно взаємодіють між собою. Вони трансформують цілі індустрії та формують інфраструктуру "розумних міст". Одним із напрямків, що потребує модернізації, є ринок цифрової зовнішньої реклами [6]. Традиційні способи управління медіаконтентом на фізичних носіях залишаються статичними і не враховують зміни оточення. Виникає потреба в кіберфізичних системах, які можуть адаптивно керувати трансляцією та ціноутворенням на основі моніторингу фактичного потоку пасажирів.

Розв'язання цієї задачі вимагає інтеграції обчислювальних модулів безпосередньо в місцях розміщення екранів. У сучасних дослідженнях мікроконтрольні платформи, зокрема на базі ESP32, все частіше виконують функцію крайових вузлів у розподілених системах. Завдяки вбудованим модулям бездротового зв'язку та достатній обчислювальній потужності ці мікроконтролери можуть виконувати пасивний моніторинг радіоефіру [7] для аналізу щільності пасажиропотоку, проводити первинну обробку даних і передавати аналітику на центральний сервер у поточний момент.

Оскільки елементи такої кіберфізичної системи географічно розміщені, важлива їхня надійність і можливість віддаленого адміністрування. Підтримка актуального стану програмного забезпечення на кожному пристрої вручну є неефективною. Технологія оновлення по повітрю (Over-The-Air, OTA) уможливорює одночасне впровадження виправлень і нового функціоналу для всіх пристроїв [27; 29]. У поєднанні з механізмами локального кешування у флеш-пам'яті цей процес забезпечує високу доступність і стабільність апаратної частини системи без фізичного доступу до обладнання.

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для координації крайових пристроїв і обробки поточкових даних потрібна надійна хмарна інфраструктура. Побудова серверної частини платформи за допомогою сучасних вебтехнологій і підходів створює масштабовану архітектуру. Поєднання апаратного моніторингу на базі ESP32, технологій віддаленого розгортання та серверної логіки формує цілісну кіберфізичну систему, яка відповідає сучасним вимогам до автоматизації та адаптивного управління медіаконтентом.

Додатковим завданням роботи є проєктування та розробка кросплатформного мобільного додатка, що забезпечує користувачам зручний інтерфейс для моніторингу стану системи та керування її параметрами в поточний момент без прив'язки до стаціонарного робочого місця.

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

# 1 КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ МЕДІАКОНТЕНТОМ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ЩОДО ЇЇ РОЗРОБКИ

## 1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань

Ринок Digital Out-of-Home (DOOH) протягом останнього десятиліття демонструє стабільне зростання. Це стало можливим завдяки значному розвитку програмного забезпечення та апаратних медіаплеєрів. Зовнішня реклама змінюється від статичних площин до складних цифрових мереж, що підтримують масштабування рекламних кампаній і централізоване управління контентом. Сучасні системи управління відеостінами та панелями забезпечують високу якість відтворення і створюють основу для інтерактивної взаємодії з аудиторією.

У сфері інтернет-маркетингу фактично стандартом стала модель Programmatic. Вона передбачає закупівлю трафіку через динамічні аукціони (Real-Time Bidding, RTB) [10; 14]. Глобальні платформи, наприклад The Trade Desk, підтримують реалізацію стратегій з динамічним коригуванням ставок. Однак сегмент зовнішньої реклами значно відстає від онлайн-технологій. Більшість цифрових носіїв поки що працюють за застарілими моделями статичного планування.

Найбільшими перешкодами для розвитку DOOH залишаються жорстке ціноутворення та відсутність перевірених метрик охоплення. Власники рекламного інвентарю зазвичай пропонують розміщення за фіксованими тарифами на день або місяць [10; 11], не враховуючи фактичну волатильність пасажиропотоку. Через це рекламодавець може переплачувати за покази в періоди низької активності, наприклад, під час несприятливих погодних умов. Водночас власник рекламного носія втрачає потенційний прибуток у години пікового навантаження, оскільки не може швидко підвищити вартість розміщення. Ще одним обмеженням є відсутність інструментів для точного вимірювання аудиторії в поточний момент, що ускладнює впровадження метрик

					КвРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтвердження показу та знижує інвестиційну привабливість DOOH у порівнянні з інтернет-рекламою, де кожен контакт із користувачем можна чітко зафіксувати.

Отже, актуальним завданням є перехід від простого відтворення контенту до створення інтелектуальних кіберфізичних систем. Вони повинні здійснювати аналіз активності аудиторії в поточний момент. Інтеграція даних моніторингу в алгоритми управління ціноутворенням наблизить фізичний рекламний простір до сучасних стандартів Programmatic-екосистем.

## 1.2 Оцінка та порівняння наявних рішень

Сучасні методи визначення пасажиропотоку та оцінки обсягу аудиторії базуються на кількох основних технологічних підходах. Кожен із них має свої специфічні обмеження у впровадженні RTB-моделей. Найбільш інформативним методом є відеоаналітика на основі нейронних мереж. Вона деталізує аудиторію за статтю, віком та емоційним станом. Але широке використання цього методу у розподілених мережах обмежене високою обчислювальною складністю. Крім того, точність таких систем залежить від умов освітлення [22]. Збір біометричних даних несе за собою юридичні ризики через вимоги до конфіденційності [31; 32].

Альтернативний підхід, що спирається на геодані мобільних операторів, забезпечує максимальне територіальне охоплення. Проте він має значну часову затримку, що може становити від кількох годин до доби. Така інертність ускладнює управління контентом в поточний момент. Крім того, просторові похибки в 50-100 метрів та висока вартість комерційного доступу до даних знижують рентабельність цього методу для малих та середніх рекламних мереж.

Оптимальний баланс між вартістю, точністю та швидкістю обробки забезпечує метод пасивного моніторингу радіоефіру. Використання мікроконтролерів серії ESP32 дає змогу сформувати мережу сенсорів з мінімальними капітальними витратами. Перевага цього методу - забезпечення приватності за замовчуванням. Система працює з технічними ідентифікаторами

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пакетів та здійснює хешування MAC-адрес, що мінімізує ризик прямої ідентифікації особи. Локальна обробка даних безпосередньо на пристрої зменшує навантаження на мережу та сприяє швидкій реакції системи на зміну зовнішніх умов [35; 36].

Узагальнені результати порівняльного аналізу наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння технологій детекції аудиторії

Технологія	Точність	Вартість	Аналітика в поточний момент	Приватність
Комп'ютерний зір	Висока	Висока	Так	Низька
Дані операторів	Середня	Середня	Ні	Середня
Пасивний моніторинг	Оптимальна	Низька	Так	Висока

### 1.3 Методи вирішення поставленої задачі в контексті дослідження

Для побудови ефективної системи адаптивного управління медіаконтентом обрано гібридну архітектуру, що поєднує методи розподіленої обробки даних на периферії мережі і централізоване адміністрування через хмарну інфраструктуру. Цей підхід зменшує мережеві затримки і забезпечує високу масштабованість системи.

#### Апаратний рівень та збір даних

Як основний вузол моніторингу вибрано мікроконтролерну платформу ESP32 [43]. Вибір мікроконтролера спричинений тим, що він забезпечує оптимальний баланс між енергоефективністю і обчислювальною потужністю. Метод збору даних базується на пасивному перехопленні мережевих пакетів у радіоефірі. Пристрій аналізує запити на зондування від мобільних терміналів (мобільні та портативні пристрої) пасажирів. Він ідентифікує унікальні пристрої

через хешовані MAC-адреси без встановлення прямого з'єднання, що гарантує конфіденційність аудиторії. Завдяки вбудованим мережевим технологіям контролер здатний паралельно виконувати сканування й передавати агреговані статистичні метрики на сервер без затримок.

#### Програмна архітектура та управління

Серверна частина реалізована як розподілена платформа. Використання програмного середовища із підтримкою суворої типізації забезпечує високу цілісність типів даних, що є важливим для коректної обробки фінансових транзакцій. На етапі розробки прототипу використано стратегію монорепозиторію, що спрощує синхронізацію між програмним інтерфейсом і загальними пакетами даних. Архітектура спроектована так, щоб забезпечити плавний перехід до мікросервісної моделі при збільшенні кількості рекламних об'єктів.

#### Алгоритмічне ціноутворення

Основою економічної логіки є відмова від фіксованих тарифів на користь динамічного оцінювання рекламної позиції [10; 11; 14; 15]. Вартість слота розраховується виходячи з поточного показника експозиції аудиторії. Математична модель визначення підсумкової ціни має такий вигляд [15]:

$$P = P_{base} * (1 + \alpha * \frac{N_{fact} - N_{avg}}{N_{avg}}), \quad (1.1)$$

де:

$P$  – підсумкова вартість рекламної позиції для аукціону;

$P_{base}$  – базова ціна за нормативних умов;

$N_{fact}$  – фактична кількість зафіксованих пристроїв у зоні видимості у поточний момент часу;

$N_{avg}$  – середньостатистичний показник трафіку для даної локації та часу;

$\alpha$  – коефіцієнт волатильності (чутливості) ціни до змін трафіку.

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модель автоматизує процес торгів і забезпечує баланс інтересів, за якого рекламодавець здійснює оплату за фактично отримані контакти, а власник медіаносія максимізує прибуток у періоди пікової активності.

#### Забезпечення відмовостійкості

Для стабільного функціонування в міському середовищі реалізовано низку методів, зокрема апаратний таймер який автоматично перезавантажує мікроконтролер, якщо виявлено програмне зависання, також впроваджено метод локального кешування для використання незалежної флеш-пам'яті для тимчасового зберігання метрик. Якщо зв'язок із сервером втрачається, дані накопичуються локально та автоматично синхронізуються з центральною базою даних після відновлення з'єднання.

#### 1.4 Аналіз вимог до мобільного інтерфейсу користувача

Для забезпечення повноцінного функціонування системи та зручності користувачів доцільною є розробка мобільного додатка. На відміну від веб-інтерфейсу, мобільний додаток забезпечує оперативний доступ до сповіщень про стан мікроконтролерів. Наприклад, якщо один із пристроїв не передає дані понад 60 хвилин, власник білборда отримує повідомлення на смартфон без необхідності постійного ручного моніторингу стану обладнання.

Основні функціональні вимоги мобільного додатка частково дублюють можливості веб-платформи. Додаток має містити функціонал автентифікації, модуль візуалізації метрик[39] і технічних параметрів пристроїв, а також інструменти перегляду історії метрик для конкретного мікроконтролера.

З огляду на особливості використання системи, мобільний інтерфейс має бути орієнтований на швидке сприйняття основних показників і оперативне інформування про відхилення в роботі обладнання. Впровадження цих вимог покращить зручність користування і своєчасність прийняття рішень.



Рисунок 1.1 – Загальна концепція кіберфізичної системи (Високорівнева схема)

## 1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі був проведений детальний аналіз ринку цифрової зовнішньої реклами та виявлені технологічні прогалини в існуючих системах управління медіаконтентом. Встановлено, що перехід до динамічного ціноутворення і автоматизації закупівлі трафіку вимагає створення спеціалізованої кіберфізичної системи, де система повинна інтегрувати дані про пасажиропотік у поточний момент часу.

Метою кваліфікаційної роботи є проектування та реалізація розподіленої платформи для управління DOOH-інвентарем. Для досягнення цієї мети дослідження зосереджено на виконанні кількох пов'язаних завдань.

Апаратна частина передбачає розробку IoT-модуля на основі мікроконтролера ESP32 для пасивного сканування радіоефіру щоб забезпечити фільтрацію шуму та анонімізацію ідентифікаторів.

Програмна частина включає проектування масштабованої серверної інфраструктури з математичним алгоритмом для розрахунку вартості слотів. Також передбачено створення реляційної бази даних для надійного збереження транзакційних і аналітичних записів.

Окрім цього, розробка охоплює багаторівневі клієнтські інтерфейси для різних ролей користувачів і спеціалізований додаток-плеєр для трансляції контенту. Особлива увага приділяється відмовостійкості системи через механізми віддаленого оновлення та локального кешування даних.

Очікується, що результатом проєкту стане комплексна система. Вона зможе самостійно аналізувати динаміку пасажиропотоку і інтегрувати ці дані в економічну модель управління рекламою.

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ У КІБЕРФІЗИЧНІЙ СИСТЕМІ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ МЕДІАКОНТЕНТОМ

### 2.1 Розробка загальної архітектури та взаємодії компонентів системи

Кіберфізична система для управління медіаконтентом будується на основі гібридної архітектури. Вона поєднує методи розподіленої обробки даних на краю мережі та централізоване управління в хмарі. Обрана архітектурна модель передбачає перенесення ресурсоємних завдань з первинної обробки та фільтрації сигналів на апаратні вузли. Завдяки цьому знижується навантаження на канали зв'язку та забезпечується висока швидкість реакції системи на зміни зовнішніх умов.

Архітектуру системи формують чотири взаємопов'язані рівні. Апаратний рівень представлений мережею інтелектуальних сенсорів на базі мікроконтролерів ESP32. Основне завдання цього рівня - пасивний моніторинг радіоефіру, виявлення запитів мобільних пристроїв та їх негайна анонімізація шляхом хешування MAC-адрес [20; 23; 34], що забезпечує формування об'єктивних даних про щільність пасажиропотоку в оперативному режимі без збору персональних даних. Взаємодія між периферійними вузлами та хмарною платформою, обмін інформацією реалізується на рівні передачі даних та здійснюється за протоколом HTTP/REST із використанням механізму передачі унікального ключа для кожного пристрою для автентифікації [40]. Важливою особливістю цього рівня є підтримка черги відправки та механізмів локального кешування. Головний елемент архітектури є серверний рівень який виконує роль «аналітичного ядра» системи. На цьому рівні здійснюється агрегація отриманих метрик, їх кореляція з часовими слотами та виконання алгоритму динамічного ціноутворення. Програмний інтерфейс координує роботу з базою даних та управляє рекламним інвентарем. Серверний рівень також включає веб-інтерфейси для рекламодавців та власників білбордів, а також спеціалізоване

програмне забезпечення «плеєр» для відтворення медіаконтенту на цифрових екранах.

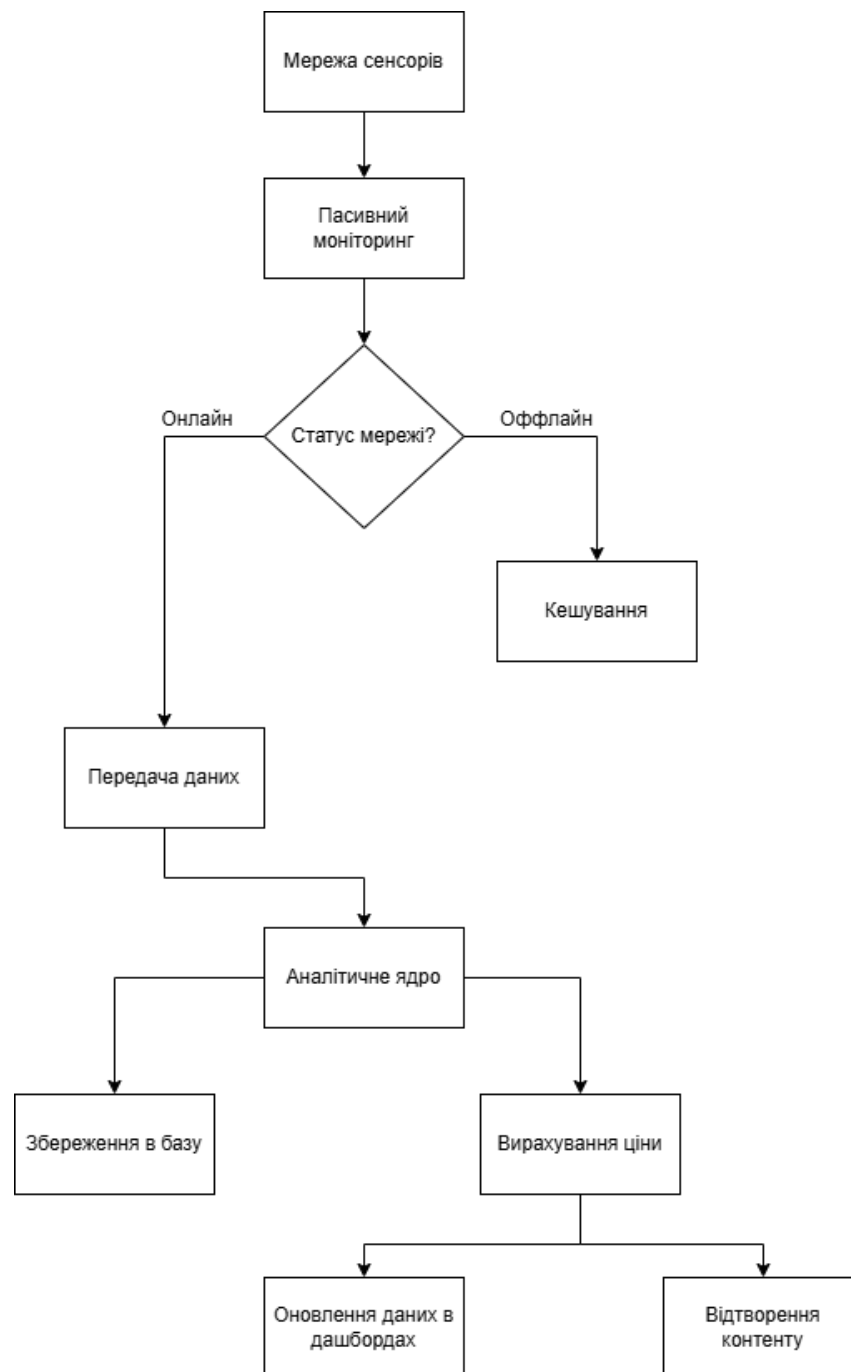


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи адаптивного управління медіаконтентом

Взаємодія компонентів системи відбувається за циклічним принципом. Процес починається зі сканування радіофіру апаратним вузлом. Він раз на

визначений період (наприклад, 30-60 секунд) формує пакет агрегованих даних про кількість унікальних пристроїв у зоні видимості. Після отримання цих даних сервером, алгоритм розраховує актуальну вартість рекламного слота, яка відображається в інтерфейсі рекламодавця. Одночасно з цим плеєр на рекламній конструкції надсилає запит до програмного інтерфейсу для отримання актуального списку відтворення.

Така структура забезпечує високу відмовостійкість. Вихід із ладу одного периферійного вузла не впливає на роботу всієї мережі. Централізоване управління дає змогу масштабувати систему шляхом додавання нових пристроїв та рекламних площин без зміни базової логіки. Окрема увага приділена безпеці. Кожен рівень взаємодії захищений механізмами автентифікації та авторизації.

## 2.2 Інфологічне та даталогічне проєктування бази даних

Проєктування бази даних вимагає врахування специфіки обробки як транзакційних даних, таких як платежі та управління кампаніями, так і потокових метрик, зокрема пасажиропотоку від IoT-вузлів. Центральним елементом системи збереження даних обрано реляційну систему управління базами даних PostgreSQL [42].

### 2.2.1 Обґрунтування вибору реляційної моделі (SQL vs NoSQL)

На етапі проєктування було проведено порівняльний аналіз між реляційними (SQL) та нереляційними (NoSQL) рішеннями.

Основним аргументом на користь реляційного підходу стала суворі відповідність принципам ACID [42]: атомарність, узгодженість, ізольованість, довговічність. Оскільки система інтегрує платіжний шлюз та оперує фінансовими транзакціями рекламодавців, будь-яка затримка в узгодженості даних, що є характерним для NoSQL, може призвести до некоректного списання

					КвРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коштів або дублювання операцій. Використання SQL гарантує чіткість стану системи у будь-який момент часу, що є основною вимогою для платіжних модулів.

Іншим важливим фактором є складність ієрархічних зв'язків між сутностями. Система передбачає глибоку вкладеність. Користувач керує рекламними площами, до яких прив'язані фізичні IoT-пристрої. Ці пристрої генерують величезні масиви метрик, які, у свою чергу, взаємопов'язані із часовими слотами активних кампаній. Реляційна модель забезпечує ефективну реалізацію таких залежностей через механізми зовнішніх ключів та складні запити об'єднання. Наприклад, при видаленні рекламного пристрою система автоматично обробляє пов'язані з ним метрики та плани показів.

Таблиця 2.1 – Порівняння реляційних моделей

Критерії	SQL	NoSQL
Схема даних	Сувора	Гнучка
Транзакції	Повна підтримка	Обмежена
Зв'язки	Ефективні JOIN	Вбудовані документи
Цілісність	Гарантована	На рівні прикладного коду

### 2.2.2 Технічні переваги PostgreSQL у контексті проекту

Вибір СУБД PostgreSQL ґрунтується на її можливостях, які виходять за межі класичного SQL, а саме підтримка JSONB (JavaScript Object Notation) для зручного збереження метрик, логів, метаданих креативів.

Окрім роботи з JSONB, важливою перевагою є висока продуктивність PostgreSQL при виконанні агрегаційних запитів. Оскільки алгоритм ціноутворення потребує швидкого опрацювання великих масивів даних для аналізу та розрахунку середньої щільності пасажиропотоку, використання різних

індексів (B-tree, BRIN) дає змогу оптимізувати роботу з часовими рядами та забезпечувати стабільний час відповіді від сервера.

Додатковою перевагою є велика бібліотека розширень, у межах проекту виникає потреба у використанні розширення PostGIS, яке забезпечує ефективну роботу з географічними даними. Необхідність роботи з географічними даними в межах роботи призначено для візуалізації рекламних площин на інтерактивній карті та при пошуку найближчих об'єктів інвентарю.

### 2.2.3 Інфологічна модель системи

Інфологічний етап проєктування зосереджений на описі сутностей та їх взаємозв'язків без прив'язки до конкретної реалізації. У системі виділено такі домени:

1. Домен користувачів. Об'єднує сутності Account, Profile.
2. Домен інвентарю. Сутність Billboard та Device.
3. Домен метрик. Сутність Metric.
4. Домен реклами. Сутності Campaign, Slot та Creative.

### 2.2.4 Даталогічна модель та фізична реалізація

На даталогічному рівні інфологічна модель перетворюється у фізичні таблиці. Кожен запис у таблиці Metrics займає фіксований обсяг пам'яті, що забезпечує можливість прогнозувати ріст бази даних.

Для оптимізації роботи модуля вирахування ціни, використовуються індексація полів для найшвидшого отримання результату від бази даних. Зокрема, використання композитних індексів для полів “device\_id” та “timestamp” пришвидшує операцію вибірки останніх метрик для конкретного білборда. Окрім цього, застосовуються часткові індекси які потрібні для фільтрації “свіжих” даних щоб зменшити навантаження на диск.

Запропонована архітектура зберігання даних забезпечує масштабовану обробку запитів від IoT-вузлів із збереженням консистентності фінансових балансів користувачів та стабільності роботи алгоритмів управління.



Рисунок 2.2 – ER модель реляційної бази даних

## 2.3 Проектування архітектури та інтерфейсу мобільного додатка

### 2.3.1 Архітектурне рішення та взаємодія

Для реалізації мобільного клієнта обрано кросплатформний підхід, що передбачає використання єдиної кодової бази для iOS та Android. Взаємодія мобільного додатка з серверною частиною системи відбувається через протокол HTTP з використанням архітектурного стилю REST.

На рисунку 2.3 показано загальну схему взаємодії мобільного додатка з іншими компонентами системи.

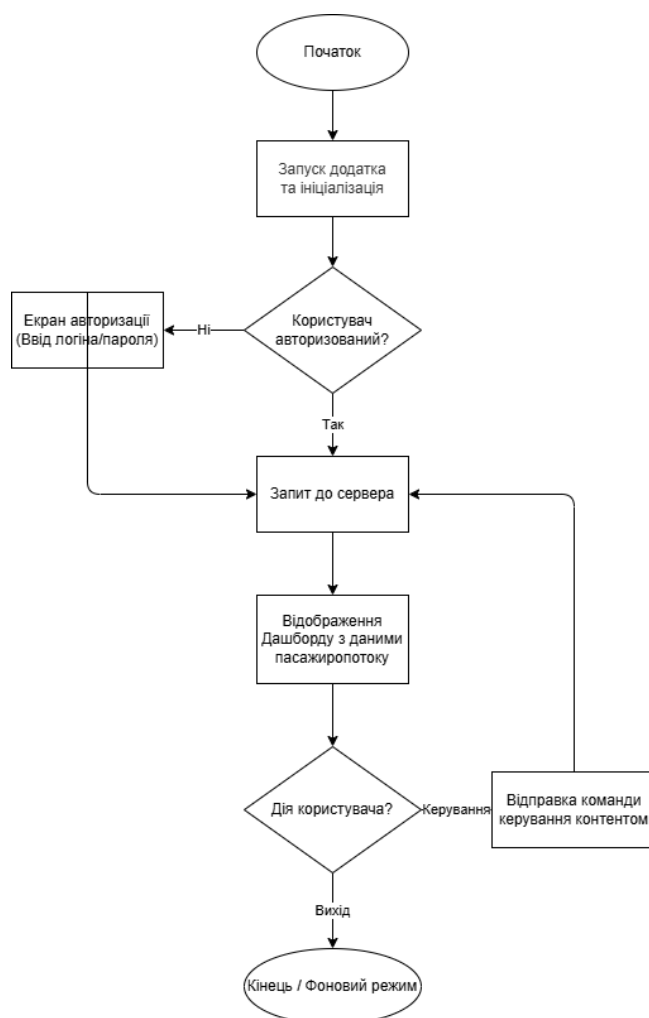


Рисунок 2.3 – Загальна схема взаємодії мобільного застосунка з іншими компонентами системи

Як видно зі схеми, мобільний додаток виконуватиме роль клієнта. Він надсилає запити до сервера для отримання даних або виконання дій. Сервер обробляє запити, взаємодіє з базою даних.

### 2.3.2. Проектування інтерфейсу

Проектування інтерфейсу користувача здійснювалось з дотриманням основних принципів для забезпечення нативного користувацького досвіду. Основний акцент був на ясності, інформативності та швидкості доступу до основних функцій.

Початкова розробка інтерфейсу розпочалася зі створення основних, не деталізованих схем, що дозволило визначити логіку переходів між екранами і розміщення основних елементів керування ще на стадії прототипу.

Структура інтерфейсу застосунку передбачає послідовний шлях від модуля авторизації до головного екрану, який працює центром відображення показників системи у поточний момент за допомогою інтерактивних віджетів. Архітектура інтерфейсу також містить в собі перелік підключених пристроїв з можливістю управління кожним вузлом та розділ налаштувань облікового запису.

Для забезпечення високого комфорту використано нижню навігаційну панель для переходу між основними функціональними модулями застосунку.

### 2.4 Математичне моделювання алгоритму динамічного ціноутворення

Особливістю платформи є перехід від статичного планування до динамічного управління вартістю рекламного інвентарю. Математичне моделювання цього процесу забезпечує автоматизацію торгів у живому режимі,

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що забезпечує обґрунтований розподіл ресурсів між власником медіаносія і рекламодавцем на основі фактичних даних про пасажиропотік.

#### 2.4.1 Обґрунтування вибору математичного підходу

В основу алгоритму покладено принцип відносного відхилення фактичного показника експозиції аудиторії від його історичного середнього значення.

Головною перевагою такого підходу є справедливість, рекламодавець сплачує додаткові кошти лише у випадках перевищення середнього рівня охоплення аудиторії.

Високий рівень стійкості та адаптивності системи досягається через механізм самокорекції, оскільки в кожного білборда автоматично розраховується власне значення середньої кількості пристроїв ( $N_{avg}$ ). Це забезпечує динамічну реакцію на зміни у коливанні трафіку в радіусі зони детектування. У момент аномального зростання кількості пристроїв, алгоритм коригує підсумкову ціну  $P$ , що забезпечує адаптивність вартості рекламного слота щодо актуальних даних.

#### 2.4.2 Виведення та опис розрахункової формули

Підсумкова вартість рекламного слота  $P$  розраховується за такою математичною моделлю:

$$P = P_{base} * (1 + \alpha * \frac{N_{fact} - N_{avg}}{N_{avg}}), \quad (2.1)$$

де основні змінні визначаються наступним чином:

$P_{base}$  – базова ціна за нормативних умов, встановлена власником білборда;

$N_{fact}$  – фактична кількість унікальних пристроїв, зафіксована мікроконтролером за останній інтервал;

$N_{avg}$  – історично очікуваний показник трафіку для даної локації та часу доби;

$\alpha$  – коефіцієнт волатильності, який визначає рівень агресивності ціноутворення (чутливість системи до змін).

#### 2.4.3 Роль коефіцієнта волатильності $\alpha$

Коефіцієнт  $\alpha$  виступає регулятором ринкової стратегії [10; 11; 15] платформи. Значення  $\alpha \in [0, 1]$  визначає гнучкість налаштування системи:

При  $\alpha = 0$  ціна стає статичною ( $P = P_{base}$ ), що вимикає динамічне ціноутворення.

При  $\alpha = 0.5$  (рекомендоване значення) зростання трафіку вдвічі спричинить здорожчання слота на 50%.

При  $\alpha = 1.0$  зростання ціни відбувається пропорційно росту аудиторії.

#### 2.4.4 Практичні сценарії та обмеження

Для забезпечення фінансової безпеки та стабільності роботи системи реалізовано механізми мінімальної ціни та максимальної ціни [10; 11]. Розглянуто розрахунок (за формулою 2.1) при  $P_{base} = 100$  грн,  $N_{avg} = 500$  чол/год та  $\alpha = 0.5$ .

Сценарій 1: «Година пік» (Націнка)

Якщо зафіксовано  $N_{fact} = 800$  осіб:

$$P = 100 * \left( 1 + 0.5 * \frac{800 - 500}{500} \right) = 100 * (1 + 0.3) = 130 \text{ грн.}$$

Результатом є збільшення прибутку завдяки підвищеній концентрації аудиторії.

Сценарій 2: «Нічний час» (Знижка)

Якщо зафіксовано низьку активність  $N_{fact} = 50$  осіб:

$$P = 100 * \left( 1 + 0.5 * \frac{50 - 500}{500} \right) = 100 * (1 - 0.45) = 55 \text{ грн.}$$

Спостерігається суттєве зниження вартості рекламного слота, що стимулює рекламодавців заповнювати слоти у малоактивний час.

Сценарій 3: «Аномальний натовп» (Захист системи)

Якщо датчик фіксує аномалію  $N_{fact} = 3000$  осіб (наприклад, технічний збій):

Розрахункова ціна склала б 350 грн. Проте в системі передбачено ліміт (Максимальна ціна = 3.0), тому ціна буде обмежена значенням  $3 * P_{base} = 300$  грн.

#### 2.4.5 Аналіз залежності вартості від щільності потоку

Графічна інтерпретація алгоритму демонструє лінійну залежність у межах встановлених лімітів. Впровадження цієї математичної моделі в структуру програмного інтерфейсу забезпечує прозорість розрахунків: кожен рекламодавець може отримати звіт, де ціна кожного показу обґрунтована метриками з IoT-вузлів.

Математична модель також враховує «свіжість» даних: якщо остання метрика від мікроконтролера надійшла більше ніж 15 хвилин тому, система автоматично скидає ціну до  $P_{base}$  для уникнення спекуляцій на неактуальних даних.

Таким чином, залежність вартості від щільності пасажиропотоку є контрольованою з погляду актуальності вхідних даних, тому модель є придатною для практичного використання.

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

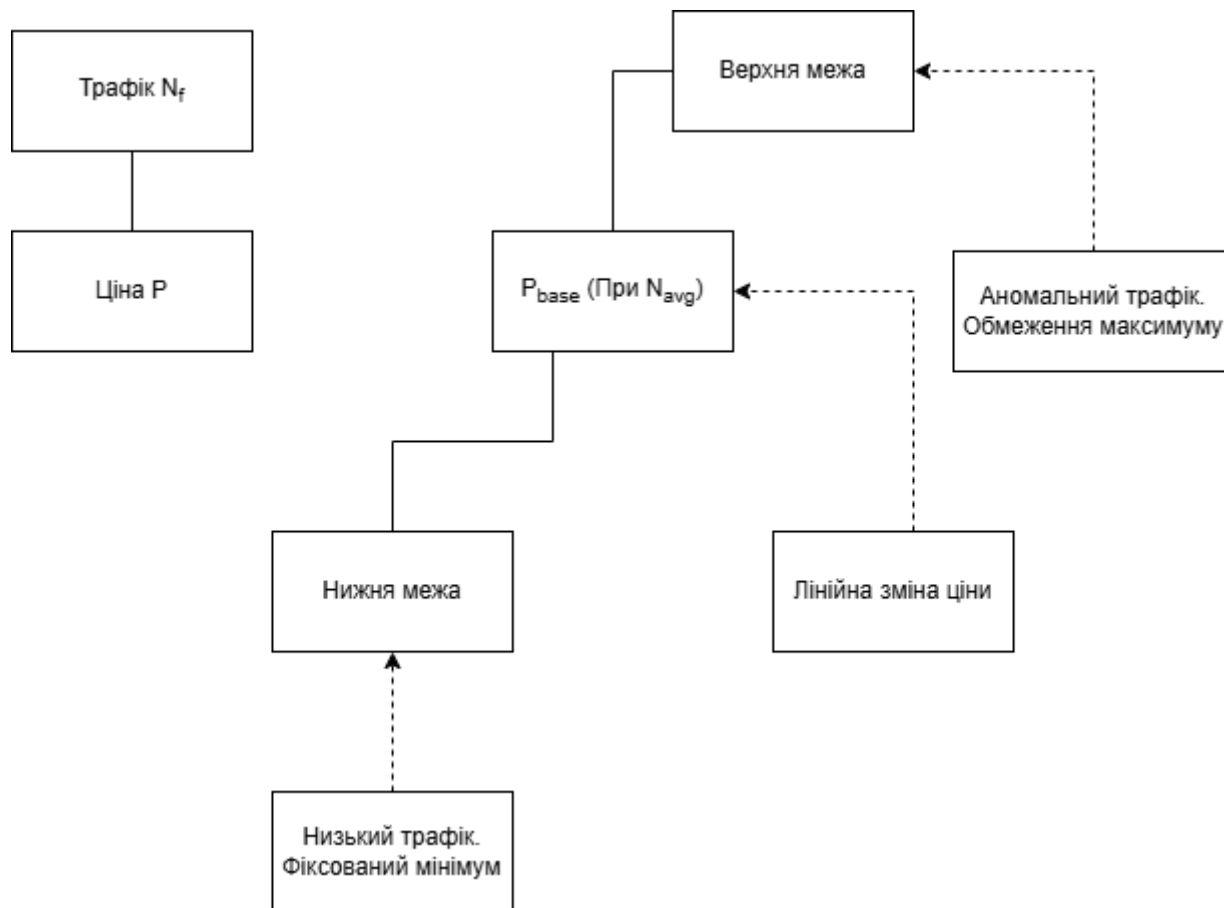


Рисунок 2.4 - Схема залежності вартості рекламного слота від щільності пасажиропотоку

## 2.5 Проектування протоколів взаємодії та безпеки даних

У кіберфізичних системах, де поєднуються апаратні вузли та веб-інтерфейси, забезпечення безпеки даних є багаторівневим завданням. У системі адаптивного управління медіаконтентом реалізовано гібридну модель автентифікації, яка враховує обмежені ресурси IoT-пристроїв та вимоги безпеки для фінансових операцій користувачів.

### 2.5.1 Розподілена модель автентифікації

Для безпечної взаємодії між компонентами системи запроваджено підхід до автентифікації користувачів, що враховує технічні можливості різних типів

клієнтів. Веб-інтерфейси використовують протокол JSON Web Token JWT для авторизації адміністраторів, власників та рекламодавців. Застосування цієї безстанової моделі, де сервер не зберігає сесії забезпечує легке масштабування системи.

Разом з тим, мікроконтролери використовують статичні ключі доступу, що передаються у заголовках HTTP-запитів. Такий метод є менш ресурсомістким для мікроконтролера порівняно з повноцінним JWT-обміном, але забезпечує достатній рівень захисту від несанкціонованого доступу до метрик.

### 2.5.2 Розмежування прав доступу

Для управління доступом до функцій платформи впроваджено модель на основі ролей. Кожен запит до сервера проходить через систему фільтрації доступів. Роль адміністратора передбачає повний доступ до системних конфігурацій, управління всіма обліковими записами і централізований моніторинг технічного стану мережі пристроїв. Власники білбордів можуть реєструвати білборди та IoT-модулі, аналізувати дані про пасажиропотік і встановлювати базові тарифи для рекламних слотів. Рекламодавці мають доступ до для створення кампаній, сервісів для вибору локацій, управління фінансовим балансом та перегляду звітів про ефективність показів. Такий розподіл прав забезпечує ізоляцію даних і захист від недозволених дій у межах різних бізнес-моделей користувачів.

### 2.5.3 Життєвий цикл запиту та компоненти обробки

Для високої надійності та цілісності даних кожен вхідний запит на сервері проходить через ланцюжок спеціалізованих компонентів обробки. На початковому етапі, сервер перевіряє наявність та валідність токена або ключа програмного інтерфейсу. Якщо автентифікація не пройдена, запит негайно

відхиляється з помилкою. Після успішного підтвердження автентифікації, перевіряється, чи має користувач (наприклад, рекламодавець) права на виконання конкретної дії (наприклад, зміну ціни на чужому білборді).

Наступний рівень містить валідацію та трансформацію даних, де вхідні дані (JSON-об'єкти з метриками або параметрами реклами) перевіряються на відповідність типам даних та бізнес-правилам. На цьому етапі відсікання некоректних або шкідливих даних. Паралельно з цим виконуються операції по пре-обробці, що включаються в себе логування часу виконання запиту або кешування частих відповідей, щоб знизити навантаження на базу даних. Завершальним етапом цього циклу є передача запиту до бізнес-логіки, яка взаємодіє з базою даних для збереження, оновлення, видалення або отримання інформації.

#### 2.5.4 Забезпечення оновлень у режимі реального часу

Після успішного збереження нових метрик у базі даних система ініціює подію для оновлення інтерфейсів користувачів за допомогою протоколів зв'язку. Такий механізм дає змогу власникам білбордів відстежувати зміни в пасажиропотоці без необхідності оновлення сторінки браузера. В межах проекту, це потрібно для моніторингу активності в актуальному стані.

#### 2.6 Проектування логіки функціонування периферійного вузла

Ефективність роботи системи залежить від стабільності та інтелектуальної роботи її "нижнього" рівня, периферійних вузлів моніторингу. На цьому рівні мікроконтролер діє як автономний обчислювальний центр. Він здійснює потокову обробку сигналів, забезпечує фільтрацію шумів та відповідає за передачу важливих даних.

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.6.1 Моделювання циклів роботи та станів пристрою

Програмна логіка периферійного вузла спроектована на основі розділення часових ресурсів. Один радіомодуль в мікроконтролері ESP32 робить неможливою одночасну роботу в режимі активного підключення до мережі та в режимі пасивного прослуховування ефіру. Для цього була розроблена циклічна модель станів, яка забезпечує чергування фази збору інформації і синхронізації з хмарною платформою.

Процес розпочинається з фази пасивного моніторингу, де пристрій переходить у нерозбірливий режим, відключаючи стандартні стеки протоколів TCP/IP. У цьому режимі мікроконтролер працює на прийом пакетів, фіксуючи унікальні ідентифікатори мобільних терміналів у радіусі дії. Після завершення етапу збору даних, вузол переходить у режим передачі та синхронізації, відновлюється підключення до точки доступу Wi-Fi, активується стек HTTP-клієнта для відправки сформованого JSON-пакета на сервер адаптивного управління медіаконтентом. Завершальним етапом кожного циклу є технічна пауза, під час якої здійснюється очищення оперативної пам'яті від накопичених ідентифікаторів та готується пристрій до нового циклу сканування. Запропонована послідовність операцій забезпечує ефективне чергування фази моніторингу та передачі даних, запобігаючи переповненню пам'яті та забезпечує стабільну і автономну роботу периферійного модуля.

Побудована структура забезпечує послідовне виконання ключових функцій периферійного вузла без взаємного блокування процесів збору та передавання даних. Таким чином є змога підтримувати безперервність моніторингу та своєчасне оновлення інформації на платформі, що підвищує передбачуваність роботи пристрою та спрощує тестування логіки в умовах експлуатації.

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

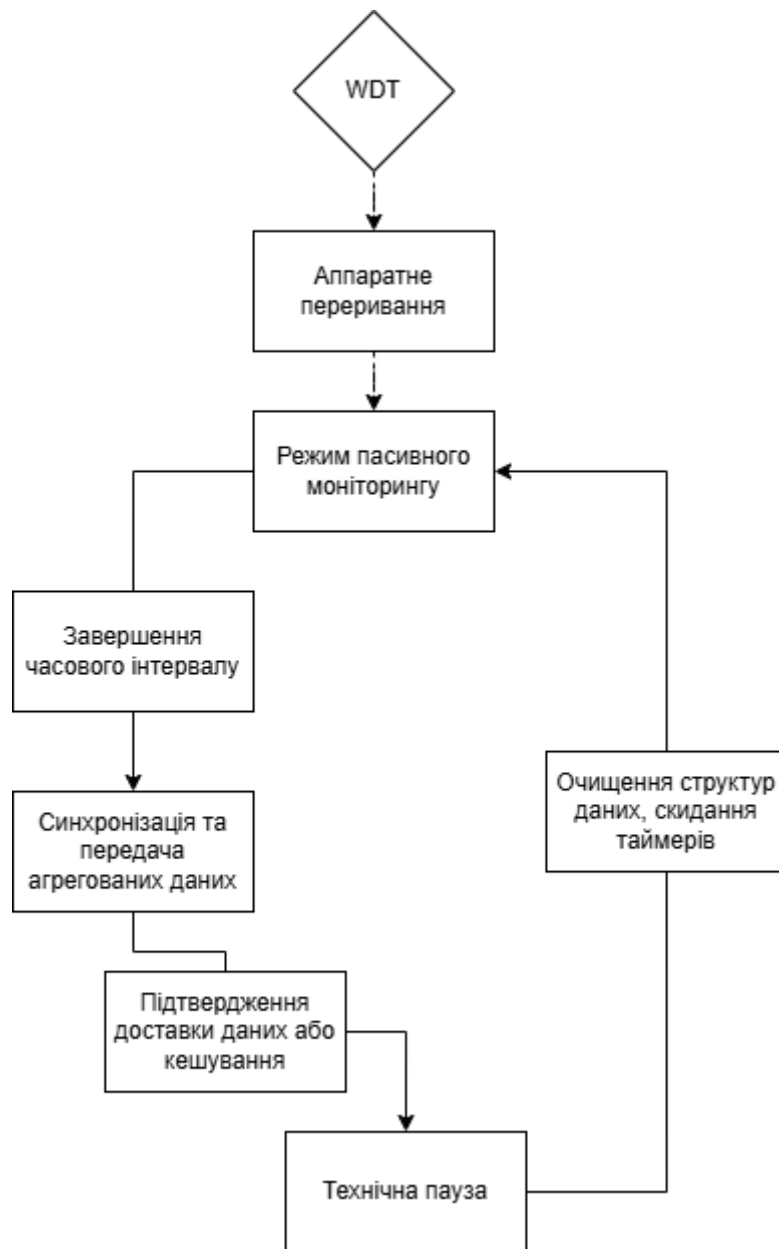


Рисунок 2.5 – Діаграма станів периферійного вузла моніторингу

### 2.6.2 Алгоритм частотного сканування

Wi-Fi мережі функціонують у широкому спектрі частот, зазвичай 13 каналів у діапазоні 2.4 ГГц. Для досягнення максимальної репрезентативності вибірки було впроваджено алгоритм динамічного перемикання каналів. Оскільки пристрої пасажирів можуть відправляти пакети на будь-якому каналі, мікроконтролер реалізує стратегію переходу між частотами з інтервалом у 250 мілісекунд.

### 2.6.3 Забезпечення відмовостійкості через апаратний таймер

Експлуатація пристроїв у міському середовищі пов'язана з ризиками непередбачуваних факторів, від коливань напруги в електромережі до радіоперешкод, що може призвести до зависання мережевого стека. Щоб гарантувати безперервну роботу без втручання обслуговуючого персоналу, до логіки вузла інтегровано апаратний таймер (Hardware watchdog timer, WDT).

Принцип роботи таймера полягає у створенні апаратного "лічильника смерті" в модулі процесора. Він автоматично перезавантажує пристрій, якщо основний цикл програми не скине цей таймер протягом 60 секунд. Використання апаратного таймеру робить систему автономною та здатною до самовідновлення після програмних або мережевих збоїв.

### 2.6.4 Логіка офлайн-кешування на основі файлової системи

Одна з важливих функцій периферійного вузла полягає у збереженні аналітичних даних при втраті інтернет-з'єднання. Для цього була розроблена система локального буферування на основі файлової системи, яка використовує частину внутрішньої флеш-пам'яті мікроконтролера.

Алгоритм кешування при кожній спробі відправки даних система перевіряє статус відповіді від сервера, якщо сервер недоступний або Wi-Fi відсутній, дані не видаляються, а записуються в спеціальний локальний файл-чергу.

Після відновлення з'єднання пристрій спочатку проводить "вивантаження" всіх записів із кешу в хронологічному порядку, а після підтвердження від сервера очищає локальний файл.

					КвРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.7 Проектування користувацьких інтерфейсів

Остаточним етапом проектування архітектури системи адаптивного управління медіаконтентом є розробка клієнтських інтерфейсів та логіки взаємодії з користувачем. Враховуючи багатofункціональність платформи, інтерфейс має забезпечувати просте управління складними процесами: від моніторингу апаратних вузлів до фінансових операцій та аналізу рекламної ефективності.

### 2.7.1 Обґрунтування вибору технологічного стека фронтенду

Для реалізації клієнтської частини системи обрано стек технологій, що базується на компонентно-орієнтованому підході. Цей вибір обумовлений потребою у створенні високопродуктивних, реактивних інтерфейсів, які здатні динамічно відображати зміни даних без перезавантаження сторінок. Компонентний підхід уніфікує елементи дизайну для різних модулів, спрощує підтримку та створює основу для подальшого розширення функціональності.

### 2.7.2 Розробка структури кабінетів та рольових моделей

Проектування архітектури особистих кабінетів ґрунтується на чіткому розподілі функціональних ролей, що забезпечує адаптацію інтерфейсу до конкретних бізнес-завдань різних груп користувачів.

Панель управління власника інвентарю об'єднує центр технічного адміністрування периферійних пристроїв і модуль комерційного менеджменту. Ця частина системи забезпечує реєстрацію нови мікроконтролерів, дистанційно моніторити їхню працездатність і керувати версіями програмного забезпечення. Разом з тим, власник може інтегрувати рекламні конструкції в загальну карту,

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлювати базові тарифи  $P_{base}$  та відстежувати динаміку пасажиропотоку для кожного вузла.

Функціональний простір рекламодавця спрямований на візуалізацію доступних ресурсів і спрощення процесу закупівлі трафіку. Основним елементом інтерфейсу є інтерактивна карта, яка динамічно відображає популярність локацій і актуальну вартість рекламних слотів. Щоб покращити зручність взаємодії, був впроваджений конструктор кампаній, який передбачає поетапне завантаження медіаконтенту, обирати цільові білборди, формувати бюджет і визначати розклад показів методом купівлі окремого часового діапазону роботи кампанії. Такий розподіл інструментів забезпечує цілісність бізнес-логіки платформи і зменшує час на виконання повторюваних операцій.

### 2.7.3 Логіка роботи модуля «Плеєр»

Одним із основних елементів інтерфейсу є веб-додаток «Плеєр», який запускається на контролерах рекламних екранів. Його архітектура спроектована за принципом “тонкий клієнт”. Плеєр не містить складної логіки вибору контенту, він просто встановлює постійне з’єднання з сервером, отримує список відтворення та відображає його.

### 2.7.4 Інтеграція платіжних шлюзів та фінансовий шлях користувача

Щоб забезпечити комерційну складову системи адаптивного управління медіаконтентом, спроектовано шлях користувача від вибору послуги до оплати. Важливою частиною логіки є безшовна інтеграція з платіжною системою.

Процес реалізовано наступним чином:

1. Рекламодавець формує бюджет кампанії в особистому кабінеті.
2. Система генерує сесію оплати та перенаправляє користувача на захищену сторінку транзакції.

3. Після успішного підтвердження платежу, баланс користувача поповнюється автоматично, що активує запуск рекламних матеріалів у мережі.

#### 2.7.5 Адаптивність та реальний час

Власникам білбордів важливо реагувати на стан обладнання, тому інтерфейс підтримує технологію WebSockets, щоб миттєво оновлювати графіки пасажиропотоку та статуси пристроїв у браузері. Крім того, всі інтерфейси спроектовані з урахуванням принципів адаптивного дизайну, що забезпечує коректне відображення панелей управління як на настільних комп'ютерах, так і на мобільних пристроях адміністраторів.

#### 2.8 Висновки до другого розділу

У другому розділі виконано проектування бази даних, архітектури та програмного інтерфейсу, протоколів взаємодії та безпеки, а також проектування мобільного застосунку для перегляду інформації для власників білбордів, окрім цього розглянуто логіку конфіденційності даних(хешування MAC-адрес при передачі на сервер), економічну складову та можливість легкого старту мікроконтролера(Завантаження прошивки одразу з веб панелі).

### 3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ МЕДІАКОНТЕНТОМ

#### 3.1 Апаратна реалізація на базі мікроконтролера

У процесі розробки системи адаптивного управління медіаконтентом апаратний рівень відіграє важливу роль, оскільки він є основним джерелом аналітичних даних про навколишнє середовище. Програмно-технічна реалізація периферійного вузла моніторингу націлена на безперервний збір інформації, її автономну обробку та надійну передачу до вузла сервера [16].

##### 3.1.1 Вибір середовища розробки та обґрунтування інструментарію

Для розробки мікропрограмного забезпечення обрали мову програмування C++ і екосистему Arduino IDE з підтримкою платформ ESP32. Використання цього інструменту прискорює розробку проектів завдяки багатьом готовим бібліотекам та забезпечує доступ до низькорівневих функцій ESP-IDF від виробника чипа.

Використання ESP-IDF є необхідним для реалізації режиму пасивного прослуховування Wi-Fi модуля, оскільки стандартні високорівневі бібліотеки Arduino не надають можливості перехоплення пакетів на рівні управління радіоефіром. Завдяки цьому стає можливим перетворення стандартного Wi-Fi модуля на пасивний сканер, здатний аналізувати трафік без встановлення мережевого зв'язку.

##### 3.1.2 Програмна реалізація механізму пасивного сніфінгу

Основним компонентом програмного забезпечення є механізм перехоплення пакетів, на відміну від звичайної роботи Wi-Fi, де пристрій ігнорує

					КвРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пакети, не адресовані йому, у цій системі мікроконтролер переходить у режим прослуховування всіх кадрів керування.

Процес ідентифікації аудиторії реалізовано як послідовний алгоритм обробки сигналів. На першому етапі функція зворотного виклику отримує сирий масив байтів безпосередньо з радіомодуля. Після чого здійснюється фільтрація за типом, де система відсікає всі пакети, окрім запитів на зондування, які смартфони пасажирів відправляють у пошуках відомих мереж. Після ідентифікації, з кадру(запиту) вилучається унікальна MAC-адреса джерела, яка знаходиться у фіксованому зміщенні заголовка 802.11. З метою суворого дотримання принципів приватності та вимог GDPR, отримані MAC-адреси не зберігаються у чистому вигляді, а піддаються хешуванню або фільтрації дублікатів.

Застосування механізмів анонімізації забезпечує можливість формування аналітики пасажиропотоку без збереження персональних ідентифікаторів та без відстеження переміщення користувачів поза межами зони дії сенсора. Додатково логіка роботи контролера передбачає короткочасне зберігання тимчасових ідентифікаторів у оперативній пам'яті. Після завершення циклу сканування, накопичені значення використовуються лише для підрахунку кількості унікальних пристроїв, після того очищуються.

Важливою особливістю реалізації є фільтрація повторюваних сигналів від одного й того самого пристрою в межах одного циклу моніторингу, тому є змога уникнути штучного завищення показників пасажиропотоку, оскільки мобільний термінал може надсилати декілька запитів на зондування протягом короткого проміжку часу. У результаті система формує більш об'єктивне уявлення про фактичну кількість присутніх користувачів у зоні дії білборда.

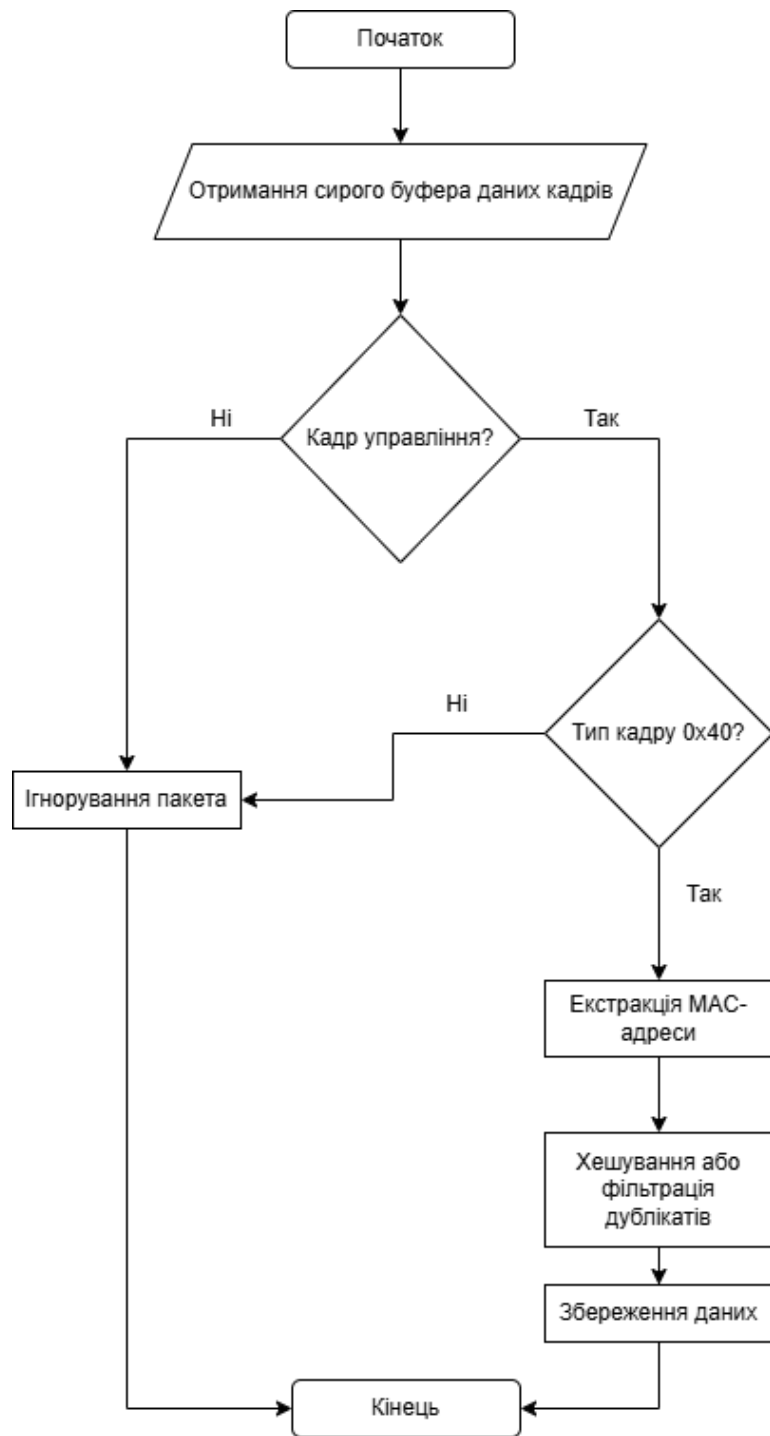


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму перехоплення пакетів

### 3.1.3 Забезпечення стабільності та автономності вузла

Оскільки периферійні пристрої системи адаптивного управління медіаконтентом призначені для роботи у складних міських умовах без

постійного нагляду, особливу увагу приділено механізмам самовідновлення та відмовостійкості.

Основним механізмом запобіганням збоєм є апаратний таймер. Цей механізм виключає тривалі “зависання” вузла, які виникли внаслідок помилок, нестабільного живлення або інших проблем, механізм працює по принципу скидання таймеру кожні 60 секунд, а у разі порушення цього циклу, мікроконтролер автоматично ініціює повне перезавантаження для відновлення працездатності.

Паралельно з апаратним захистом реалізовано логіку забезпечення цілісності даних на основі збереження даних в енергонезалежну пам'ять мікроконтролера. У разі втрати зв'язку, система переходить у режим автономної роботи, за якого всі зібрані метрики накопичуються у внутрішній файлової системі. Після відновлення зв'язку, відбувається синхронізація зібраних даних з сервером та ресурси які були задіяні на збереження даних звільнюються.

### 3.1.4 Механізм віддаленого оновлення

Для забезпечення масштабованості системи реалізовано підтримку Over-The-Air оновлень через модуль HTTP Update. Щоб централізовано оновлювати логіку роботи пристроїв без їх демонтажу з рекламних конструкцій та без ручного підключення до плати з подальшим прошиванням її.

Алгоритм оновлення складається з послідовності автоматизованих дій. Він починається з запиту до сервера для перевірки поточної версії прошивки. Якщо версії не збігаються, мікроконтролер завантажує актуальний бінарний образ програмного забезпечення у резервний розділ пам'яті. Після завершення завантаження і перевірки цілісності файлу система переключує активний завантажувальний розділ і автоматично перезавантажується. У результаті пристрій запускається з новим програмним кодом, зберігаючи конфігураційні дані.

### 3.1.5 Обґрунтування вибору апаратної платформи та периферії

При виборі апаратної бази було проведено порівняння між популярними мікроконтролерами: Arduino (ATmega328P), ESP8266 та ESP32. Вибір ESP32 обумовлений наявністю двох ядер, що забезпечує розподіл обчислювальних ресурсів: одне ядро виконує роботу Wi-Fi стека та операції шифрування, а друге обробляє логіку, запис у пам'ять та шифрування даних

Також врахували енергоспоживання пристрою. Використання режимів засинання модему оптимізує живлення у моменти, коли активного сканування не проводиться, що важливо для потенційного використання автономних джерел живлення. Щоб забезпечити максимальний радіус охоплення, обрали модифікацію ESP32-WROOM з роз'ємом для зовнішньої антени, яка може збільшити дальність детектування запитів до 50–70 метрів у відкритому просторі, але в сценарії використання її для білбордів – антена надмірна.

## 3.2. Реалізація мобільного клієнта

### 3.2.1. Обґрунтування вибору технологічного стеку

Вибір технологічного стеку для розробки мобільного клієнта викликаний потребою забезпечення кросплатформності та високої швидкості створення інтерфейсів. Використання сучасних інструментів для створення нативних додатків за допомогою високорівневих мов програмування передбачає роботу з єдиною кодовою базою для операційних систем iOS та Android. Кросплатформна модель суттєво скорочує час розробки і знижує витрати на подальшу технічну підтримку системи.

Технічна архітектура рішення ґрунтується на асинхронній взаємодії бізнес-логіки з нативними потоками пристрою, що гарантує швидкий відгук і плавну графіку. Головна особливість - декларативний підхід, де інтерфейс формується

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

як ієрархія незалежних модулів. Застосування декларативного підходу забезпечує синхронізацію елементів екрана при зміні даних, що є важливим для моніторингу пасажиропотоку в поточний момент часу.

### 3.2.2. Основні аспекти реалізації та бібліотеки

Програмна архітектура мобільного клієнта опирається на принципи модульності та чіткого розподілу відповідальності між шаром відображення і бізнес-логікою. Центральним елементом системи є модуль управління станом, який забезпечує єдине джерело інформації для всіх компонентів інтерфейсу. Використання глобального сховища синхронізує дані про поточні метрики пасажиропотоку і стан IoT-пристроїв між різними екранами без зайвих запитів до сервера. Завдяки цьому гарантується цілісність інформації яка відображається в кабінеті власника, навіть при складній ієрархії навігації.

Взаємодія з серверною частиною реалізована через спеціалізований сервісний шар, що інкапсулює логіку запитів до програмного інтерфейсу. Модуль забезпечує автоматичну автентифікацію кожного запиту, додаючи токени в заголовки, а також виконує попередню обробку і перевірку відповідей. Для візуалізації динамічних показників використано інтеграцію з бібліотеками для побудови графіків, завдяки чому сирі масиви даних з бази даних перетворюються у зрозумілі аналітичні звіти на мобільному пристрої.

Використання окремих бібліотек для роботи з навігацією, станом додатка та візуалізацією даних спрощує підтримку програмного коду й подальше розширення функціональності мобільного клієнта. Ізоляція окремих компонентів системи зменшує залежність між модулями та підвищує стабільність роботи застосунку. У результаті мобільний додаток залишається гнучким до зміни вимог і може бути адаптований до подальшого розвитку серверної частини та інфраструктури.

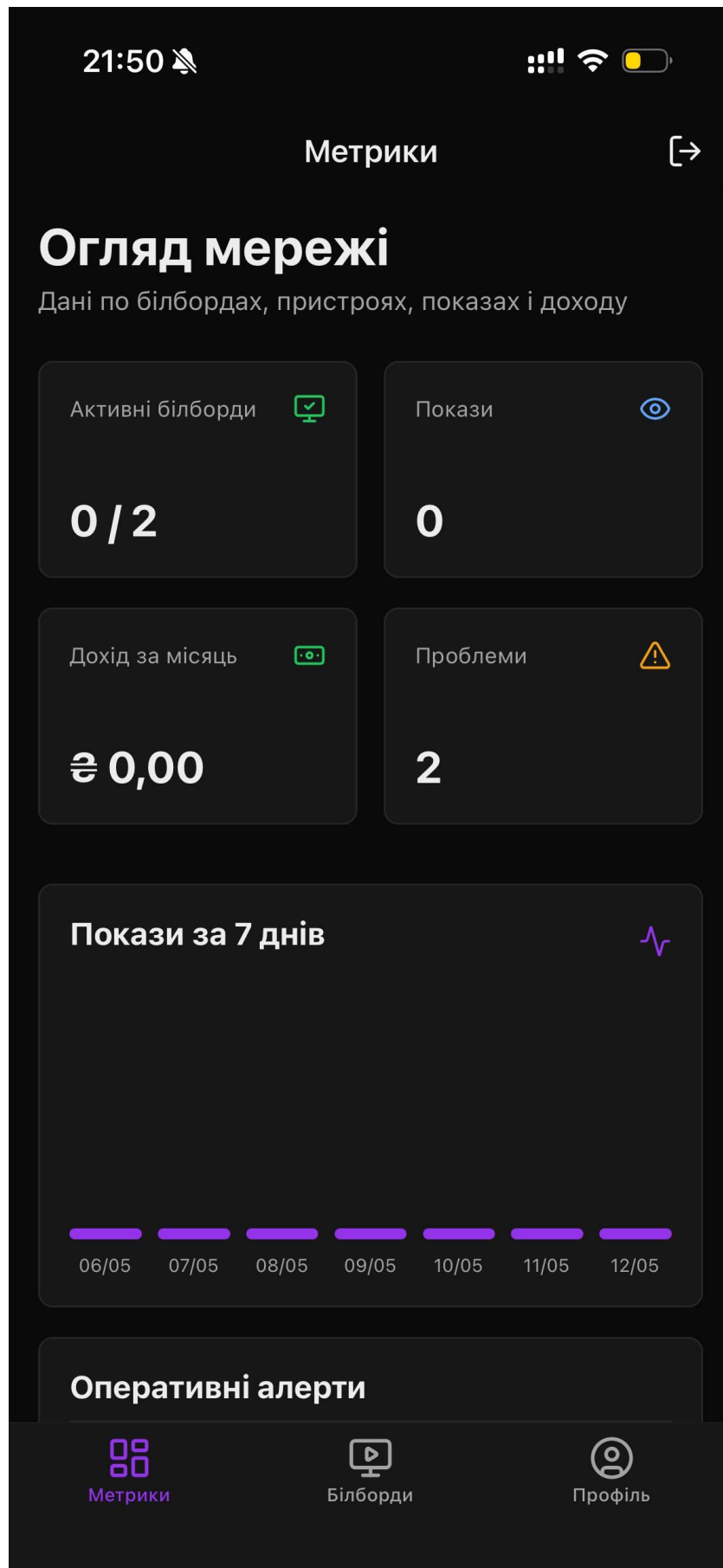


Рисунок 3.2 – Приклад відображення головного меню застосунку

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

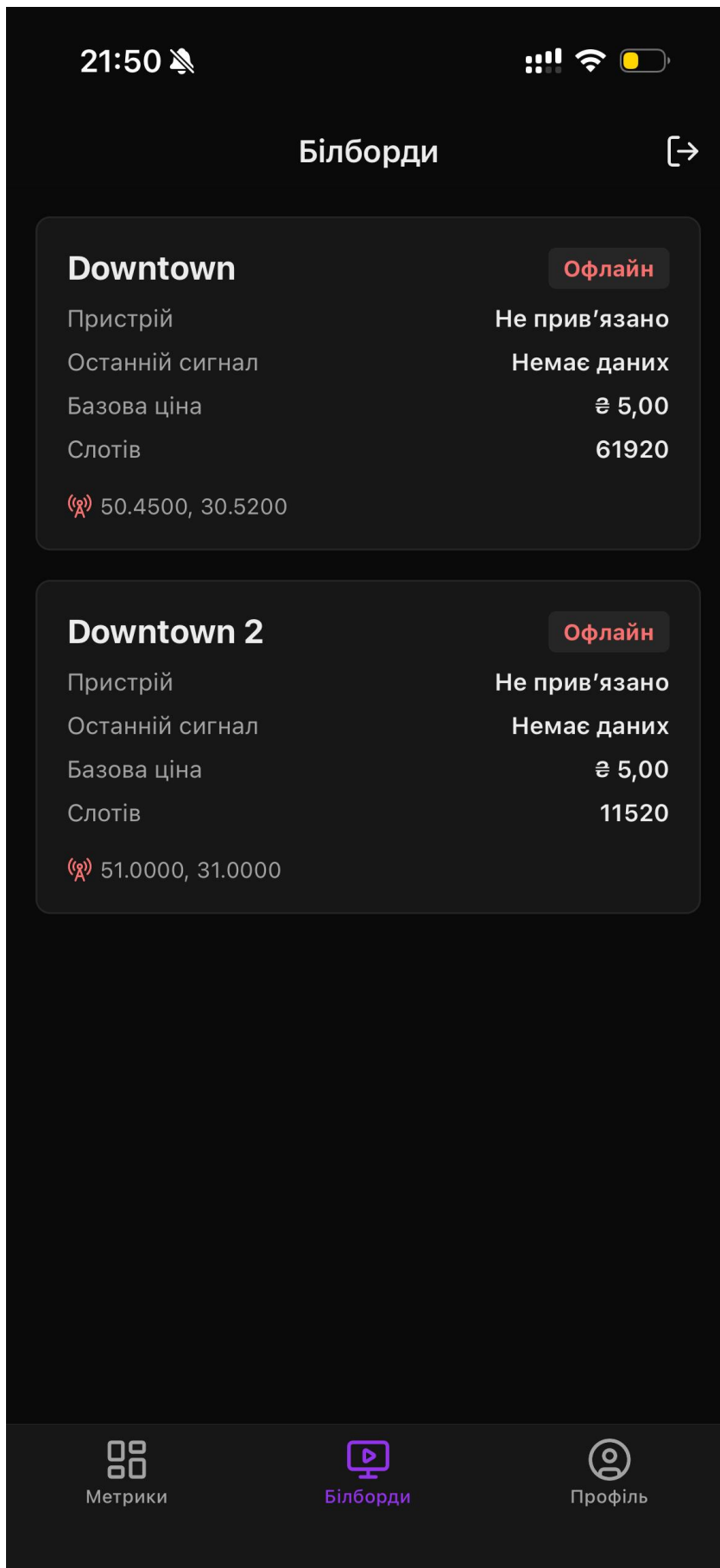


Рисунок 3.3 – Приклад відображення списку білбордів

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

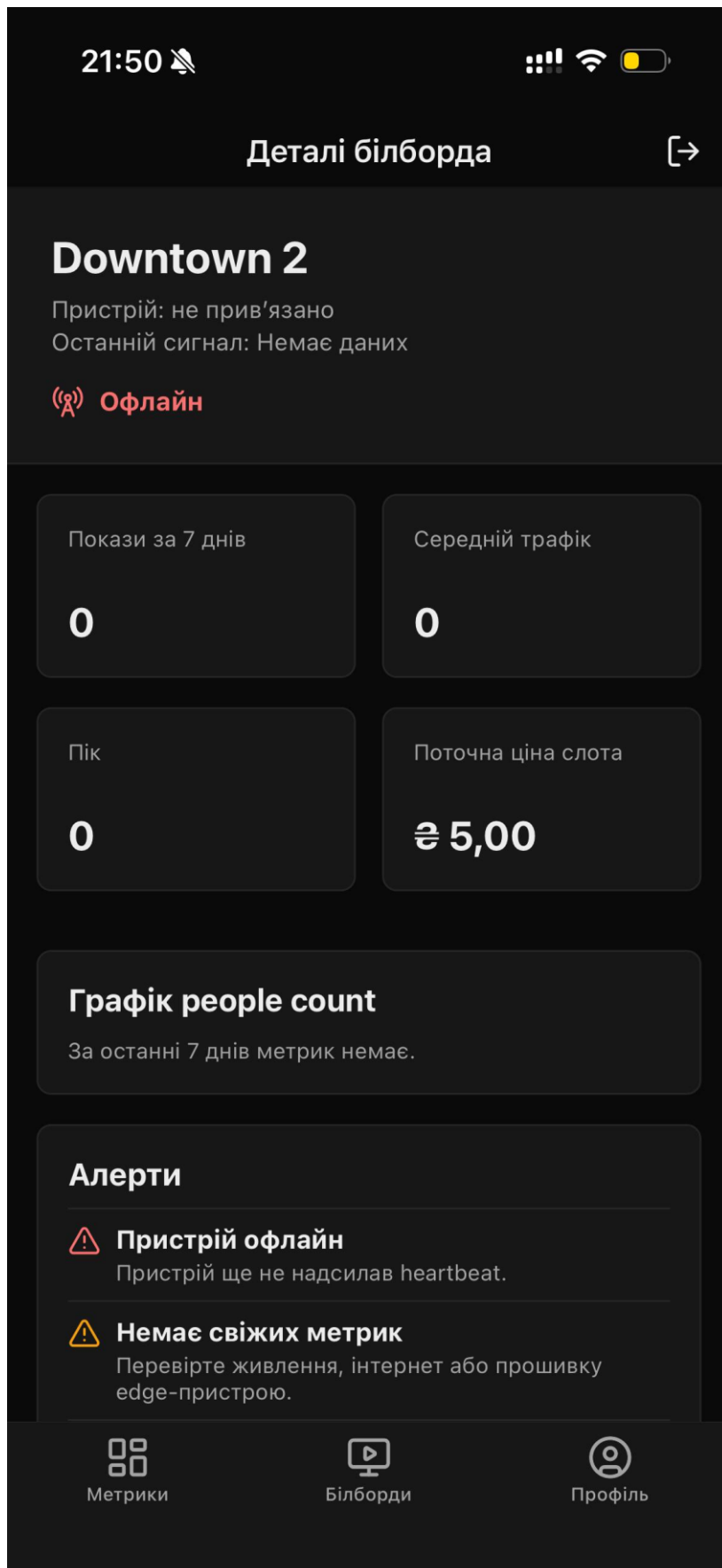


Рисунок 3.4 – Приклад відображення детальної інформації про білборд

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3 Розробка серверної частини платформи

Серверна частина системи адаптивного управління медіаконтентом є головним інтелектуальним вузлом, який забезпечує координацію між периферійними пристроями, клієнтськими інтерфейсами та базами даних. Використання сучасного стеку технологій дозволило створити масштабовану архітектуру, здатну забезпечувати потокову обробку високочастотних даних із мінімальною затримкою.

#### 3.3.1 Архітектурний підхід та валідація даних

Для створення надійного програмного інтерфейсу була обрана модульна структура. Кожен функціональний блок, наприклад, управління пристроями або обробка платежів, ізольований в окремий сервіс.

Основним стандартом взаємодії став REST API, який забезпечує універсальне підключення для різних типів клієнтів. Важливою архітектурною особливістю реалізації серверної логіки є впровадження механізмів декларативної валідації на основі анотацій та метаданих.

Процес верифікації вхідних даних від периферійних вузлів проходить через шар валідації. На рівні схеми перевіряється цілісність обов'язкових полів та відповідність типів даних. Наприклад, відбувається верифікація числових значень лічильників пасажиропотоку. Важливу роль у забезпеченні стабільності системи відіграє впровадження патерну Data Transfer Objects (DTO). Завдяки цьому некоректно сформовані пакети відфільтровуються ще на етапі входу, що запобігає накопиченню невалідних метрик у базі даних і підвищує загальну безпеку системи.

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3.2 Взаємодія з базою даних через об'єктно-реляційне відображення

Для ефективної взаємодії між серверною логікою та реляційною системою управління базами даних був впроваджений шар об'єктно-реляційного відображення. Це рішення абстрагує роботу з даними від низькорівневих SQL-запитів і подає дані у вигляді об'єктів мовою програмування, що прискорює розробку та підвищує читабельність коду.

Однією з пріоритетних характеристик обраного підходу є забезпечення суворої типобезпеки, що гарантує стабільність операцій з даними. Автоматична синхронізація типів з актуальною схемою бази даних допомагає виявляти помилки невідповідності структур на етапі написання коду, що важливо для надійності фінансових модулів системи. Окрему увагу приділено оптимізації агрегаційних запитів. Алгоритм розрахунку динамічного ціноутворення потребує обробки великих масивів даних за інтервали від 15 до 60 хвилин. Щоб підтримувати стабільний час відповіді при високому навантаженні, впроваджено стратегію індексації, що опирається на використання композитних індексів за полями ідентифікатора пристрою та часової мітки.

Застосування таких методів оптимізації сприяє швидкому виконанню складних вибірок і розрахунків. У результаті система підтримує стабільну продуктивність навіть за умови значного зростання обсягу даних у таблицях метрик.

### 3.3.3 Програмна реалізація алгоритму ціноутворення

Сервіс ціноутворення є логічним ядром системи забезпечуючи програмну реалізацію математичної моделі.

Алгоритмічний цикл розрахунку вартості рекламного слота розпочинається з етапу збору метрик, під час якого система дістає з бази даних агреговані показники активності пасажиропотоку за визначене часове вікно для

кожної конкретної локації.

На основі отриманих даних сервіс здійснює аналіз відносного відхилення фактичного трафіку від історичного показника  $N_{avg}$ , що зберігається в конфігураційних параметрах білборда. Фінальний етап обчислень передбачає застосування математичної логіки згідно з формулою (2.1), де враховуються коефіцієнт волатильності та встановлені граничні межі вартості.

Після розрахунку сервіс автоматично оновлює статус ціни в базі даних, після чого зміни миттєво синхронізуються з інтерфейсами рекламодавців через протоколи взаємодії.

### 3.3.4 Безпека, автентифікація та авторизація

Захист системи ґрунтується на багаторівневій моделі безпеки, яка забезпечує цілісність даних і розмежування доступів для різних учасників. Для користувачів веб-інтерфейсу реалізовано механізм автентифікації на основі зашифрованих токенів, що токени генеруються після успішного входу в систему. Вони містять зашифровану інформацію про роль користувача і термін дії сесії.

Окремий рівень захисту розроблено для мікроконтролерів, враховуючи їхні обмежені обчислювальні ресурси, реалізовано верифікацію через статичні ключі доступу, які передаються безпосередньо в заголовках HTTP-запитів. Серверна частина виконує перевірку ключа і автоматично асоціює отримані метрики з конкретним ідентифікатором пристрою в базі даних.

Завершальним етапом моделі безпеки є механізм розмежування доступу на основі рольових політик. Впровадження суворої ізоляції даних підтримує гнучке налаштування прав доступу. Наприклад, рекламодавці працюють виключно зі своїми кампаніями і звітами, тоді як власники обладнання мають доступ лише до технічних логів(своїх білбордів) і параметрів ціноутворення свого інвентарю.

### 3.3.5 Схеми бази даних та структура збереження метрик

Проектування схеми бази даних спиралося на принцип нормалізації, що допомагло уникнути надмірності даних і зберегти високу швидкість аналітичної обробки. Логічна структура системи включає кілька ключових сутностей, що взаємодіють між собою, забезпечуючи повний цикл управління медіаконтентом. Наприклад, сутність пристроїв (Devices) призначена для зберігання унікальних ідентифікаторів, поточного технічного статусу мікроконтролерів. Паралельно таблиця рекламних кампаній (Campaigns) накопичує параметри бюджетів, посилання на медіафайли й цільові показники охоплення аудиторії.

Головне місце в цій архітектурі займає таблиця метрик (Metrics), яка є найбільш навантаженим вузлом бази даних. Вона записує часові мітки, кількість унікальних хешованих MAC-адрес і ідентифікатори джерел даних. Щоб підтримувати високу продуктивність під час інтенсивного накопичення мільйонів записів, використовують стратегію горизонтального секціонування за часовим показником. Цей підхід передбачає фізичне розділення даних на щомісячні секції, що суттєво прискорює виконання пошукових і агрегаційних запитів, необхідних для роботи алгоритму ціноутворення.

### 3.4 Розробка клієнтських веб-додатків та системи ініціалізації

Клієнтська частина системи є багатокомпонентною екосистемою, яка забезпечує взаємодію користувачів з інтелектуальними алгоритмами сервера та пристроями моніторингу. Основна складність розробки полягала у створенні уніфікованого інтерфейсу, що поєднує інструменти фінансового менеджменту, геоінформаційні системи та низькорівневі протоколи зв'язку з апаратним забезпеченням через браузер.

### 3.4.1 Архітектура та інтерактивні картографічні сервіси

Клієнтська частина створена на основі компонентних вебтехнологій з використанням гібридної моделі рендерингу, для того щоб забезпечити швидке завантаження кабінетів і оновлення графіків до актуального стану. Геоінформаційний модуль використовує бібліотеку Leaflet для візуалізації рекламних площин на інтерактивній карті.

Аналітичні шари включають динамічну «теплову карту» активності, а також зміну станів маркерів на основі даних від вузлів моніторингу.

### 3.4.2 Автоматичне налаштування мікроконтролера

Важливою особливістю системи є модуль автоматизованої ініціалізації обладнання, розроблений для спрощення процесу розгортання мікроконтролера. Традиційні методи налаштування мікроконтролерів зазвичай потребують встановлення спеціального програмного забезпечення, драйверів і використання інтегрованих середовищ розробки, що створює високий поріг входу для технічно невідготовлених користувачів. Для вирішення цієї проблеми в архітектуру платформи впроваджено технологію Web Serial API, що забезпечує пряму взаємодію браузера з послідовним портом комп'ютера користувача.

Процес ініціалізації для власника білборда реалізовано як інтуїтивно зрозумілий алгоритм. Він починається з підключення нової плати до USB-порту та надання браузеру дозволу на доступ до порту. Після встановлення з'єднання, система передає актуальну версію програмного забезпечення та автоматично завантажує її в плату. Для отримання необхідних ключів доступу та параметрів конфігурації Wi-Fi користувач підключається до локальної мережі мікроконтролера та вводить відповідні дані через графічний інтерфейс. Використання Web Serial API та автоматизованої процедури ініціалізації усуває потребу в ручному прошиванні мікроконтролера, спрощує підключення нових

пристроїв і знижує ризик помилок під час масштабування мережі.

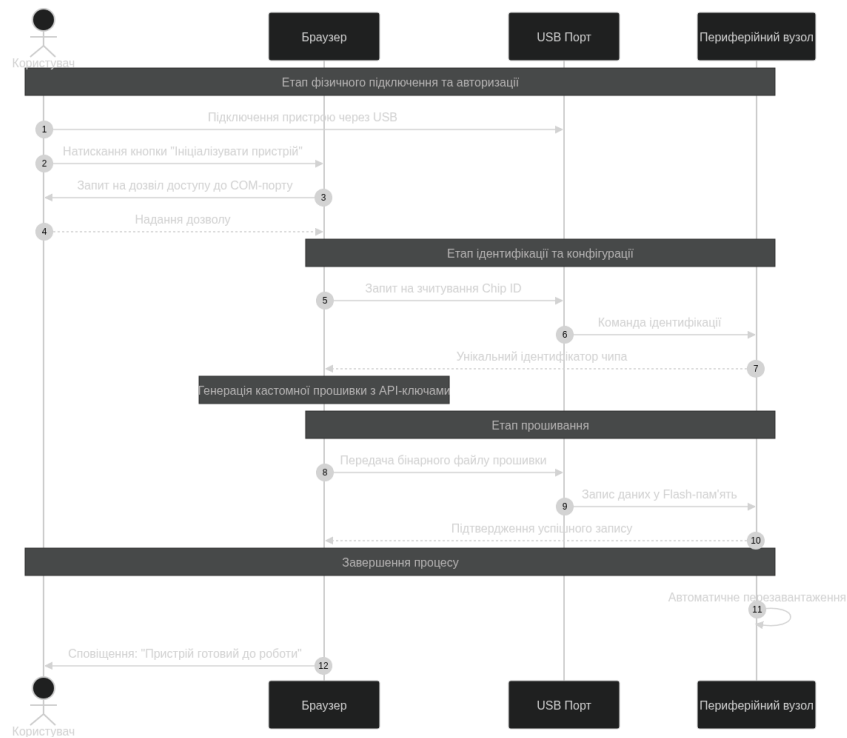


Рисунок 3.5 – Діаграма послідовності процесу автоматичного налаштування

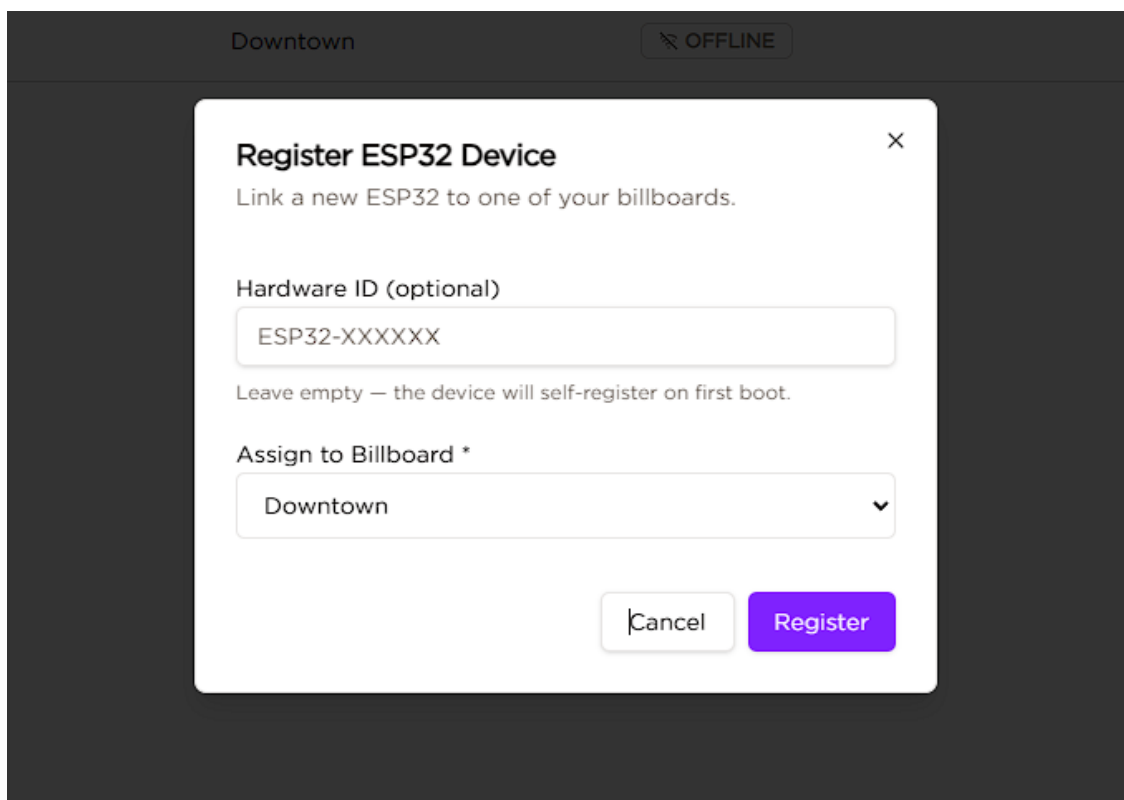


Рисунок 3.6 – Процес ідентифікації та ініціалізації периферійного вузла.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 3.4.3 Інтеграція платіжного шлюзу та обробка транзакцій

Фінансова стабільність системи управління медіаконтентом ґрунтується на інтеграції з провідним міжнародним платіжним шлюзом, що забезпечує автоматизацію повного циклу руху коштів. Реалізована система охоплює всі етапи фінансових операцій від ініціації поповнення балансу користувачем до автоматичного списання коштів за фактичні покази рекламного контенту.

Основним елементом взаємодії між платформою та платіжною системою є механізм Webhooks, який працює за асинхронною моделлю сповіщень. У цій моделі сервер платіжного шлюзу передає інформацію про статус транзакції безпосередньо на захищену кінцеву точку програмного інтерфейсу системи. Процес обробки вхідного сповіщення передбачає обов'язкову верифікацію цифрового підпису запиту для забезпечення автентичності даних. Після успішної перевірки система ідентифікує користувача та оновлює баланс у базі даних. Додатково фіксується службова інформація про виконану операцію, зокрема її ідентифікатор, сума, статус, час проведення та зв'язок із відповідним користувачем. Така автоматизація дає змогу платформі динамічно контролювати статус рекламних кампаній, зокрема миттєво активувати ті, що були призупинені через брак коштів.

Збереження деталізованих даних про транзакції забезпечує можливість подальшого аудиту фінансових процесів і формування звітності для власників рекламних кампаній. У разі помилки, відхилення платежу або дублювання сповіщення система може коректно визначити поточний стан операції та не допустити некоректного оновлення балансу. Також це підвищує прозорість розрахунків між рекламодавцем і платформою та знижує ризик помилок під час обробки фінансових операцій.

					КвРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

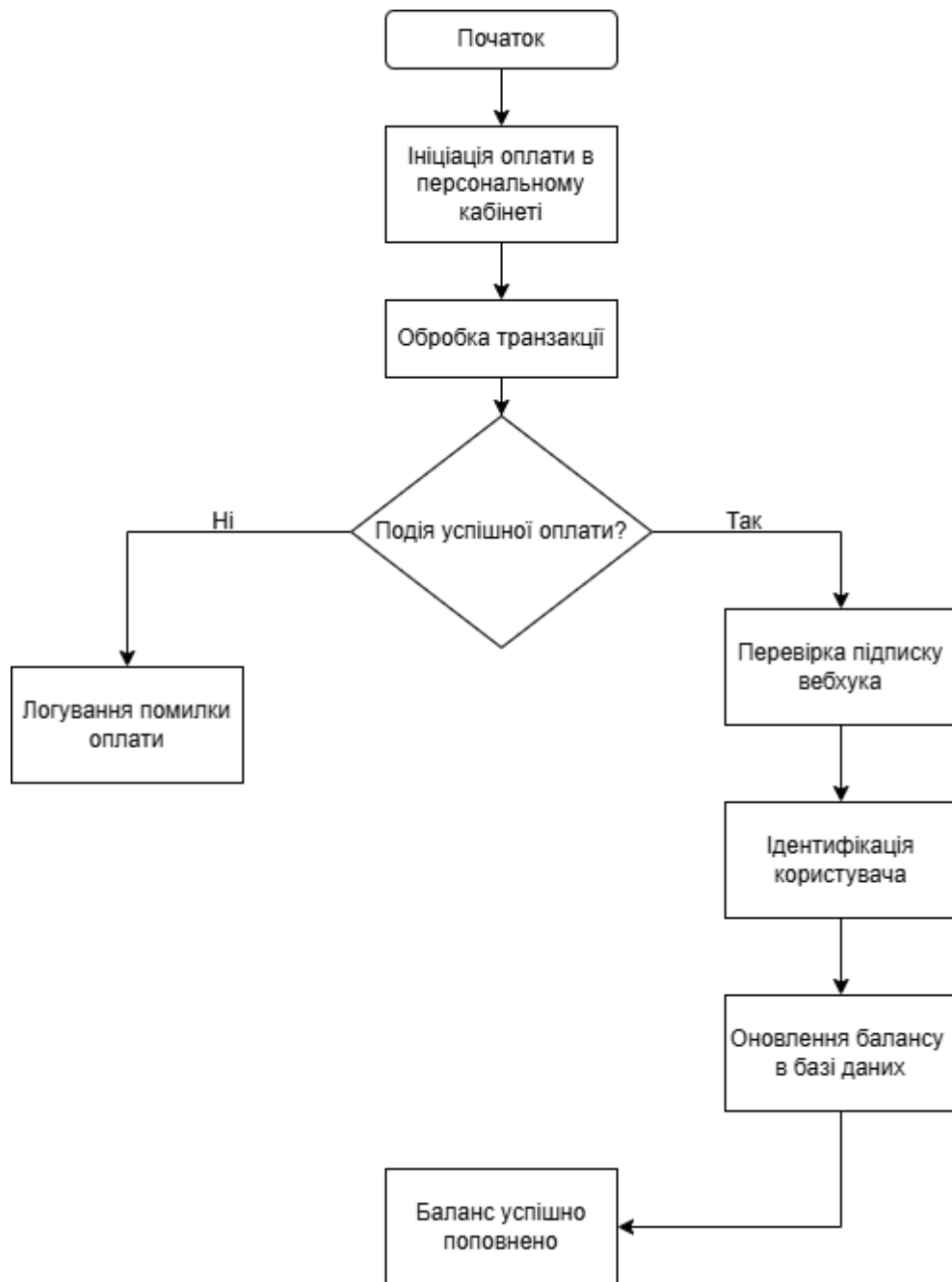


Рисунок 3.7 – Схема інтеграції платіжного шлюзу.

#### 3.4.4 Автономний плеєр медіаконтенту

Окремим програмним модулем є "Плеєр", який функціонує як легкий веб-додаток на стороні рекламного екрана. Його основна задача - забезпечити безперебійне відтворення адаптивного контенту.

Логіка роботи плеєра ґрунтується на циклічному запиті до серверної

частини для синхронізації поточного плейлиста кампаній. Під час кожного звернення сервер перевіряє результати поточних аукціонів і заброньовані часові слоти та повертає структурований список посилань на відповідні медіафайли. Для запобігання перериванню трансляції в умовах нестабільного інтернет-з'єднання в модулі реалізовано механізм попереднього кешування контенту в пам'яті браузера, що підтримує працездатність екрана навіть за тимчасової відсутності зв'язку з центральним вузлом.

### 3.4.5 Користувацький досвід та інтерфейс моніторингу

При розробці веб-інтерфейсу звернуто увагу на візуалізацію даних для бізнес-користувачів. Панель управління реалізована за принципом "від загального до детального". На головному екрані відображається інтерактивний віджет із загальним охопленням аудиторії всієї мережі білбордів і актуальний графік дохідності.

Використання бібліотеки для створення графіків допомогло створити адаптивні графіки, які підтримують масштабування. Користувач може вибрати конкретний проміжок часу на графіку пасажиропотоку, і система автоматично перерахує середню вартість контакту за цей період. Щоб забезпечити зручність роботи в різних умовах освітлення, в інтерфейсі підтримують темну і світлу теми, а також реалізовано повну адаптивність під мобільні пристрої.

Також увагу приділено структурі подання інформації, щоб користувач міг швидко бачити стан кампаній без необхідності переходу між великою кількістю вкладок. Для цього головні показники згруповані у вигляді блоків, які відображають активність білбордів поточні метрики пасажиропотоку, фінансовий стан і т.д.

					КвРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

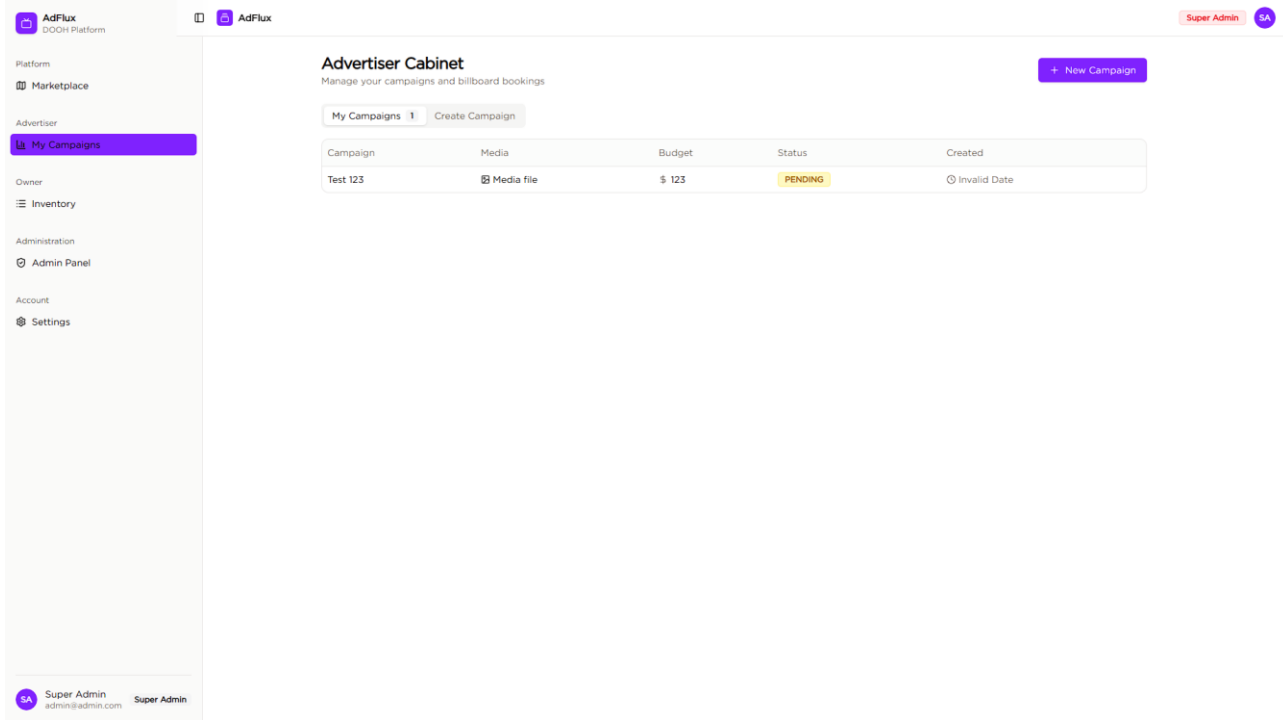


Рисунок 3.8 – Головна панель управління кампаніями користувача

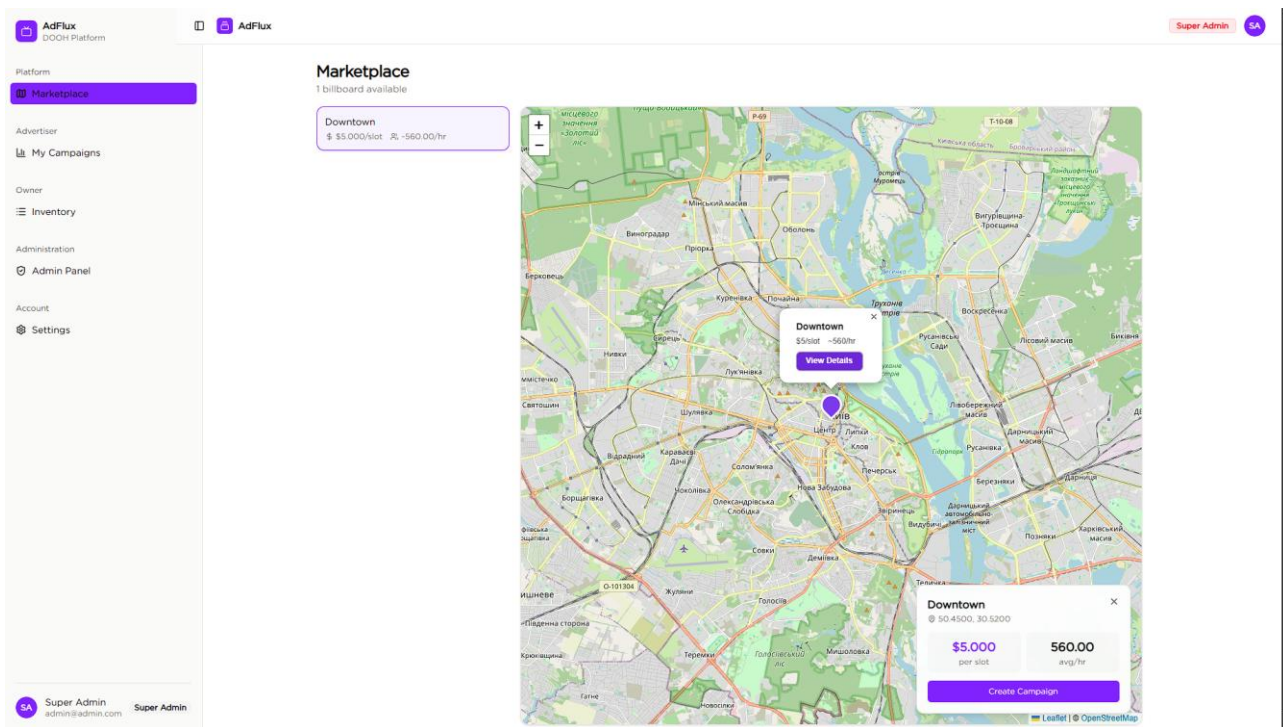


Рисунок 3.9 – Інтерактивна карта

My Campaigns 1

Create Campaign

### Create New Campaign

Step 1 of 4

Details Locations Creative Review

Campaign Name \*  
e.g. Summer Promo 2026

Budget (USD) \*  
\$ 500

< Back Next >

Рисунок 3.10 – Інтерфейс створення нової рекламної кампанії

### 3.5. Тестування системи та оцінка ефективності

Завершальним етапом розробки кіберфізичної системи адаптивного управління медіаконтентом став комплекс випробувань, спрямованих на перевірку технічних характеристик, оцінку стабільності апаратних вузлів та верифікацію правильності математичних розрахунків в умовах, наближених до реальної експлуатації. Тестування показало, що всі компоненти платформи працюють відповідно до плану і виконують завдання з потрібною точністю.

#### 3.5.1 Функціональне тестування апаратних та програмних модулів

Першочерговим етапом тестування стала перевірка працездатності основного каналу отримання даних - пасивного моніторингу радіоефіру. Для цього проведено серію контрольних вимірювань, де тестувалась здатність мікроконтролера ESP32 виявляти мобільні пристрої на різних відстанях та в умовах перешкод. Верифікація алгоритму сніфінгу підтвердила стабільне перехоплення пакетів. Процес анонімізації ідентифікаторів через хешування

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MAC-адрес відбувається безпосередньо в оперативній пам'яті. Локальне хешування MAC-адрес в оперативній пам'яті підвищує безпеку обробки даних, виключаючи передачу персональної інформації у відкритому вигляді на сервер.

Під час тестування каналу передачі даних особливу увагу приділили стрес-випробуванням стабільності зв'язку. Штучне переривання з'єднання з точкою доступу Wi-Fi перевірило логіку локального буферування. Результати експерименту показали, що після відновлення мережевої активності дані з внутрішньої файлової системи автоматично синхронізуються з базою даних без втрат або дублювання записів. Додатково провели тестування модуля автоматичної ініціалізації через Web Serial API. Тестування підтвердило правильність ідентифікації плати браузером та високу швидкість запису індивідуальної прошивки, що займає менше 45 секунд.

### 3.5.2 Стрес-тестування та аналіз продуктивності

Для оцінки масштабованості системи було проведено навантажувальне тестування серверної частини. Імітували трафік від 500 одночасно працюючих периферійних вузлів. Результати показали, що середній час обробки пакета метрик та перерахунку вартості рекламного слота становить менше 150 мс, що підтверджує високу продуктивність коду та ефективність обраної структури індексів бази даних.

У сценаріях різкого стрибка трафіку алгоритм динамічного ціноутворення продемонстрував високу швидкість реагування. Він коректно змінював ціну в базі даних протягом 1-2 секунд після отримання нових метрик. Така швидкість оновлення дає змогу надавати рекламодавцям актуальну інформацію майже миттєво. Крім того, під час тестування не спостерігалось значних затримок у передачі оновлень на клієнтські дашборди.

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.5.3 Тестування мобільного додатку

Тестування мобільного клієнта стало важливим етапом перевірки. Додаток має стабільно працювати на різних апаратних платформах і в умовах змінного мережевого з'єднання. Перевірка охоплювала кілька рівнів. Почали з юніт-тестування окремих функцій бізнес-логіки для контролю парсингу даних і валідації полів. Наступним кроком було віджет-тестування. Воно підтвердило правильність рендерингу UI-елементів і їх коректну реакцію на дії користувача. Інтеграційний етап дозволив переконатися у безпомилковій взаємодії додатка з програмним інтерфейсом сервера.

На фінальній стадії було виконано ручне тестування на різних пристроях. Було охоплено емулятор Pixel 6 (Android 13), а також смартфони iPhone 16 (iOS 26) і Samsung Galaxy S21 (Android 12). Окрему увагу приділили перевірці роботи додатка при перемиканні між типами підключень Wi-Fi і 4G.

### 3.5.4 Аналіз результатів та підтвердження працездатності

Аналіз системних логів і отриманих JSON-відповідей сервера підтвердив повну відповідність розробленої програми та теоретичної математичної моделі. Експериментальні дані показали, що вартість рекламного слота  $P$  динамічно змінюється в залежності від коливань пасажиропотоку в поточному режимі. Одним із показників ефективності стала точність ідентифікації пристроїв. Завдяки алгоритму постійного перемикання між частотними каналами, мікроконтролер виявляє від 85% до 90% терміналів з увімкненим Wi-Fi модулем. Цей рівень детекції цілком достатній для формування оцінки трафіку в межах зони дії радіомодуля.

Фінансовий аспект системи показав високу прозорість під час тестування платіжного шлюзу в контрольному режимі. Було підтверджено коректність

автоматичного списання коштів з балансу рекламодавця відповідно до розрахованої ціни за кожен фактичний період трансляції. Окрім фінансової точності, випробування підтвердили високий рівень автономності апаратної частини. Апаратний таймер успішно ініціював перезавантаження пристрою під час змодельованих програмних збоїв.

### 3.5.5 Аналіз граничних станів та обробка помилок

Важливою частиною випробувань стала перевірка стабільності системи в екстремальних сценаріях експлуатації. Під час 48-годинного стрес-тестування мікроконтролера проводився безперервний моніторинг стану оперативної пам'яті. Завдяки впровадженню механізмів динамічного очищення черг даних обсяг вільної пам'яті залишався стабільним протягом усього періоду. На рівні серверної архітектури було успішно протестовано механізми обробки колізій при одночасному зверненні декількох пристроїв до одного рекламного слота. Використання транзакцій на рівні бази даних дозволило уникнути конфліктів оновлення ціни та забезпечити цілісність інформації.

Окрему увагу приділили здатності системи до самовідновлення після збоїв електроживлення. Експериментально встановили, що після раптового вимкнення та повторного ввімкнення мікроконтролер ініціює повторне з'єднання з сервером і автоматично завантажує актуальні налаштування менш ніж за 5 секунд. Така швидкість відновлення робочого стану разом із механізмами обробки транзакційних колізій та стабільним керуванням пам'яттю гарантує високу відмовостійкість кіберфізичної системи і мінімізує ризики втрати аналітичних даних.

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.6 Висновок до третього розділу

У третьому розділі детально описано процес практичної реалізації кіберфізичної системи. Обґрунтовано вибір апаратного та програмного забезпечення, що базується на принципах масштабованості, безпеки та економічної ефективності. Розроблена архітектура не лише підтримує збирання даних про пасажиропотік з високою точністю, а й передбачає їх оперативну обробку для динамічного регулювання вартості рекламних послуг. Впровадження нових технологій, таких як налаштування обладнання та платіжний шлюз для автоматизації платежів, робить систему доступною для широкого кола користувачів. Проведені тести підтвердили надійність усіх компонентів та їхню готовність до експлуатації в умовах міського середовища.

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

## ВИСНОВКИ

В межах дипломної роботи було проведено комплекс робіт, починаючи від дослідження сфери використання до побудови повноцінного продукту, а саме в цій роботі було розроблено повноціну DOOH платформу разом з реалізацією кіберфізичної системи моніторингу пасажиропотоку. Виконана робота дозволила сформулювати такі висновки:

Проаналізовано ринок цифрової зовнішньої реклами та доведено необхідність переходу від фіксованих тарифів до моделі динамічного ціноутворення, що має назву Programmatic. Метод пасивного моніторингу Wi-Fi з використанням мікроконтролерів ESP32 виявився оптимальним рішенням. Він економічний і забезпечує анонімність аудиторії за рахунок миттєвого хешування MAC-адрес.

Спроектвана гібридна багаторівнева архітектура системи, а також створено реляційну базу даних, яка оптимізована для роботи з часовими рядами. Розроблена математична модель динамічного ціноутворення автоматизує торги у поточному режимі і коригує вартість рекламного слота залежно від відхилення фактичного пасажиропотоку від історичної норми з урахуванням коефіцієнта волатильності.

Здійснено реалізацію апаратних і програмних компонентів моніторингу. Щоб забезпечити автономну і безперебійну роботу в міському середовищі, інтегровано апаратний таймер, систему локального кешування даних для захисту від втрати зв'язку та механізм віддаленого оновлення прошивки.

Розроблена серверна частина платформи, а також багаторівневі вебдодатки для клієнтів. Для зниження порогу входу користувачів впроваджено новий метод ініціалізації обладнання через браузер за допомогою Web Serial API і налаштовано повний фінансовий цикл через інтеграцію платіжного шлюзу.

Проведено функціональне і навантажувальне тестування системи. Результати підтвердили високу точність детекції аудиторії (85-90%) завдяки алгоритму перемикання каналів і високу швидкість роботи сервера. Середній час обробки метрик і перерахунку ціни становить менше 150 мс.

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Duo W., Zhou M., Abusorrah A. A survey of cyber attacks on cyber physical systems: Recent advances and challenges. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2022. Vol. 9, No 5. P. 784–800. DOI:10.1109/JAS.2022.105548
2. Khalil G. A., Qutp M. M., Nada M. A. Intelligent billboards targeted advertising systems. *Journal of Art, Design and Music*. 2023. Vol. 2, No 2. P. 5. DOI: 10.55554/2785-9649.1020
3. Amati S. Harnessing the power of latest technologies in digital out-of-home advertising: A study on interaction models and audience impact. 2023. DOI: 10.24191/idealogy.v10i2.886
4. Mostafa R. A. Designing Digital Out-of-Home Advertising in Light of Benefiting from Artificial Intelligence Technology. *ERU Research Journal*. 2025. Vol. 4, No 2. P. 2686–2706. DOI:10.21608/erurj.2025.332840.1198
5. Lee S. Y., Bart Y., Pauwels K. Maximizing Reach and Efficiency of Digital Out-of-Home Advertising. Available at SSRN 5728803. 2026. URL: DOI:10.2139/ssrn.5728803 (дата звернення: 01.05.2026)
6. Digital Advertising Evolution / ed. by I. MacRury, D. Manika. Routledge, 2024. DOI:10.4324/9781003168485
7. Pintor L. Advancements in Wi-Fi-Based Passenger Counting and Crowd Monitoring: Techniques and Applications. 2024. URL: <https://iris.unica.it/handle/11584/394767> (дата звернення 19.05.2025)
8. Perrone G. Urban Crowd Estimation via WiFi Probe Analysis : PhD dissertation / Politecnico di Torino. Torino, 2024. URL: <https://webthesis.biblio.polito.it/31894/1/tesi.pdf> (дата звернення 18.05.2025)
9. Ullon H. R., De Almeida M. C. Multi-Threaded Wi-Fi Probe-Sniffing for Automatic Passenger Counting System. 2025 *Symposium on Internet of Things (SIoT)*. IEEE, 2025. P. 1–4. DOI:10.1109/SIoT68426.2025.11368781

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Agrawal N., Najafi-Asadolahi S., Smith S. A. Dynamic pricing and bidding for display advertising campaigns. *Manufacturing & Service Operations Management*. 2025. Vol. 27, No 3. P. 843–861. DOI:10.2139/ssrn.5111681

11. MacKay A., Weinstein S. N. Dynamic pricing algorithms, consumer harm, and regulatory response. *Wash. UL Rev.* 2022. Vol. 100. P. 111. DOI: 10.2139/ssrn.3979147

12. Andrew D. Buying the audience: The role of advertisers in the audience marketplace : PhD dissertation / University of Canberra. Canberra, 2023. URL: [https://researchsystem.canberra.edu.au/ws/portalfiles/portal/84245423/Andrew\\_Dan.pdf](https://researchsystem.canberra.edu.au/ws/portalfiles/portal/84245423/Andrew_Dan.pdf) (дата звернення 12.03.2026)

13. Taherdoost H. E-Business Models and Strategies. E-Business Essentials: Building a Successful Online Enterprise. *Cham : Springer Nature Switzerland*, 2023. P. 25–50. DOI:10.1007/978-3-031-39626-7\_2

14. Wang Y., Liu X., Zheng Z. [et al.]. On designing a two-stage auction for online advertising. *Proceedings of the ACM Web Conference 2022*. 2022. P. 90–99. DOI:10.48550/arXiv.2111.05555

15. Yu J., Liu S., Zou Y. [et al.]. Auction theory and game theory based pricing of edge computing resources: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*. 2025. DOI:10.1109/IJOT.2025.3565539

16. Kamala H. Intelligent management of a network of smart billboards on the IoT platform in industry 4.0. *Int. J. Inf. Technol. Comput. Sci. (IJITCS)*. 2022. Vol. 14, No 6. P. 39–46. DOI: 10.5815/ijitcs.2022.06.05

17. Aniji M., Khaderi B. H., Furaiji H. B. [et al.]. IoT-Connected Interactive Billboard System for Real-Time Customer Engagement. 2025 *International Conference on Recent Innovation in Science Engineering and Technology (ICRISET)*. IEEE, 2025. P. 1–7. DOI:10.1109/ICRISET64803.2025.11252336

18. Do S., Kim W., Cho H., Jeong J. SaaMES: SaaS-Based MSA/MTA Model for Real-Time Control of IoT Edge Devices in Digital Manufacturing. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, No 16. P. 9864. DOI: 10.3390/su14169864

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Li X., Da Xu L., Sigov A. [et al.]. Enterprise architecture of IoT-based applications: A review. *Future Generation Computer Systems*. 2025. Vol. 166. P. 107584. DOI:10.1016/j.future.2024.107584

20. Rusca R., Carluccio A., Casetti C., Giaccone P. Privacy-preserving WiFi-based crowd monitoring. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*. 2024. Vol. 35, No 3. e4956. DOI:10.1002/ett.4956

21. Determe J. F., Azzagnuni S., Singh U. [et al.]. Monitoring large crowds with WiFi: A privacy-preserving approach. *IEEE Systems Journal*. 2022. Vol. 16, No 2. P. 2148–2159. DOI:10.48550/arXiv.2010.10370

22. Marzani F., van Ede T., Heijenck G., van Steen M. Head Count: Privacy-Preserving Face-Based Crowd Monitoring. *arXiv preprint arXiv:2604.14250*. 2026. DOI:10.48550/arXiv.2604.14250

23. Determe J. F., Azzagnuni S., Horlin F., De Doncker P. MAC address anonymization for crowd counting. *Algorithms*. 2022. Vol. 15, No 5. P. 135. DOI:10.48550/arXiv.2009.09876

24. Kumaran U., Umah B., Ayalasomayujala N. [et al.]. Mac address spoofing and its impact on network security. *2024 4th International Conference on Sustainable Expert Systems (ICSES)*. IEEE, 2024. P. 346–350. DOI:10.1109/ICSES63445.2024.10763130

25. Charalampidis P., Makrogiannakis A., Karamolegkos N. [et al.]. A flexible Compilation-as-a-Service and Remote-Programming-as-a-Service platform for IoT devices. *Internet of Things*. 2022. Vol. 20. P. 100617. DOI:10.1016/j.iot.2022.100617

26. Chatterjee A., Dubey P., Nigam A. Dynamic On-Demand Machine Provisioning and Continuous Resource Management. *2023 International Conference on Computing, Communication, and Intelligent Systems (ICCCIS)*. IEEE, 2023. P. 1010–1015. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10425203> (дата звернення 15.02.2026)

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. Ghosal A., Halder S., Conti M. Secure over-the-air software update for connected vehicles. *Computer Networks*. 2022. Vol. 218. P. 109394. DOI:10.1016/j.comnet.2022.109394

28. Ali M., Saleem Y., Hina S., Shah G. A. DDoSViT: IoT DDoS attack detection for fortifying firmware Over-The-Air (OTA) updates using vision transformer. *Internet of Things*. 2025. Vol. 30. P. 101527. DOI:10.1016/j.iot.2025.101527

29. El Jaouhari S., Bouvet E. Secure firmware Over-The-Air updates for IoT: Survey, challenges, and discussions. *Internet of Things*. 2022. Vol. 18. P. 100508. DOI:10.1016/j.iot.2022.100508

30. Palurik P., Mikulasek M., Jabloncik L. Preparation and Deployment of Secure Over-The-Air Updates for Embedded Devices: Challenges and Solutions. *Industry 4.0*. 2024. Vol. 9, No 3. P. 105–109. URL: <https://stumejournals.com/journals/i4/2024/3/105> (дата звернення 15.02.2026)

31. Berenguer A., Ros D. F., Gómez-Oliva A. [et al.]. Crowd Monitoring in smart destinations based on GDPR-Ready opportunistic RF scanning and classification of WiFi Devices to identify and classify visitors' origins. *Electronics*. 2022. Vol. 11, No 6. P. 835. DOI:10.3390/electronics11060835

32. Yang Y. C., Lu K. F., Chen Y. X., Tsay R. S. Ensuring GDPR Compliance in IoT Network with a White Box Security Guard System. *IEEE Transactions on Privacy*. 2025. DOI:10.1109/TP.2025.3546854

33. Perez A. J., Zeadally S. Secure and privacy-preserving crowdsensing using smart contracts: Issues and solutions. *Computer Science Review*. 2022. Vol. 43. P. 100450. DOI:10.1016/j.cosrev.2021.100450

34. Bravenec T., Torres-Sospedra J., Gould M., Fryza T. Exploration of user privacy in 802.11 probe requests with MAC address randomization using temporal pattern analysis. *arXiv preprint arXiv:2206.10927*. 2022. DOI:10.48550/arXiv.2206.10927

35. Yalla R. K. M. K., Yallamelli A. R. G., Mamidala V. A distributed computing approach to IoT data processing: Edge, fog, and cloud analytics framework. *Int. J. Inf. Technol. Comput. Eng.* 2022. Vol. 10, No 1. P. 79–94. URL: [https://www.researchgate.net/publication/396891656\\_A\\_Distributed\\_Computing\\_Approach\\_to\\_IoT\\_Data\\_Processing\\_Edge\\_Fog\\_and\\_Cloud\\_Analytics\\_Framework](https://www.researchgate.net/publication/396891656_A_Distributed_Computing_Approach_to_IoT_Data_Processing_Edge_Fog_and_Cloud_Analytics_Framework)

(дата звернення 19.03.2026)

36. Tawakuli A., Kaiser D., Engel T. Transforming IoT data preprocessing: A holistic, normalized and distributed approach. *Proceedings of the 20th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems*. 2022. P. 1083–1088. DOI:10.1145/3560905.3567762

37. Dalal A. Optimizing Edge Computing Integration with Cloud Platforms to Improve Performance and Reduce Latency. Available at SSRN 5268128. 2025. DOI:10.2139/ssrn.5424014

38. Gurajapu A., Garimella V. Edge-to-cloud workflows for low-latency telecom services: Optimizing offload decisions. *International Journal of Research and Applied Innovations*. 2025. Vol. 8, No 4. P. 12638–12641. DOI:10.15662/IJRAI.2025.0804012

39. Vipond N., Kumar A., James J. [et al.]. Real-time processing and visualization for smart infrastructure data. *Automation in Construction*. 2023. Vol. 154. P. 104998. DOI:10.1016/j.autcon.2023.104998

40. Van Glabbeek R., De Smet R., Steenhaut K., Braeken A. Zero-Touch Authentication for Device Deployment and Configuration in Industrial Internet of Things. 2024 IEEE 35th *International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. IEEE, 2024. P. 1–7. DOI:10.1109/PIMRC59610.2024.10817438

41. Ajiboye Q. O., Egbuna I., Bello A. R. Edge Computing and Next Generation Wireless Networks: A Synergistic Approach for Efficient Sensor Data Processing. *International Journal of Future Engineering Innovations*. 2025. Vol. 2, No 3. P. 69–76. DOI:10.54660/IJFEI.2025.2.3.69-76

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

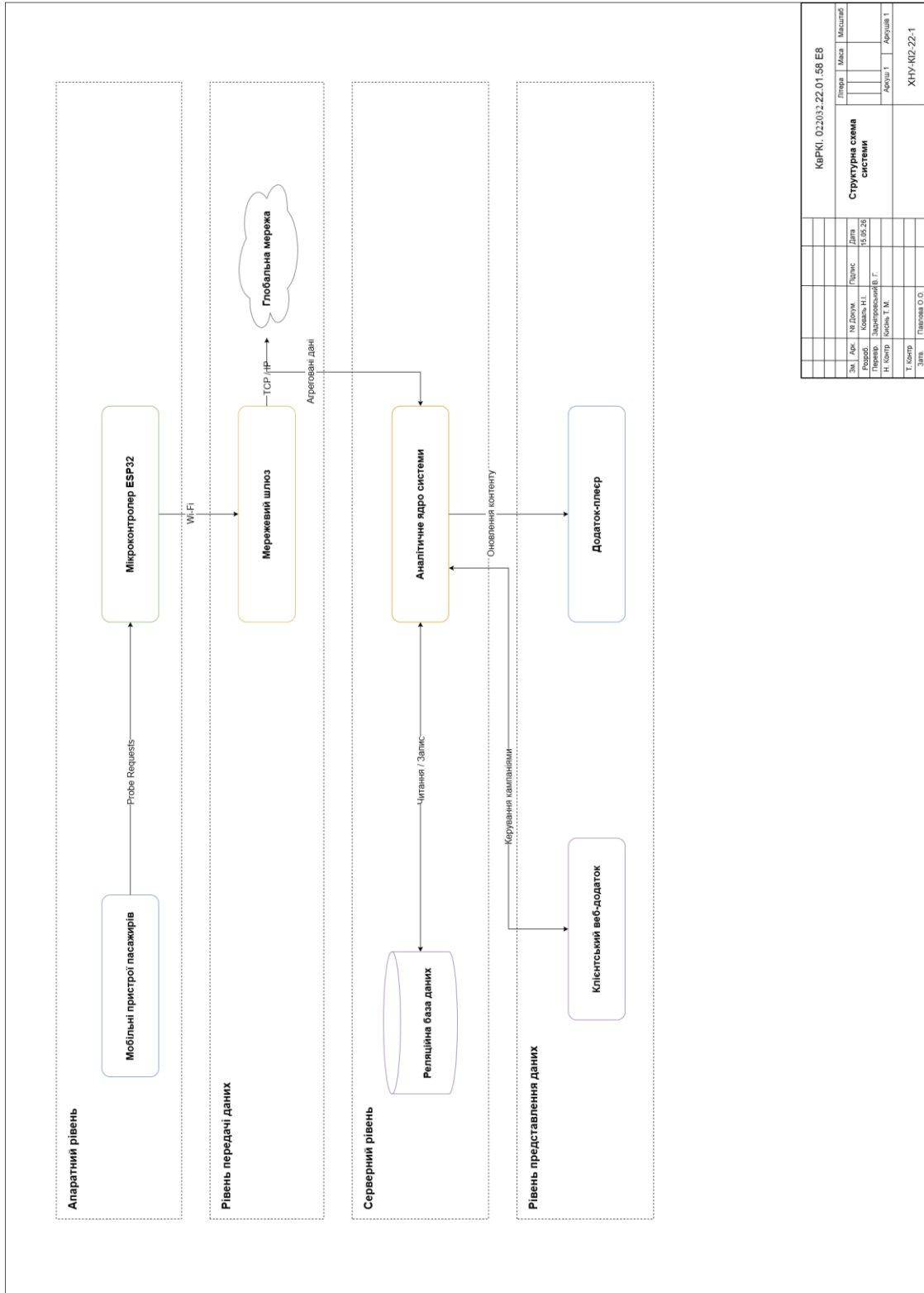
42. PostgreSQL Global Development Group. PostgreSQL 17 Documentation. 2026. URL: <https://www.postgresql.org/files/documentation/pdf/17/postgresql-17-A4.pdf> (дата звернення: 19.05.2026).

43. Espressif Systems. ESP32-WROOM-32 Datasheet. 2025. URL: [https://documentation.espressif.com/esp32-wroom-32\\_datasheet\\_en.pdf](https://documentation.espressif.com/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf) (дата звернення: 19.05.2026).

					КВРКІ.022032.22.01.58 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

# ДОДАТОК А (обов'язковий)

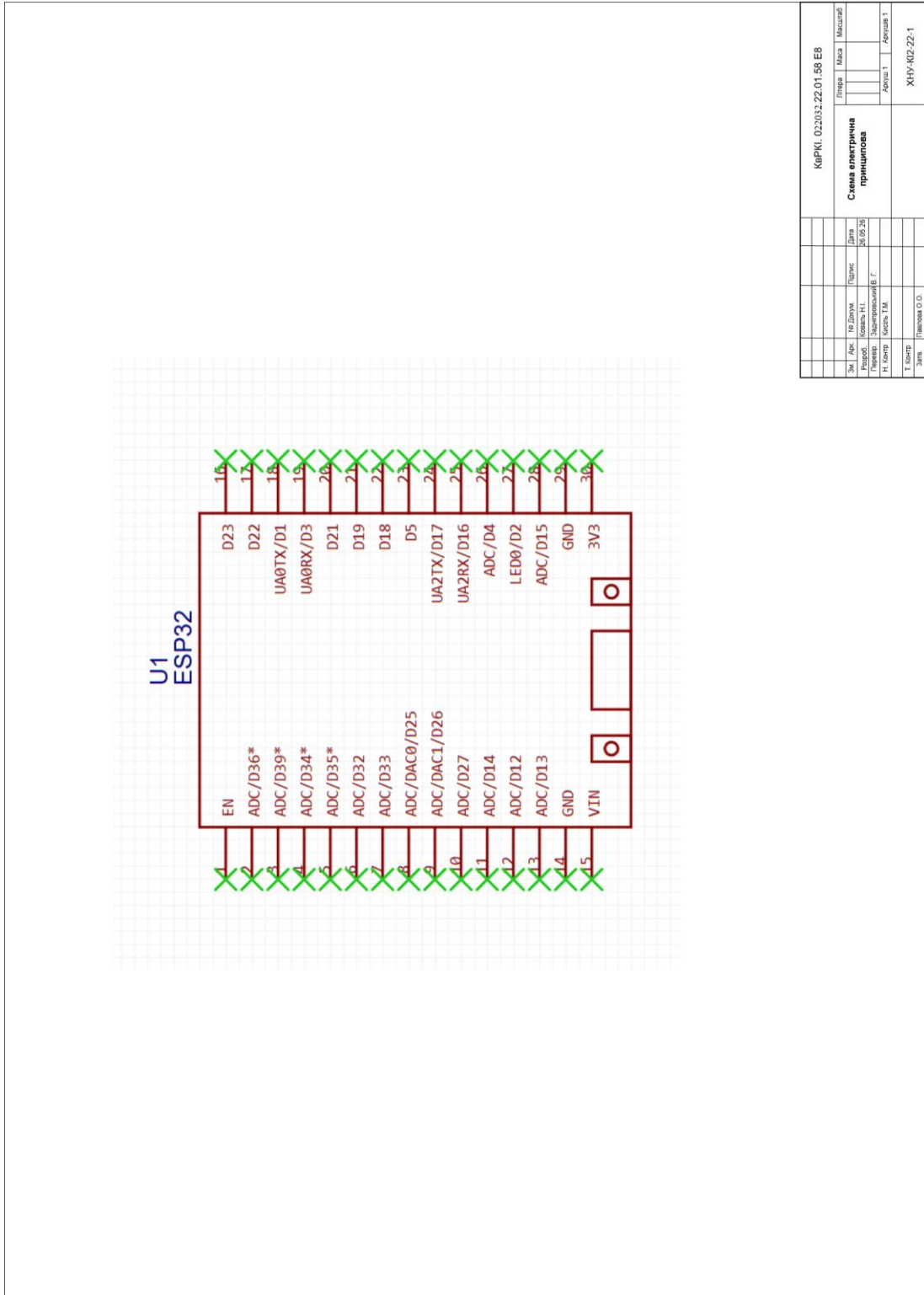
## Копія креслення «Структурна схема системи»



КВРКІ_02.203.22.01.58_ЕВ									
Зм.	Акс.	№ Дочм.	Підпис	Дата	Листів	Масштаб			
Розроб.	Коваль Н.І.			15.02.20			Структурна схема системи		
Перевір.	Задіряковий В.Г.								
Н. Контр.	Юська Т.М.						Аркуш 1	Аркушів 1	
Т. Контр.	Зайч	Пашкова О.О.					ХНУ-КІ-22-1		

# ДОДАТОК Б (обов'язковий)

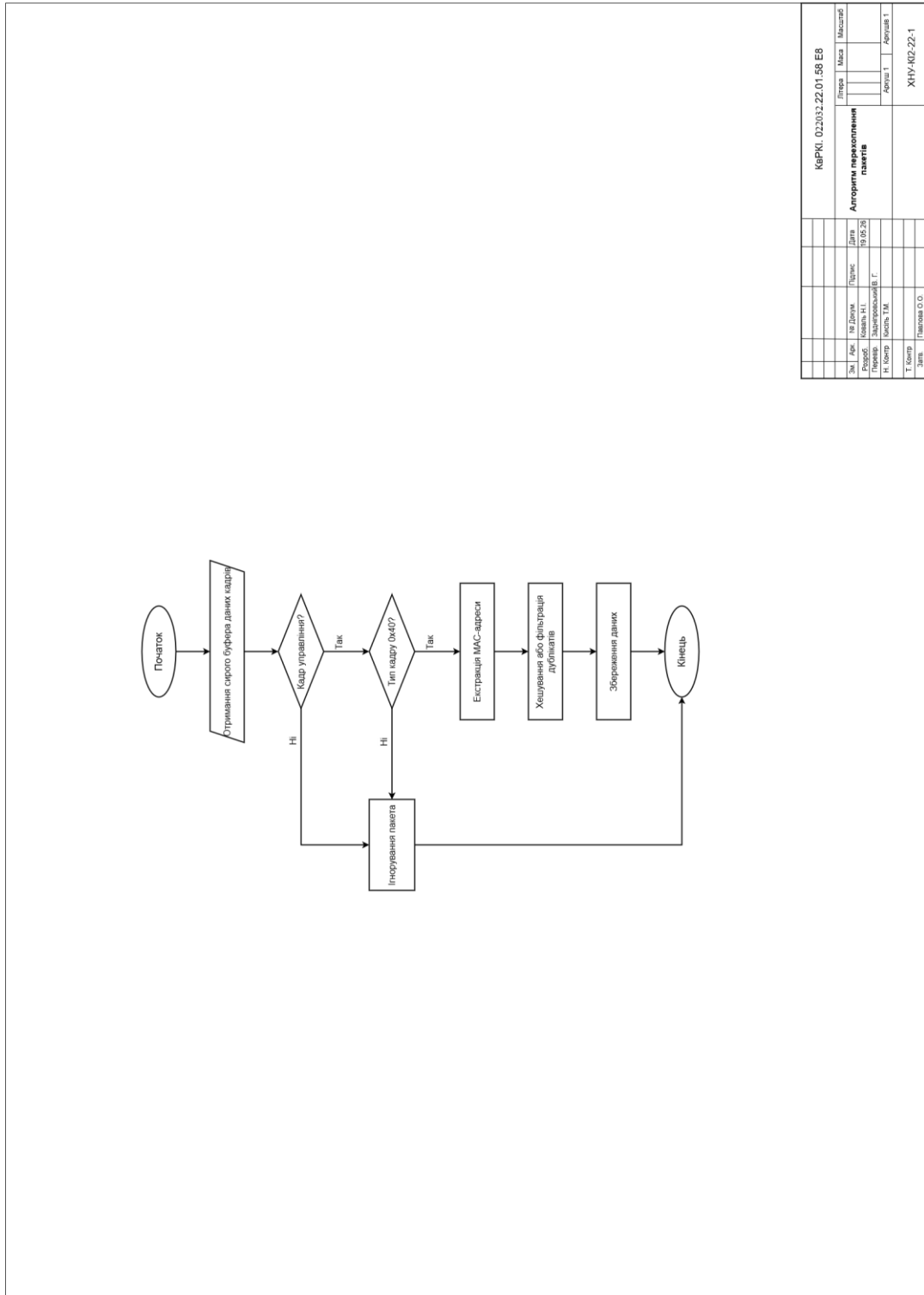
Копія креслення «Схема електрична принципова»



КВРКІ. 02.033.22.01.58.ЕБ									
Зм.	Арх.	№ Друк.	Печат.	Дата	Питра	Маса	Масштаб		
Розроб.	Корект.	НІ	В	20.02.20	Схема електрична принципова				
Головн.	Заступник	Б	Г						
Н. керів.	Інженер	ІН							
Т. керів.	Інженер	ІН							
Дат.	Підпис	О.О.			ХНУ-КІЗ-22-1				

# ДОДАТОК В (обов'язковий)

## Копія креслення «Алгоритм перехоплення пакетів»



КВРКІ. 02.032.22.01.58.ЕВ			
Зм. Ак.	№ Док.	Підпис	Дата
Розроб.	Коваль Н.І.		19.05.22
Н. Компр.	Масла Т.М.		
Т. Компр.			
Зам.	Панцова О.О.		
<b>Алгоритм перехоплення пакетів</b>			
Питера	Міста	Міський	
Адреса 1	Адреса 1	Адреса 1	
ХІУ-КІЗ-22-1			

Протокол аналізу звіту подібності експертом

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

**Автор:** Назар КОВАЛЬ

**Співавтор:**

**Назва:** Кіберфізична система адаптивного управління медіаконтентом на основі моніторингу мережевої активності пасажиропотоку

**Експерт:** Вадим ЗАДНІПРОВСЬКИЙ

**Підрозділ:** Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

**Коефіцієнт подібності 1:** 3.95%

**Коефіцієнт подібності 2:** 1.54%

**Мікропробіли:** 3

**Заміна букв:** 0

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 0

**Дата створення звіту:** 2026-05-27 11:21:39.0

**Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:**

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

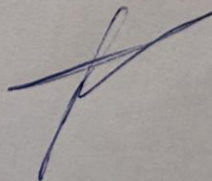
Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

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

Обґрунтування:

2026-05-27

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

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

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 13%

ID: 272415 Назва: БКР Кіберфізична система адаптивного управління медіаконтентом на основі моніторингу мережевої активності пасажиропотоку Додано в БД: 2026-05-27 Автора: Назар КОВАЛЬ Керівники: Вадим ЗАДНІПРОВСЬКИЙ Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	72256	592	1819 (3%)	24 (4%)

### Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Коваль Назар Ігорович

Тема: Кіберфізична система адаптивного управління медіаконтентом на основі моніторингу мережевої активності пасажиропотоку

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень   3   Кількість сторінок записки   62  

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є проектування кіберфізичної системи адаптивного управління медіаконтентом на основі моніторингу мережевої активності пасажиропотоку з реалізацією IoT-вузлів, серверної платформи та алгоритму динамічного ціноутворення рекламних слотів.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз предметної області цифрової зовнішньої реклами, IoT-систем та методів моніторингу мережевої активності. Виконано постановку задачі та визначено основні функціональні вимоги до системи. У другому розділі спроектовано архітектуру програмно-апаратного комплексу, обґрунтовано вибір технологій та розроблено математичну модель динамічного ціноутворення рекламних слотів залежно від щільності пасажиропотоку. У третьому розділі реалізовано периферійні IoT-вузли на базі ESP32, серверну платформу та мобільний застосунок. Проведено тестування системи та оцінювання ефективності запропонованих рішень.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.
5. Негативні сторони роботи: -.
6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: робота виконана на високому технічному рівні.

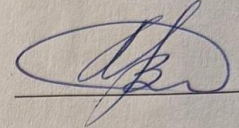
8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: відмінно (А / 93).

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

Мартинюк Валерій Володимирович, ф.т.н.,  
продф., професор кафедри АІТ та Р, ХНУ

"28" травня 2026 р.

 (підпис)

Зав. кафедри КІІС  
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Назар КОВАЛЬ

ГПБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-22-1

### ЗАЯВА

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

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

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

2 травня 2026 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

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

Назва кваліфікаційної роботи Кіберфізична система адаптивного управління  
медіаконтентом на основі моніторингу мережевої активності пасажиропотоку  
Автор Назар КОВАЛЬ  
Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування  
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія  
Науковий керівник: Вадим ЗАДНІПРОВСЬКИЙ

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

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

Підтвердження:

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

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 3,95%; та системою Anti-Plagiarism складає 1%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

02.06.2026

Завідувач кафедри

Підпис

Ольга ПАВЛОВА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Гарант освітньої програми

Підпис

Андрій НІЧЕПОРУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

Підпис

Вадим ЗАДНІПРОВСЬКИЙ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ