

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

(повне найменування факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

(повне найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА ДИСТАНЦІЙНОГО
КЕРУВАННЯ АВТОМАТАМИ ПОДАЧІ ВОДИ НА ОСНОВІ
GSM-ТЕХНОЛОГІЙ**

**MONITORING AND REMOTE CONTROL SYSTEM FOR
AUTOMATIC WATER DISPENSERS BY GSM TECHNOLOGIES**

спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма Комп'ютерна інженерія
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи КІ-41
Хартонюк Іван Ростиславович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Мельник Катерина Вікторівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
« 10 » червня 2025 р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент
Лавренчук Світлана Василівна

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та безпеки

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 12 Інформаційні технології

Спеціальність: 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доц. Т. Терлецький

« 10 » 01 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Хартонюку Івану Ростиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Система моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води на основі GSM-технологій

Керівник роботи к.т.н., доцент Мельник Катерина Вікторівна

затверджені наказом закладу вищої освіти від «04» січня 2025 року № 11/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи 10.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи джерелом розробки є науково-технічна література та публікації в періодичних виданнях з даного питання, опубліковані зарубіжні та вітчизняні роботи в даній області та різні інтернет-ресурси технічного спрямування.

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

Вступ

Аналіз предметної області та вимог до системи

Вибір та обґрунтування апаратно-програмних засобів

Розробка та тестування системи

Висновки

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Схема комунікаційної плати

Схема плати вводу-виводу

Приклад пакета даних

Адмін-панель із пристроями

Інтерфейс зміни даних автомата

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Аналіз предметної області та вимог до системи</i>	<i>Мельник К.В., доцент</i>		
<i>Вибір та обґрунтування апаратно-програмних засобів</i>	<i>Мельник К.В., доцент</i>		
<i>Розробка та тестування системи</i>	<i>Мельник К.В., доцент</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Багнюк Н.В., доцент</i>		
<i>Гарант ОП</i>	<i>Лавренчук С.В., доцент</i>		
<i>Показник запозичень тексту</i>		_____%	
<i>Академічна доброчесність</i>	<i>Міскевич О.І., ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання 10.01.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми, аналіз проблемної області на наявних рішеннях</i>	до 10.02.2025 р.	Виконано
2.	<i>Аналіз предметної області та вимог до системи</i>	до 02.03.2025 р.	Виконано
3.	<i>Вибір та обґрунтування апаратно-програмних засобів. Розробка та тестування системи</i>	до 02.04.2025 р.	Виконано
4.	<i>Висновки та пропозиції</i>	до 10.04.2025 р.	Виконано
5.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	до 15.04.2025 р.	Виконано
6.	<i>Формування додатків</i>	до 02.05.2025 р.	Виконано
7.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	до 10.05.2025 р.	Виконано
8.	<i>Представлення остаточного варіанту кваліфікаційної роботи керівникові</i>	до 15.05.2025 р.	Виконано
9.	<i>Нормоконтроль</i>	до 30.05.2025 р.	Виконано
10.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	до 03.06.2025 р.	Виконано
11.	<i>Здача кваліфікаційної роботи та всіх супровідних документів на кафедрі</i>	до 10.06.2025 р.	Виконано

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Хартонюк І.Р.

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Мельник К.В.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Хартонюк І.Р. система моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води на основі GSM-технологій. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Комп'ютерна інженерія» спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі проведено аналіз предметної області, обґрунтовано актуальність теми, розглянуто вплив IoT-технологій на автоматизацію вендингових систем, проаналізовано існуючі рішення для віддаленого моніторингу та керування.

У другому розділі здійснено вибір та обґрунтування апаратно-програмних засобів, зокрема GSM-модемів, комунікаційних плат, серверної логіки на базі Django та вебінтерфейсу на Vue3, а також порівняння альтернативних технологій (Wi-Fi, LoRa).

Третій розділ присвячено розробці апаратної та програмної частин системи, алгоритму проєктування, створенню комунікаційних плат і плат вводу-виводу, інтеграції з платіжними системами EasyPay та Checkbox, тестуванню системи та пропозиціям щодо її вдосконалення.

Ключові слова: IoT, GSM-технології, автомати подачі води, серверна логіка, вебінтерфейс, Django, Vue3, моніторинг, дистанційне керування.

ANNOTATION

Hartonyuk I. monitoring and remote control system for automatic water dispensers by GSM technologies. Manuscript.

Bachelor's qualifying work of the EP «Computer Engineering» specialty 123 Computer Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, a list of references, and appendices.

The first section is devoted to the analysis of the subject area, substantiating the relevance of the topic, examining the impact of IoT technologies on the automation of vending systems, and analyzing existing solutions for remote monitoring and control.

The second section focuses on the selection and justification of hardware and software tools, including GSM modems, communication boards, server logic based on Django, and a Vue3-based web interface, as well as a comparison of alternative technologies (Wi-Fi, LoRa).

The third section describes the development of the system's hardware and software components, the design algorithm, the creation of communication and input-output boards, integration with EasyPay and Checkbox payment systems, system testing, and proposals for its improvement.

Keywords: IoT, GSM technologies, water dispensers, server logic, web interface, Django, Vue3, monitoring, remote control.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ВИМОГ ДО СИСТЕМИ.....	9
1.1 Значення технологій віддаленого моніторингу для міських сервісів та огляд існуючих IoT-рішень для віддаленого керування.....	9
1.2 Технічні вимоги до системи моніторингу автоматів подачі води	11
1.3 Постановка задачі розробки системи.....	14
РОЗДІЛ 2 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ	17
2.1 Аналіз апаратних засобів: GSM-модеми та захищений шлюз	17
2.2 Обґрунтування використання серверної логіки.....	18
2.3 Порівняння альтернативних технологій для реалізації системи	19
2.4 Архітектура, апаратно-програмна взаємодія та протокол обміну	20
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ.....	22
3.1 Алгоритм проєктування системи	22
3.2 Розробка апаратної частини системи.....	25
3.3 Розробка програмної частини системи	26
3.4 Інтеграція та тестування системи.....	31
3.5 Пропозиції щодо вдосконалення системи.....	34
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	40

ВСТУП

Розвиток міських інфраструктур дедалі більше залежить від автоматизованих систем, які забезпечують доступність і якість базових ресурсів, таких як питна вода. Автомати подачі води, що функціонують у міському середовищі, потребують постійного нагляду за їхньою роботою, включаючи контроль рівня рідини, стану обладнання та фінансових транзакцій. Традиційні підходи до обслуговування таких пристроїв, які базуються на ручних перевірках, є трудомісткими та економічно не вигідними, особливо при великій кількості автоматів. Сучасні технології Інтернету речей (IoT) дозволяють створювати системи віддаленого моніторингу та керування, які забезпечують оперативний доступ до даних і дистанційне управління пристроями через мобільні мережі. Впровадження таких систем у комп'ютерній інженерії сприяє підвищенню ефективності міських сервісів, зниженню експлуатаційних витрат і покращенню якості обслуговування населення, що робить тему дослідження надзвичайно актуальною.

Метою роботи є розробка апаратно-програмного комплексу для віддаленого моніторингу та керування автоматами подачі води, який забезпечує надійну передачу даних через мобільні мережі, інтеграцію з платіжними системами та ефективне управління розподіленою мережею пристроїв.

Об'єктом дослідження є системи віддаленого моніторингу та керування на основі технологій Інтернету речей, застосовані для автоматизації міських сервісів. Предметом дослідження є апаратно-програмна система для моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води, що використовує мобільні мережі зв'язку для обміну даними.

Завдання, які необхідно виконати:

– дослідити сучасні технології IoT і методи передачі даних через мобільні мережі для забезпечення стабільного моніторингу розподілених автоматів у міських умовах;

– дослідити сучасні технології IoT і методи передачі даних через мобільні

мережі для забезпечення стабільного моніторингу розподілених автоматів у міських умовах;

– спроектувати апаратну частину системи, яка включає модулі для збору даних із сенсорів і передачі інформації через мобільні мережі;

– розробити програмне забезпечення для обробки даних від автоматів, їх відображення та дистанційного керування через серверну платформу;

– візуалізувати дані про стан автоматів у реальному часі через інтерфейс користувача, що забезпечує зручний доступ для операторів;

– реалізувати інтеграцію системи з платіжними сервісами для обробки транзакцій і забезпечення фінансового моніторингу;

– запропонувати заходи для підвищення надійності системи, включаючи резервні механізми зв'язку та енергоефективні рішення.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ВИМОГ ДО СИСТЕМИ

1.1 Значення технологій віддаленого моніторингу для міських сервісів та огляд існуючих IoT-рішень для віддаленого керування

Технології віддаленого моніторингу стають невід’ємною частиною розвитку міських сервісів, зокрема у сфері забезпечення населення питною водою через автоматизовані пристрої [5]. Застосування розумних технологій для управління водними ресурсами, як описано в [13], сприяє підвищенню ефективності таких систем шляхом автоматизації процесів моніторингу та керування. Такі системи дозволяють стежити за технічним станом обладнання в реальному часі, що сприяє своєчасному виявленню збоїв і попередженню аварійних ситуацій. У контексті автоматизованих систем подачі води віддалений контроль забезпечує підтримку оптимального рівня рідини в резервуарах, контроль за роботою механічних компонентів і аналізом умов експлуатації, що впливає на якість наданих послуг. Застосування таких технологій сприяє зменшенню ручної праці та підвищенню ефективності роботи операторів, які можуть отримувати дані про стан автоматів незалежно від їхнього місця розташування [11].

Особливу увагу приділяють інтеграції систем моніторингу в міське середовище, де великі відстані між пристроями та різноманітні кліматичні умови створюють додаткові виклики [2]. Віддалений доступ до інформації про температуру, вологість і тиск у системі подачі води дозволяє адаптувати роботу автоматів до зовнішніх факторів, що підвищує їхню довговічність. Для комп’ютерної інженерії ця сфера представляє інтерес через необхідність розробки комплексних рішень, які поєднують апаратні модулі з програмними алгоритмами для обробки даних, що надходять від розподілених джерел.

Огляд існуючих рішень у сфері IoT-систем для віддаленого моніторингу та керування автоматизованими пристроями дозволяє визначити сучасні підходи до реалізації подібних систем, зокрема для автоматів подачі води. Аналіз охоплює

як комерційні платформи, так і спеціалізовані рішення для вендингових систем, а також порівняння технологій зв'язку, придатних для таких застосувань.

Серед комерційних IoT-платформ значне поширення отримали AWS IoT і Google Cloud IoT. Платформа AWS IoT забезпечує інтеграцію пристроїв через протоколи MQTT і HTTP, підтримує обробку великих обсягів даних і надає інструменти для аналітики. Проте її впровадження вимагає значних фінансових витрат і високого рівня технічної експертизи, що може бути недоцільним для локальних систем, таких як автомати подачі води [4]. Google Cloud IoT пропонує аналогічні можливості, зокрема інтеграцію з платіжними системами, однак має обмеження щодо масштабування в умовах слабкого мережевого покриття. Обидві платформи орієнтовані на великі інфраструктури, тоді як автомати подачі води потребують більш простих і економічно ефективних рішень.

Для вибору технології зв'язку, придатної для системи моніторингу автоматів подачі води, проведено порівняння трьох основних стандартів: GSM, Wi-Fi та LoRa. Основні параметри порівняння наведено в (таблиці 1.1).

GSM-технології забезпечують високу надійність зв'язку завдяки глобальному покриттю, що є критичним для автоматів, розташованих у віддалених районах [1]. Пропускна здатність у діапазоні 0,1-2,0 Мбіт/с достатня для передачі даних про стан автомата (рівень води, тиск, транзакції) у форматі JSON-пакетів. Проте енергоспоживання GSM-модемів є вищим порівняно з іншими технологіями, що вимагає оптимізації живлення.

Таблиця 1.1 – Порівняння технологій зв'язку для IoT-систем

Технологія	Пропускна здатність, Мбіт/с	Затримка, мс	Енергоспоживання, мВт	Дальність, км	Покриття
GSM	0,1-2,0	100-500	200-1000	1-35	Глобальне
Wi-Fi	10-100	10-50	100-300	0,1-0,3	Локальне
LoRa	0,001-0,05	500-2000	10-50	2-15	Регіональне

Wi-Fi характеризується високою пропускнуою здатністю (10-100 Мбіт/с) і низькою затримкою (10-50 мс), що робить її ефективною в умовах стабільного локального покриття. Однак залежність від наявності Wi-Fi-мереж у громадських місцях і вразливість до перебоїв зв'язку обмежують її застосування для віддалених автоматів.

LoRa, завдяки низькому енергоспоживанню (10-50 мВт) і великій дальності (2-15 км), є оптимальною для систем із низькою частотою передачі даних, наприклад, для моніторингу сенсорів. Проте пропускну здатність LoRa (0,001-0,05 Мбіт/с) є недостатньою для передачі великих обсягів даних, таких як транзакційні звіти чи мультимедійна інформація.

На основі аналізу встановлено, що GSM-технології є оптимальними для системи моніторингу автоматів подачі води завдяки надійності, глобальному покриттю та достатній пропускну здатності. Wi-Fi і LoRa можуть розглядатися як додаткові рішення в специфічних умовах. Подальша розробка системи передбачає використання GSM-модемів із можливістю переходу до гібридних рішень у майбутньому.

1.2 Технічні вимоги до системи моніторингу автоматів подачі води

Розробка системи моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води в міському середовищі потребує чіткого визначення технічних вимог, які забезпечать її функціональну ефективність, адаптивність до зовнішніх умов і відповідність сучасним стандартам комп'ютерної інженерії. Основною метою є створення комплексу, здатного забезпечити безперервний контроль над розподіленою мережею автоматів, якість їхньої роботи залежить від точності збору даних, стабільності зв'язку та безпеки оброблення інформації. Ці вимоги формуються з урахуванням особливостей експлуатації пристроїв у міських умовах, де зовнішні фактори, такі як кліматичні умови, електромагнітні перешкоди чи нестабільність енергопостачання, можуть створювати значні виклики.

Першочерговою вимогою є забезпечення надійної передачі даних між автоматами та центральним сервером у реальному часі. Система має підтримувати стабільний обмін інформацією з мінімальними затримками, що є критично важливим для оперативного реагування на зміни стану обладнання, наприклад, зниження рівня води в резервуарі чи виявлення несправностей у платіжних модулях. Для цього необхідно, щоб комунікаційна інфраструктура могла функціонувати в умовах неоднорідного покриття мобільних мереж, характерного для міських і приміських зон. Затримка передачі даних не повинна перевищувати 500 мс, щоб забезпечити синхронізацію між автоматами та сервером навіть при пікових навантаженнях, коли одночасно обробляються запити від кількох десятків пристроїв. Крім того, система має бути стійкою до короткочасних збоїв зв'язку, передбачаючи механізми локального зберігання даних із подальшою їхньою синхронізацією після відновлення мережі.

Іншою важливою вимогою є забезпечення високого рівня безпеки даних, особливо тих, що стосуються фінансових транзакцій і персональної інформації користувачів. Ураховуючи інтеграцію з платіжними сервісами, такими як EasyPay і Checkbox, система має використовувати сучасні протоколи шифрування, наприклад TLS 1.3, для захисту інформації під час передачі через мобільні мережі. Автентифікація пристроїв, які підключаються до сервера, повинна здійснюватися через унікальні ідентифікатори, що унеможлиблює підключення несанкціонованих автоматів. Крім того, необхідно реалізувати захист від атак типу «відмова в обслуговуванні» (DDoS), які можуть бути спрямовані на серверну інфраструктуру, шляхом обмеження частоти запитів від одного пристрою та використання систем виявлення аномальної активності. Безпека також охоплює фізичний захист апаратних компонентів автоматів, що вимагає застосування корпусів із класом захисту не нижче IP65 для стійкості до вологи, пилу та механічних пошкоджень у міських умовах.

Енергоефективність системи є ще одним ключовим аспектом, враховуючи потребу в автономній роботі автоматів у разі перебоїв із електропостачанням. Апаратні компоненти, такі як GSM-модеми та мікроконтролери, мають бути

оптимізовані для мінімального споживання енергії в режимі очікування, не перевищуючи 50 мВт. Для цього необхідно передбачити можливість переведення модулів у режим глибокого сну під час періодів низької активності, наприклад, у нічний час, із автоматичним відновленням роботи за розкладом або за подією, такою як транзакція. Додатково система має підтримувати використання альтернативних джерел живлення, таких як акумулятори з ємністю, достатньою для забезпечення роботи протягом щонайменше 24 годин без підключення до основної мережі. Це особливо важливо для автоматів, розташованих у віддалених районах із нестабільним електропостачанням.

Продуктивність серверної частини системи повинна відповідати потребам оброблення великих обсягів даних від розподілених пристроїв. Система має бути здатною обробляти щонайменше 100 одночасних запитів за хвилину, враховуючи можливе зростання кількості автоматів до кількох сотень у майбутньому. Для цього серверна інфраструктура має використовувати масштабовані архітектури, які дозволяють динамічно розподіляти обчислювальні ресурси залежно від навантаження. База даних, що зберігає інформацію про стан автоматів, транзакції та сенсорні показники, повинна бути оптимізована для швидкого виконання запитів, зокрема через створення індексів на часто використовувані поля, такі як ідентифікатор автомата чи часовий штамп. Крім того, система має передбачати можливість резервного копіювання даних із періодичністю не рідше одного разу на годину, щоб мінімізувати ризик їх втрати в разі апаратних чи програмних збоїв.

Гнучкість і масштабованість системи є обов'язковими для забезпечення її адаптивності до змін у вимогах чи розширення мережі автоматів. Система має підтримувати додавання нових пристроїв без необхідності суттєвих модифікацій програмного забезпечення, що досягається через використання стандартизованих протоколів обміну даними, таких як REST API. Апаратна частина повинна бути модульною, дозволяючи заміну чи додавання сенсорів, наприклад, для моніторингу якості води, без зміни основної структури комунікаційної плати. Інтерфейс користувача, призначений для операторів, має

бути адаптивним, забезпечуючи коректне відображення даних на пристроях із різною роздільною здатністю, від настільних комп'ютерів до смартфонів, що підвищує зручність моніторингу в польових умовах.

Нарешті, система має відповідати нормативним вимогам щодо фіскалізації та екологічної безпеки. Інтеграція з платіжними сервісами повинна забезпечувати генерацію фіскальних чеків у реальному часі, відповідно до українського законодавства, із підтримкою форматів, сумісних із системами державної податкової служби. Екологічні вимоги включають мінімізацію впливу на довкілля через використання енергоефективних компонентів і матеріалів, що підлягають переробці, для корпусів автоматів. Ці аспекти підвищують соціальну значущість системи, роблячи її привабливою для впровадження в міських сервісах.

1.3 Постановка задачі розробки системи

Розробка системи моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води спрямована на створення комплексного рішення, яке забезпечить ефективне управління розподіленою мережею пристроїв у міському середовищі, підвищуючи доступність питної води для населення та оптимізуючи експлуатаційні процеси. Основна ідея полягає в інтеграції апаратних і програмних компонентів для збору, оброблення та аналізу даних про стан автоматів, а також надання операторам інструментів для віддаленого контролю й оперативного реагування на зміни. Задача розробки охоплює створення системи, яка поєднує надійність зв'язку, безпеку даних і зручність керування, враховуючи специфіку міських умов, де автомати можуть бути розташовані на значних відстанях один від одного та зазнавати впливу різноманітних зовнішніх факторів.

Першочерговим завданням є створення апаратного комплексу, здатного забезпечити автономну роботу автоматів із мінімальною залежністю від зовнішніх ресурсів. Кожен автомат має функціонувати як незалежна одиниця,

оснащена сенсорами для моніторингу ключових параметрів, таких як рівень рідини в резервуарі, тиск у системі подачі та стан платіжних модулів. Апаратна частина повинна забезпечувати точність вимірювань із похибкою не більше 1 %, що необхідно для коректного дозування води та своєчасного виявлення відхилень, таких як зниження тиску чи недостатній об'єм рідини. Крім того, необхідно розробити механізми захисту апаратних компонентів від зовнішніх впливів, включаючи перепади температур у діапазоні від -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$, підвищену вологість і механічні пошкодження, що є типовими для вуличних умов експлуатації.

Другим важливим аспектом є організація надійного каналу передачі даних між автоматами та центральним сервером. Система має використовувати мобільні мережі для забезпечення зв'язку в умовах неоднорідного покриття, характерного для міських і приміських зон. Задача включає розробку комунікаційної логіки, яка мінімізує втрати даних у разі нестабільного сигналу, шляхом реалізації буферизації інформації на апаратному рівні з подальшою синхронізацією після відновлення з'єднання. Частота передачі даних має бути адаптивною, дозволяючи автоматам надсилати звіти про стан із періодичністю від 1 хвилини в активному режимі до 1 години в режимі очікування, що оптимізує використання пропускної здатності мережі та зменшує енергоспоживання.

На програмному рівні задача полягає в розробці серверної платформи, яка забезпечує централізовану обробку даних і координацію роботи мережі автоматів. Сервер має бути здатним обробляти структуровану інформацію, що надходить у форматі JSON, включаючи ідентифікатори автоматів, показники сенсорів і дані про транзакції. Необхідно реалізувати алгоритми аналізу, які дозволяють виявляти аномалії, такі як різке зниження рівня води чи незавершені транзакції, і автоматично сповіщати операторів про критичні події. Програмне забезпечення має підтримувати масштабування, дозволяючи підключати нові автомати без значних змін у серверній логіці, а також забезпечувати інтеграцію з зовнішніми сервісами, такими як платіжні системи, для оброблення фінансових

операцій у реальному часі.

Ще одним завданням є створення інтерфейсу користувача, який забезпечує операторам зручний доступ до даних про стан автоматів і можливість дистанційного керування. Інтерфейс має відображати ключові показники, такі як об'єм води в резервуарах, кількість виконаних транзакцій і технічний статус обладнання, у форматі, зрозумілому без спеціальної підготовки. Важливою вимогою є адаптивність інтерфейсу для роботи на різних пристроях, що дозволяє операторам здійснювати моніторинг і керування як із робочих станцій, так і з мобільних пристроїв у польових умовах. Інтерфейс має підтримувати функції фільтрації даних, наприклад, за ідентифікатором автомата чи періодом часу, а також надавати можливість надсилання команд, таких як калібрування насоса чи зміна тарифу.

Задача також включає забезпечення відповідності системи нормативним вимогам, зокрема щодо оброблення фінансових транзакцій і захисту даних. Необхідно реалізувати механізми генерації фіскальних чеків, сумісних із вимогами українського законодавства, і забезпечити їхню передачу до податкових органів у реальному часі. Безпека системи має бути гарантована через використання зашифрованих каналів зв'язку та автентифікацію всіх учасників обміну даними, що виключає можливість несанкціонованого доступу. Крім того, необхідно передбачити механізми тестування системи в умовах, що імітують реальну експлуатацію, включаючи сценарії з піковими навантаженнями, перебоями в зв'язку та аномальними подіями, щоб оцінити її надійність і готовність до впровадження.

Нарешті, розробка системи має враховувати перспективи її подальшого вдосконалення та розширення. Задача включає створення документації, яка описує архітектуру, протоколи обміну даними та процедури технічного обслуговування, що полегшить адаптацію системи до нових вимог чи інтеграцію з іншими технологіями, такими як альтернативні канали зв'язку чи аналітичні модулі.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Аналіз апаратних засобів: GSM-модеми та захищений шлюз

Вибір апаратних засобів для системи моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води ґрунтується на вимогах до надійності зв'язку, енергоефективності, сумісності з програмними компонентами та здатності забезпечувати стабільну роботу в умовах міського середовища. Аналіз охоплює основні апаратні елементи: GSM-модем, комунікаційну плату, плату вводу-виводу та сенсори, з акцентом на їхні технічні характеристики та відповідність функціональним потребам системи.

Для забезпечення віддаленого зв'язку обрано GSM-модем SIM800L, який підтримує стандарти 2G/3G і характеризується високою надійністю передачі даних у мережах із глобальним покриттям. Модем працює в діапазоні частот 850/900/1800/1900 МГц, що забезпечує сумісність із більшістю операторів мобільного зв'язку [7]. Пропускна здатність SIM800L становить до 85,6 кбіт/с у режимі GPRS, що є достатнім для передачі JSON-пакетів із даними про стан автомата, такі як рівень води, тиск і статус транзакцій. Енергоспоживання модему: до 1 Вт в активному режимі, до 20 мВт в очікуванні. Для оптимізації живлення передбачено переведення модему в режим низького енергоспоживання під час простою. Вибір SIM800L обґрунтовано його компактними розмірами (24×24×3 мм), низькою вартістю та підтримкою протоколів UART для взаємодії з мікроконтролерами.

Комунікаційна плата, яка інтегрує GSM-модем і забезпечує обмін даними між автоматом і сервером, базується на мікроконтролері STM32F103C8T6. Цей мікроконтролер має 32-бітну архітектуру ARM Cortex-M3, тактову частоту 72 МГц і 64 КБ флеш-пам'яті, що дозволяє обробляти дані від сенсорів і формувати пакети для передачі. Плата підтримує інтерфейси UART, SPI та RS-232, що забезпечує сумісність із SIM800L і платою вводу-виводу. Енергоспоживання плати становить приблизно 50 мВт у режимі обробки даних, що відповідає

вимогам до енергоефективності.

Плата вводу-виводу включає сенсори тиску (діапазон вимірювання 0-10 бар, похибка $\pm 0,5\%$), рівня води (ультразвуковий датчик із роздільною здатністю 1 мм) і купюроприймач NV9, який підтримує обробку готівкових платежів із точністю ідентифікації 99,8 %. Плата оснащена мікроконтролером Arduino Nano для обробки сигналів від сенсорів і передачі їх на комунікаційну плату через інтерфейс I2C. Загальне енергоспоживання плати вводу-виводу не перевищує 100 мВт, що дозволяє використовувати акумуляторну батарею ємністю 2000 мА·год для забезпечення автономної роботи протягом 48 годин.

Порівняння альтернативних рішень, таких як використання Wi-Fi-модулів (ESP8266) або LoRa-модемів (SX1276), показало їхні обмеження [1]. Модуль ESP8266 забезпечує вищу пропускну здатність (до 54 Мбіт/с), але залежить від локальних Wi-Fi-мереж, що знижує надійність у віддалених районах. LoRa-модем SX1276 має низьке енергоспоживання (10 мВт), але його пропускну здатність (до 37,5 кбіт/с) є недостатньою для передачі транзакційних даних у реальному часі. Таким чином, комбінація GSM-модему SIM800L, комунікаційної плати на STM32 та плати вводу-виводу з сенсорами забезпечує оптимальний баланс між надійністю, функціональністю та економічною ефективністю.

2.2 Обґрунтування використання серверної логіки

Сервер відіграє центральну роль у системі моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води, оскільки він відповідає за приймання даних від автоматів, їхню обробку та забезпечення можливості керування для оператора. Для реалізації цих функцій необхідна серверна логіка, яка визначає набір правил і механізмів для обробки інформації. Обраний підхід передбачає, що сервер діє як посередник між автоматами та оператором: він отримує дані, наприклад про рівень води в резервуарі чи зібрані кошти, зберігає їх у базі даних і відображає оператору. Якщо оператор потребує виконати певну дію, наприклад

перезавантажити автомат чи змінити ціну, сервер передає відповідну команду через GSM-мережу. Хоча це здається простим рішенням, воно вимагає від сервера високої швидкості, надійності та безпеки.

Вибір такого підходу обґрунтовується кількома причинами. По-перше, він забезпечує можливість одночасної обробки даних від багатьох автоматів. Наприклад, якщо 50 автоматів щосекунди надсилають інформацію, сервер має працювати без затримок і коректно зберігати всі дані. По-друге, серверна логіка гарантує безпеку: вхідні дані перевіряються на наявність помилок чи спроб несанкціонованого доступу, і в разі виявлення фальшивих команд вони відхиляються. По-третє, цей підхід дозволяє легко розширювати функціональність системи, додаючи нові можливості, такі як сповіщення оператора про втрату зв'язку чи підтримка додаткових способів оплати.

Особливу увагу приділено взаємодії сервера з платіжними сервісами, зокрема з EasyPay. Під час оплати через QR-код сервер перевіряє, чи транзакція була успішною, і лише після цього дає автомату команду розпочати подачу води. Після завершення операції сервер генерує чек у вигляді QR-коду, який надається клієнту. Це відповідає вимогам фіскалізації, адже кожна транзакція має бути офіційно зафіксованою. Така організація серверної логіки робить сервер не просто сховищем даних, а активним компонентом, який координує всі процеси в системі.

2.3 Порівняння альтернативних технологій для реалізації системи

Для визначення оптимального рішення, яке забезпечить ефективну роботу системи віддаленого моніторингу та керування автоматами подачі води в міських умовах, було проведено аналіз різних підходів перед остаточним вибором технологій. Одним із варіантів є використання бездротових мереж, які передають дані в межах обмеженої зони, але їхня ефективність залежить від стабільності сигналу в кожному місці розташування автоматів. Інший підхід передбачає застосування мереж із низьким енергоспоживанням, які дозволяють

обмінюватися інформацією на значних відстанях, однак їхня повільна швидкість може перешкоджати швидкому реагуванню на зміни.

Дослідження показує, що технології з широким покриттям і стабільним зв'язком краще підходять для системи, де автомати розподілені по місту. Такі рішення забезпечують безперервний обмін даними навіть у районах із поганим доступом до інших типів зв'язку, що є важливим для постійного контролю. Водночас альтернативні методи можуть вимагати додаткового обладнання чи створення спеціальної інфраструктури, що збільшує витрати на впровадження. З огляду на ці фактори перевагу віддають технологіям, які використовують уже наявні мережі, що полегшує розширення системи та зменшує залежність від місцевих умов. Аналіз також враховує потребу в адаптації до змін у кількості автоматів, що робить вибір гнучких рішень пріоритетним для майбутнього розвитку.

2.4 Архітектура, апаратно-програмна взаємодія та протокол обміну

Архітектура системи моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води спроектована для забезпечення ефективної взаємодії між розподіленими пристроями та центральним сервером у міському середовищі. Система структурована на трьох рівнях: апаратному, комунікаційному та серверному, кожен із яких виконує специфічні функції для забезпечення стабільності, безпеки та масштабованості. Такий підхід дозволяє обробляти дані в реальному часі, інтегрувати зовнішні сервіси, такі як платіжні системи, та адаптувати систему до зростаючої кількості автоматів без значних змін у її структурі.

Апаратний рівень охоплює автомати подачі води, які функціонують як автономні одиниці, здатні збирати дані з сенсорів і виконувати команди від сервера. Кожен автомат оснащений модулями для обробки сигналів і передачі інформації, що забезпечує їхню незалежність від зовнішніх умов, таких як нестабільне електроживлення чи слабкий сигнал мережі. Взаємодія між

компонентами автомата, такими як сенсори та платіжні модулі, відбувається через внутрішні інтерфейси, які забезпечують швидке формування даних для подальшої передачі. Цей рівень спроектовано для роботи в умовах міського середовища, де можуть виникати перепади температур, вологість чи електромагнітні перешкоди, що вимагає надійного захисту апаратних компонентів.

Комунікаційний рівень відповідає за передачу даних між автоматами та сервером через мобільну мережу. Для обміну даними обрано протокол HTTP у рамках REST API, який дозволяє формувати структуровані запити у форматі JSON [12]. Запити від автоматів містять інформацію про їхній стан, включаючи ідентифікатор пристрою та операційні показники, тоді як сервер повертає відповіді з командами для виконання, такими як зміна параметрів роботи чи активація механізмів. Використання REST API забезпечує простоту інтеграції з зовнішніми системами, зокрема платіжними сервісами, які також використовують аналогічний формат обміну даними. Для забезпечення надійності в умовах нестабільного зв'язку передбачено механізм буферизації, який зберігає дані на пристрої до відновлення з'єднання, що мінімізує ризик їхньої втрати.

Серверний рівень слугує центральним вузлом для обробки даних і координації роботи системи. Він побудований на основі фреймворку Django, який забезпечує ефективне управління запитамі, базу даних PostgreSQL для зберігання інформації про стани автоматів, транзакції та логи подій, а також асинхронну обробку за допомогою Celery для розподілу завдань між серверними вузлами. Система підтримує інтеграцію з платіжними шлюзами, такими як LiqPay, для обробки транзакцій у реальному часі.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ

3.1 Алгоритм проєктування системи

Розробка системи моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води була зосереджена на створенні комплексного рішення, яке забезпечує стабільний контроль за роботою обладнання в міських умовах. Основною метою проєктування було досягнення ефективної взаємодії між апаратними компонентами, комунікаційною інфраструктурою та серверною платформою для оперативного реагування на зміни стану автоматів і забезпечення зручного управління для операторів. Процес проєктування враховував специфіку міського середовища, зокрема нестабільність мобільного зв'язку, перепади електроживлення та вплив кліматичних умов, які можуть ускладнювати функціонування автоматів.

Для ілюстрації організації апаратної частини системи розроблено схему комунікаційної плати, яка забезпечує передачу даних через GSM-мережу (рисунок 3.1). Комунікаційна плата включає GSM-модем SIM800L, мікроконтролер STM32F103C8T6 та антену, що гарантує стабільний зв'язок у міських умовах. Модем формує JSON-пакети з даними про стан автомата, такими як рівень води чи статус транзакцій, оптимізуючи використання пропускної здатності мережі.

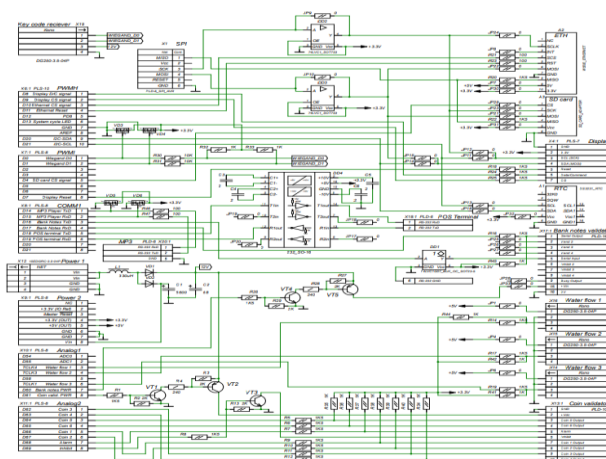


Рисунок 3.1 – Схема комунікаційної плати

На початковому етапі проектування визначено функціональні вимоги, що охоплювали необхідність збору даних із сенсорів, обробки інформації про стан автоматів і реалізації дистанційного керування. Для цього створено модульну архітектуру системи, яка забезпечує гнучкість і можливість адаптації до змін у кількості пристроїв чи умов експлуатації. Модульність дозволяє додавати нові автомати або сенсори без значних змін у базовій структурі. Кожен автомат спроектовано як автономну одиницю, здатну локально обробляти дані від сенсорів і передавати їх через мобільну мережу на центральний сервер. Такий підхід зменшує залежність від постійного зв'язку та підвищує стійкість системи до тимчасових збоїв мережі.

Наступним етапом було створення схеми взаємодії компонентів, яка забезпечує періодичне оновлення даних і можливість оперативного втручання оператора. Для цього розроблено плату вводу-виводу, що інтегрує сенсори рівня рідини, тиску та платіжні модулі (рисунк 3.2). Плата базується на мікроконтролері Arduino Nano, який обробляє сигнали від сенсорів і передає їх на комунікаційну плату через інтерфейс I2C. Точність вимірювань сенсорів становить не більше 1 % похибки, що забезпечує коректне дозування води та своєчасне виявлення відхилень у роботі обладнання.

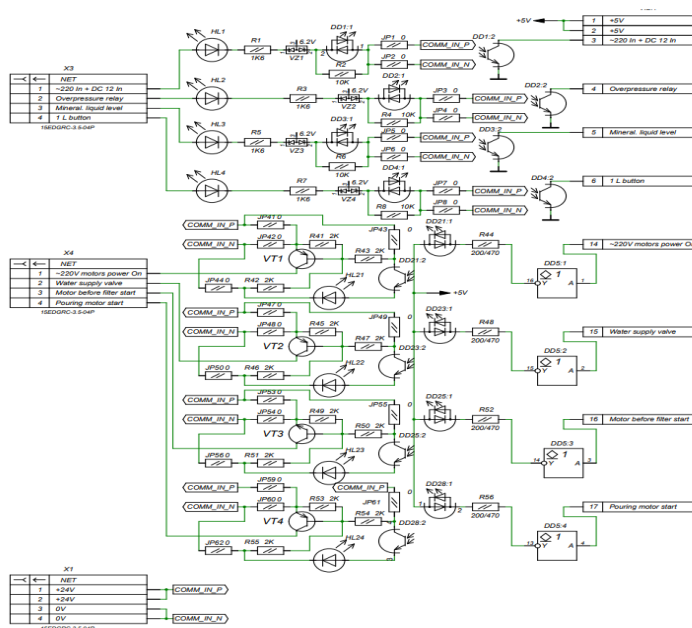


Рисунок 3.2 – Схема плати вводу-виводу

Розробка системи моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води була зосереджена на створенні комплексного рішення, яке забезпечує стабільний контроль за роботою обладнання в міських умовах. Основною метою проектування було досягнення ефективної взаємодії між апаратними компонентами, комунікаційною інфраструктурою та серверною платформою для оперативного реагування на зміни стану автоматів і забезпечення зручного управління для операторів. Процес проектування враховував специфіку міського середовища, зокрема нестабільність мобільного зв'язку, перепади електроживлення та вплив кліматичних умов, які можуть ускладнювати функціонування автоматів.

Для ілюстрації структури даних, що передаються в системі, розроблено приклад JSON-пакета, який забезпечує обмін інформацією між автоматом подачі води та сервером через GSM-мережу (рисунок 3.3). Пакет включає ключові показники роботи автомата: ідентифікатор, рівень рідини, тиск, статус операції та часовий штамп. Формат JSON забезпечує компактність і ефективність передачі даних, сприяючи їх швидкій обробці серверною платформою.

```
{
  "total_count_pay": 73,
  "total_water_sold_all": 450.7,
  "payments": {
    "cash_payments": 848,
    "qr_payments": 193,
    "pay_pass_payments": 0,
    "total_sum_sales": 1041
  },
  "active_machines": 3
}
```

Рисунок 3.3 – Приклад пакета даних

Розробка системи моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води була зосереджена на створенні комплексного рішення, яке забезпечує стабільний контроль за роботою обладнання в міських умовах. Основною метою проектування було досягнення ефективної взаємодії між

апаратними компонентами, комунікаційною інфраструктурою та серверною платформою для оперативного реагування на зміни стану автоматів і забезпечення зручного управління для операторів. Процес проектування враховував специфіку міського середовища, зокрема нестабільність мобільного зв'язку, перепади електроживлення та вплив кліматичних умов, які можуть ускладнювати функціонування автоматів.

Для ілюстрації організації апаратної частини системи розроблено схему комунікаційної плати, яка забезпечує передачу даних через GSM-мережу (рисунок 3.1). Комунікаційна плата включає GSM-модем SIM800L, мікроконтролер STM32F103C8T6 та антену, що гарантує стабільний зв'язок у міських умовах. Модем формує JSON-пакети з даними про стан автомата, такими як рівень води чи статус транзакцій, оптимізуючи використання пропускну здатності мережі.

3.2 Розробка апаратної частини системи

Апаратна частина системи розроблялася з урахуванням потреб надійного функціонування автоматів у різних умовах експлуатації. Кожен автомат оснащений контролером, наприклад Arduino або STM32, який обробляє більшість алгоритмів, пов'язаних із контролем датчиків, роботою механізмів подачі води та обробкою продажів. Контролер взаємодіє з датчиками, які відстежують рівень води в резервуарі, тиск на вході, стан платіжних модулів, таких як купюроприймач і монетоприймач. Ці датчики забезпечують точність роботи автомата, наприклад визначають, чи достатньо води для виконання замовлення клієнта, чи немає технічних збоїв у механізмах.

Комунікація між автоматом і сервером здійснюється через захищений канал, створений мобільним оператором. Цей канал забезпечує стабільний зв'язок, але його робота залежить від наявності коштів на SIM-картці, встановленій у комунікаційній платі з модулем зв'язку типу SIM800L. У разі нестачі коштів зв'язок із сервером може бути втрачений, що потребуватиме

втручання спеціаліста для відновлення. Також якість зв'язку залежить від рівня сигналу в місці розташування автомата, наприклад у районах із слабким покриттям можливі затримки в передачі даних. Для ілюстрації розміщення SIM-картки та антени в комунікаційній платі використано (рисунок 3.1), який показує їхню інтеграцію в апаратну частину.

Розробка апаратної частини передбачала тестування компонентів у різних умовах. Наприклад, перевірялася робота датчиків у разі перепадів тиску води чи зміни рівня сигналу зв'язку. Результати показали, що автомати здатні працювати стабільно за умови регулярного технічного обслуговування, зокрема поповнення балансу SIM-картки та перевірки стану датчиків. У разі технічної несправності автомат припиняє операцію, а інформація про проблему надсилається на сервер для подальшого аналізу оператора.

Такий підхід до розробки апаратної частини забезпечує надійність системи та її готовність до інтеграції з програмним забезпеченням.

3.3 Розробка програмної частини системи

База даних містить (рисунок 3.4) таблицю для збереження даних про автомати з полями для унікального ідентифікатора, адреси розташування, статусу, номера SIM-картки та тарифу, таблицю транзакцій із полями для ідентифікатора транзакції, ідентифікатора автомата, типу оплати, суми та часового штампа, а також таблицю сенсорних даних із полями для ідентифікатора запису, ідентифікатора автомата, рівня води, тиску та часового штампа.

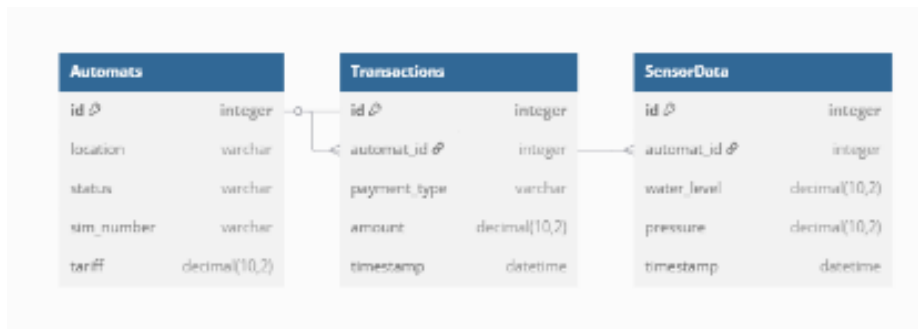


Рисунок 3.4 – Приклад схеми бази даних

Зв'язки між таблицями встановлено через зовнішні ключі, що забезпечує цілісність даних. Для оптимізації запитів створено індекси на часто використовувані поля, такі як ідентифікатор автомата та часовий штамп, що дозволяє швидко отримувати статистику, наприклад, обсяг виданої води чи суму продажів для конкретного автомата. Для обробки великих обсягів даних використано асинхронний брокер повідомлень Celery, який забезпечує можливість обробки до ста запитів за хвилину без перевантаження серверної інфраструктури [4].

База даних містить таблицю для збереження даних про автомати з полями для унікального ідентифікатора, адреси розташування, статусу, номера SIM-карти та тарифу, таблицю транзакцій із полями для ідентифікатора транзакції, ідентифікатора автомата, типу оплати, суми та часового штампа, а також таблицю сенсорних даних із полями для ідентифікатора запису, ідентифікатора автомата, рівня води, тиску та часового штампа. Зв'язки між таблицями встановлено через зовнішні ключі, що забезпечує цілісність даних. Для оптимізації запитів створено індекси на часто використовувані поля, такі як ідентифікатор автомата та часовий штамп, що дозволяє швидко отримувати статистику, наприклад, обсяг виданої води чи суму продажів для конкретного автомата. Для обробки великих обсягів даних використано асинхронний брокер повідомлень Celery, який забезпечує можливість обробки до ста запитів за хвилину без перевантаження серверної інфраструктури.

Інтеграція з платіжними системами EasyPay і Checkbox стала ключовим елементом програмної частини [3,6] Система підтримує онлайн-оплати через EasyPay, де клієнт сканує QR-код для авторизації платежу. Сервер отримує запит від EasyPay (рисунок 3.5), перевіряє можливість подачі води, наприклад, достатність рівня рідини в резервуарі, і підтверджує транзакцію, отримуючи відповідь (рисунок 3.6).

```

"request_id": "req_20250530_123456789",
"merchant_id": "merch_987654",
"automat_id": "id:8",
"transaction_type": "payment",
"amount": 207.50,
"currency": "UAH",
"timestamp": "2025-05-30T05:30:00+03:00",
"payment_method": "qr_code",
"description": "Water dispensing payment for automat id:8",
"client_ip": "192.168.1.100",
"signature": "a1b2c3d4e5f6g7h8i9j0k1l2m3n4o5p6q7r8s9t0",
"order_details": {
  "water_volume_liters": 10.5,
  "tariff_id": "tariff_001",
  "location": "Kyiv, Main St, 1"
}

```

Рисунок 3.5 – JSON-структура запиту до EasyPay

```

{
  "response_id": "resp_20250530_123456789",
  "request_id": "req_20250530_123456789",
  "transaction_id": "tx_789456123",
  "status": "completed",
  "amount": 207.50,
  "currency": "UAH",
  "timestamp": "2025-05-30T05:30:15+03:00",
  "payment_method": "qr_code",
  "check_id": "chk_456789",
  "merchant_id": "merch_987654",
  "automat_id": "id:8",
  "signature": "z9y8x7w6v5u4t3s2r1q0p9o8n7m6l5k4j3i2h1g0",
  "details": {
    "water_volume_liters": 10.5,
    "tariff_id": "tariff_001",
    "processing_time_ms": 150,
    "error_code": null,
    "error_message": null
  }
}

```

Рисунок 3.6 – JSON-структура відповіді від EasyPay

Інтеграція з платіжними системами EasyPay і Checkbox стала ключовим елементом програмної частини. Система підтримує онлайн-оплати через EasyPay, де клієнт сканує QR-код для авторизації платежу. Сервер отримує запит від EasyPay і підтверджує транзакцію, отримуючи відповідь. Після успішної перевірки сервер ініціює подачу води та генерує фіскальний чек через Checkbox, що відповідає вимогам українського законодавства про фіскалізацію. Запит до Checkbox формується у структурованому форматі. Для забезпечення безпеки застосовується шифрування HTTPS із протоколом TLS 1.3, а всі запити валідаються на сервері, відхиляючи некоректні спроби доступу з відповідним кодом помилки. Логування транзакцій у базі даних дозволяє вести облік із

точністю до секунди, що є важливим для фінансової звітності.

Вебінтерфейс, розроблений на основі фреймворку Vue3, забезпечує динамічне відображення даних і зручне керування системою. Панель моніторингу відображає ключові показники кожного автомата, такі як рівень води в резервуарі, статус сенсорів, зібрані кошти та останні транзакції, наприклад, для автомата з ідентифікатором id:8 відображаються значення 90,5 літрів води та 181,0 гривень (рисунок 3.7). Оператор може надсилати команди, такі як калібрування насоса, перезавантаження автомата чи зміна тарифу, через HTTP-запити. Оновлення даних у реальному часі реалізовано за допомогою WebSocket, що забезпечує миттєве сповіщення про зміни, наприклад, про низький рівень води, який виділяється червоним кольором на панелі.

The screenshot shows the 'Апарати' (Machines) section of the 'Здорова Вода' admin interface. It features a sidebar with navigation options like 'Головна', 'Користувачі', 'Апарати', 'Адреси', and 'Заяви'. The main content area displays a table with the following data:

№	Апарат	К-сть води за сьогодні (л)	Гроші за сьогодні (грн)	Купюри (шт)	Монети (шт)	Сенсори	Зв'язок	К-сть води за місяць (календарний) літрів	Грошей за місяць (календарний)	Ціна за 1л
1	[id:1]	0	0.0	0	0	●	●	0	0.0	2
8	[id:8] Київ, Миколи Гоголя 5	90.5	181.0	28	200	●	●	11551.68	19327.5	200
9	[id:9] Київ, Петропавлівська 2Д	244.4	611.0	156	1361	●	●	18484.53	41965.2	250
10	[id:10] Київ, Північна 2а	38	76.0	27	402	●	●	3921	7842.0	200

Рисунок 3.7 – Адмін-панель із пристроями

Вебінтерфейс оптимізований для роботи на пристроях із різною роздільною здатністю, включаючи настільні комп'ютери, планшети та смартфони, що забезпечує гнучкий доступ до системи з будь-якого місця. Для

безпеки реалізовано авторизацію через токени JWT, які оновлюються після кожного сеансу, а доступ до чутливих функцій, таких як зміна тарифів, обмежено ролями користувачів. Усі API-запити підписуються токенами, а дані передаються через зашифроване з'єднання HTTPS, що мінімізує ризик несанкціонованого доступу. Для зручності оператора передбачено фільтрацію даних, наприклад, вибір автомата за ідентифікатором або сортування транзакцій за датою, що реалізовано через відповідні API-ендпоінти.

Обмін даними між автоматами, сервером і вебінтерфейсом базується на принципі запит-відповідь. Автомат формує пакет із даними і надсилає його через GSM-канал на сервер. Сервер обробляє дані, зберігає їх у базі даних і повертає відповідь із командою. Вебінтерфейс періодично опитує сервер через REST API, використовуючи методи для отримання даних і відправлення команд (рисунок 3.8). Формат обміну даними забезпечує простоту обробки та можливість інтеграції з іншими системами в майбутньому

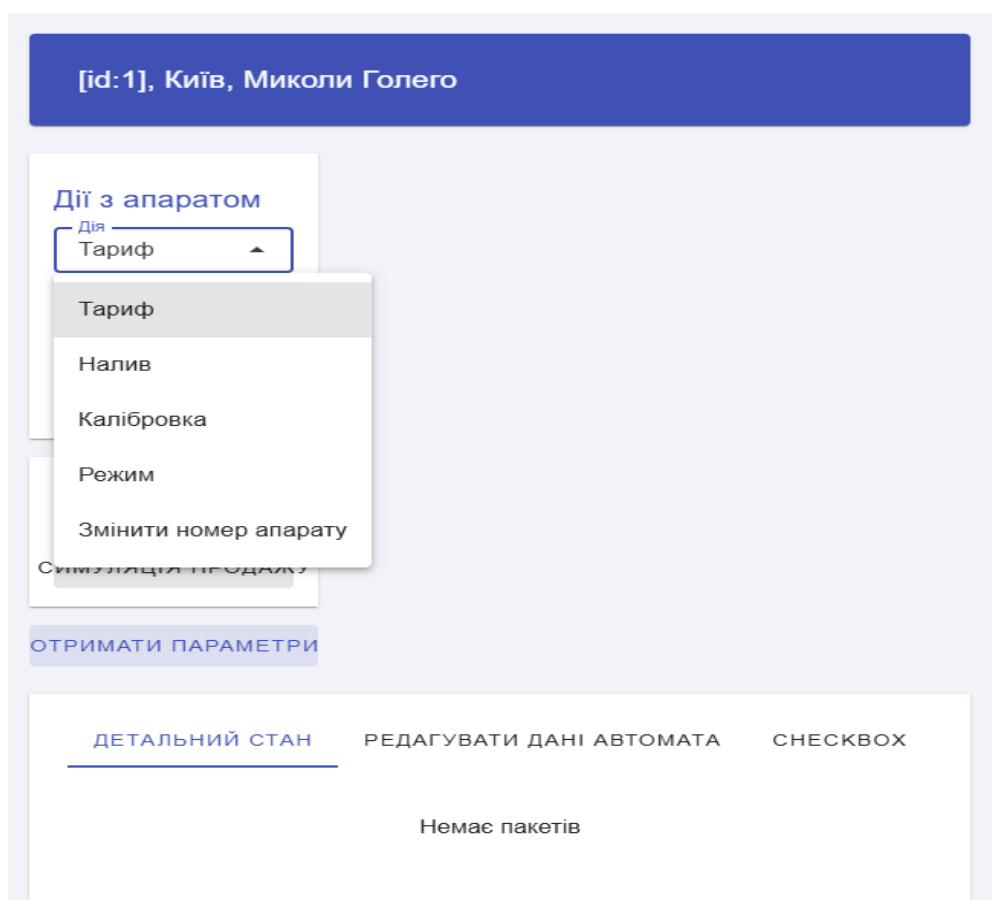


Рисунок 3.8 – Інтерфейс зміни даних автомата

Розроблений програмний комплекс забезпечує надійну обробку даних, інтеграцію з платіжними системами та зручне керування автоматами. Серверна частина на Django гарантує ефективну обробку запитів і безпечне зберігання інформації, а вебінтерфейс на Vue3 надає оператору інтуїтивний інструмент для моніторингу та управління. Система спроектована з урахуванням масштабування: додавання нових автоматів можливе без значних змін у серверній логіці, а використання Celery і Redis для кешування даних дозволяє обробляти зростаюче навантаження. У майбутньому система може бути розширена підтримкою мобільного додатка або інтеграцією з іншими технологіями зв'язку для моніторингу віддалених об'єктів.

3.4 Інтеграція та тестування системи

Тестування системи моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води проведено з метою оцінки її стабільності, безпеки, інтеграції з платіжними системами та відповідності функціональним вимогам. Процес включав перевірку серверної частини, вебінтерфейсу, обміну даними та взаємодії з апаратними компонентами в умовах, що імітують реальну експлуатацію. Тестування здійснювалося на основі даних із чотирьох автоматів із ідентифікаторами id:1, id:8, id:9, id:10, представлених у адмін-панелі, із використанням симуляцій навантажень і реальних транзакцій.

Серверна частина тестувалася на здатність обробляти одночасні запити від автоматів під піковим навантаженням. Для цього створено сценарій із п'ятдесятьма віртуальними пристроями, кожен із яких надсилав запити з частотою одного за дві хвилини, що забезпечило інтенсивність до ста запитів за хвилину. Дані, аналогічні отриманим від автомата з ідентифікатором id:8, зокрема 90,5 літрів води за добу та дохід 181,0 гривень, використовувалися для імітації реальних показників. Середня затримка обробки становила 150 мілісекунд із максимальним значенням 250 мілісекунд, що підтверджує

стабільну роботу сервера [4] (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Гістограма затримок обробки запитів

Асинхронна обробка через Celery забезпечила відсутність втрат даних навіть при десяти відсотках втрати пакетів у симульованому слабкому GSM-сигналі (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Лінійний графік втрат пакетів

Тестування валідації включало надсилання некоректних запитів, які сервер відхиляв із кодом помилки 400, логуючи деталі в таблиці бази даних для зберігання помилок (рисунок 3.11).

```
{
  "automat_id": "id:8",
  "water_level": "invalid"
}
```

Рисунок 3.11 – Помилка підключення

Вебінтерфейс перевірявся на різних пристроях із роздільними здатностями 1920x1080 для настільних комп'ютерів, 1280x800 для планшетів і 360x640 для смартфонів. Панель моніторингу коректно відображала дані, наприклад, 90,5 літрів води та 181,0 гривень для автомата з ідентифікатором id:8, із часом оновлення через WebSocket від однієї до двох секунд. Тестування функціональності включало відправлення команд, таких як калібрування насоса для автомата id:8, із часом виконання три секунди. Адаптивність інтерфейсу підтверджена коректним відображенням таблиці з даними, як показано на знімку екрана адмін-панелі, без спотворень на всіх пристроях.

Інтеграція з платіжними системами EasyPay і Checkbox тестувалася на п'ятдесяти транзакціях із сумами від 10 до 250 гривень. Час обробки транзакцій, аналогічних тій, що для автомата id:8 на суму 181,0 гривень, склав від двох до трьох секунд, із стовідсотковою точністю генерації фіскальних чеків через Checkbox. Симуляція відмови платіжної системи, наприклад, відхилення транзакції на суму 207 гривень, показала коректну обробку сервером, зберігаючи цілісність даних у таблиці транзакцій (рисунок 3.12).

```
{
  "response_id": "resp_20250530_987654321",
  "transaction_id": "tx_789456123",
  "status": "failed",
  "error_code": "ERR_INSUFFICIENT_FUNDS",
  "error_message": "Payment declined due to insufficient balance on client acc",
  "amount": 207.50,
  "currency": "UAH",
  "timestamp": "2025-05-30T05:50:00+03:00",
  "automat_id": "id:8",
  "signature": "k9j8h7g6f5e4d3c2b1a0"
}
```

Рисунок 3.12 – Помилка платіжної системи

Тестування безпеки включало спроби доступу до API без токена JWT, які блокувалися з кодом помилки 401, а також атаки типу SQL-ін'єкції, що не вплинули на базу даних завдяки параметризованим запитам. Обмін даними між автоматами, сервером і вебінтерфейсом перевірявся на предмет втрати пакетів і затримок. У тестовому середовищі з імітацією слабкого GSM-сигналу, що характеризується затримкою 500 мілісекунд і втратою десяти відсотків пакетів, буферизація на комунікаційній платі забезпечила доставку всіх даних із затримкою до п'яти секунд. Тестування командного циклу, наприклад, команда для початку подачі води для автомата id:8, показало час від моменту запиту до дії автомата в межах чотирьох-п'яти секунд, що відповідає специфікаціям. Дані про обсяги води, зокрема 90,5 літрів для id:8 і 244,4 літри для id:9, а також доходи 181,0 гривень і 611,0 гривень відповідно, коректно відображалися у вебінтерфейсі після обробки.

Загалом тестування підтвердило стабільність системи при навантаженнях до ста запитів за хвилину, безпеку даних завдяки шифруванню HTTPS і авторизації JWT, а також надійність інтеграції з платіжними системами. Результати свідчать про готовність системи до експлуатації в реальних умовах із можливістю подальшого масштабування, наприклад, додавання нових автоматів або інтеграції з мобільним додатком.

3.5 Пропозиції щодо вдосконалення системи

Розробка системи моніторингу та дистанційного керування автоматами подачі води завершилася створенням стабільного комплексу, який забезпечує передачу даних, обробку транзакцій і зручне керування обладнанням. Проведені інтеграція та тестування підтвердили надійність системи, але виявили потенціал для її покращення. Пропозиції щодо вдосконалення стосуються апаратної частини, програмного забезпечення, безпеки та користувацького досвіду, щоб підвищити ефективність, адаптивність і конкурентоспроможність системи в

умовах розширення мережі автоматів.

Оптимізація апаратної частини зосереджується на підвищенні енергоефективності та стійкості до зовнішніх умов. Комунікаційна плата та плата вводу-виводу, що живляться від джерела напруги 12 В, можуть бути доопрацьовані для зменшення енергоспоживання. Впровадження режиму низького енергоспоживання під час періодів простою, наприклад, у нічний час, скоротить витрати електрики. Це особливо важливо для автоматів у віддалених локаціях, де доступ до електромережі може бути обмеженим. Додатково пропонується встановлення резервного джерела живлення, такого як акумулятор, який забезпечить роботу GSM-модему та ключових сенсорів у разі відключення електроенергії, що підвищить безперебійність роботи.

Покращення зв'язку також є важливим напрямом. Комунікаційна плата ефективно буферизує дані та відновлює зв'язок за 30 секунд після втрати GSM-сигналу, але в регіонах зі слабким покриттям мережі можливі затримки. Додавання підтримки альтернативних каналів зв'язку, таких як Wi-Fi чи LoRa, як резервних варіантів, забезпечить безперервну передачу даних. Це дозволить системі залишатися працездатною в умовах нестабільного мобільного зв'язку, що стане перевагою при масштабуванні на великі території з неоднорідним покриттям.

У програмній частині вдосконалення спрямовані на підвищення продуктивності та розширення можливостей. Серверна частина, реалізована на фреймворку Django, стабільно обробляє запити від десятків автоматів, але при зростанні їхньої кількості до сотень може виникнути потреба в оптимізації. Впровадження кешування для часто запитуваних даних, таких як звіти про стан автоматів чи історія транзакцій, зменшить навантаження на базу даних і прискорить відповідь сервера. Окрім того, пропонується реалізувати автоматичне масштабування серверних ресурсів, яке динамічно розподілятиме обчислювальні потужності залежно від кількості одночасних запитів, що забезпечить стабільність при пікових навантаженнях.

Вебінтерфейс, побудований на Vue3, забезпечує зручне керування, але

його функціонал можна доповнити. Додавання аналітичного модуля дозволить генерувати звіти про продуктивність автоматів, наприклад, об'єм продажів за період чи популярність у різних районах. Це допоможе оптимізувати розміщення автоматів і планувати їхнє технічне обслуговування. Інша пропозиція стосується впровадження системи сповіщень, яка повідомлятиме оператора про критичні події, такі як низький рівень води чи втрата зв'язку, через електронну пошту чи месенджери [8]. Такий механізм прискорить реагування на проблеми, зменшивши час простою обладнання.

Безпека системи потребує додаткових заходів для захисту від потенційних загроз. Хоча ізольований GSM-канал і перевірка запитів на сервері забезпечують надійний захист, впровадження двофакторної автентифікації для операторів вебінтерфейсу підвищить безпеку доступу до чутливих функцій, таких як зміна параметрів чи перегляд фінансових даних. Додатково пропонується розробка модуля аналізу аномалій, який відстежуватиме нетипові запити до API, наприклад, надмірну кількість команд від одного автомата, що може вказувати на спробу несанкціонованого втручання.

Для підвищення доступності та зручності використання системи пропонується створити мобільний додаток, який дозволить клієнтам знаходити найближчі автомати подачі води, перевіряти їхній поточний стан (наприклад, наявність води чи технічну справність) і здійснювати оплату через інтегровані платіжні сервіси. Додаток може включати функцію відображення історії транзакцій і сповіщень про спеціальні пропозиції, що сприятиме підвищенню лояльності користувачів і збільшенню частоти використання автоматів.

Для забезпечення ефективної роботи системи при розширенні мережі автоматів пропонується впровадити розподілену серверну архітектуру з використанням хмарних технологій, таких як Kubernetes. Це дозволить динамічно розподіляти обчислювальні ресурси, мінімізуючи затримки обробки даних і підвищуючи відмовостійкість. Додатково рекомендується розробити механізм автоматичного оновлення прошивки апаратних модулів, що спростить впровадження нових функцій і виправлення помилок без фізичного доступу до

пристроїв.

Покращення користувацького досвіду також охоплює інтерфейс самих автоматів (рисунок 3.13). Дисплей, який відображає об'єм наливої води та статус транзакції, можна доповнити можливістю вибору мови чи відображення інформаційних повідомлень, наприклад, про якість води чи акції. Додавання сенсорів якості води, які контролюватимуть її параметри, такі як рівень рН чи мінералізації, і передаватимуть дані на сервер, підвищить довіру клієнтів [9, 10]. Ці дані можуть відображатися в мобільному додатку, що стане додатковою перевагою для користувачів.

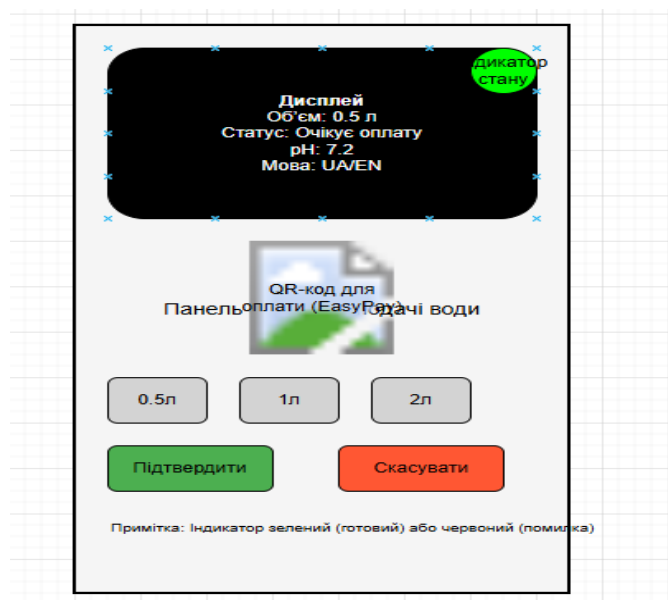


Рисунок 3.13 – Схема як виглядає інтерфейс

Запропоновані зміни спрямовані на підвищення ефективності, безпеки та зручності системи. Оптимізація апаратної частини забезпечить економію ресурсів і стійкість до перебоїв, а вдосконалення програмного забезпечення розширить функціонал і продуктивність. Нові способи оплати, мобільний додаток і розподілена архітектура підготують систему до масштабування. Впровадження цих пропозицій дозволить адаптувати комплекс до нових вимог, підвищити його привабливість для клієнтів і забезпечити стабільну роботу в довгостроковій перспективі.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання кваліфікаційної роботи сформовано низку висновків, які відображають досягнення поставлених завдань.

Здійснено ґрунтовне дослідження сучасних технологій Інтернету речей (IoT) і методів передачі даних через мобільні мережі, що дозволило визначити оптимальні підходи до моніторингу розподілених пристроїв у міських умовах. Проаналізовано можливості платформ IoT, таких як AWS IoT Core і Google Cloud IoT, а також технології зв'язку, включаючи GSM і Wi-Fi. Встановлено, що GSM-мережі є оптимальними для системи моніторингу автоматів подачі води завдяки широкому покриттю та надійності, тоді як потенційні проблеми, такі як тимчасова втрата сигналу, вирішено через використання захищених каналів передачі.

Спроектовано апаратну частину системи, яка забезпечує ефективний збір і передачу даних від автоматів подачі води. Розроблено модульну структуру, що включає комунікаційну плату для передачі інформації через мобільну мережу та плату для обробки сигналів від сенсорів рівня рідини, тиску та платіжних пристроїв. Використання мікроконтролерів для керування механізмами, такими як насоси, забезпечило точність роботи системи, а архітектура апаратного комплексу дозволяє легко масштабувати мережу автоматів.

Розроблено програмне забезпечення для обробки даних і дистанційного керування автоматами, що базується на серверній платформі з використанням фреймворку Django. Програма забезпечує приймання даних від пристроїв, їх аналіз і виконання операторських команд, таких як зміна режимів роботи. Реалізовано механізм запит-відповідь для обміну даними, де автомати періодично надсилають стан, а сервер відповідає командами.

Візуалізовано дані про стан автоматів у реальному часі через вебінтерфейс, створений із використанням фреймворку Vue3. Інтерфейс надає операторам доступ до актуальних показників, таких як об'єм води в резервуарах і статус обладнання, а також дозволяє надсилати команди, наприклад, для калібрування

насосів. Такий підхід забезпечує зручність моніторингу та оперативного реагування на зміни в роботі системи.

Реалізовано інтеграцію системи з платіжними сервісами EasyPay і Checkbox, що дозволяє обробляти транзакції користувачів і генерувати фіскальні чеки в режимі онлайн. Використання REST API для взаємодії з платіжними системами забезпечило стабільну обробку фінансових даних, а також можливість інтеграції з іншими сервісами в майбутньому.

Запропоновано заходи для підвищення надійності системи, які включають впровадження режиму низького енергоспоживання для апаратних компонентів, використання резервних каналів зв'язку, таких як Wi-Fi і LoRa, а також кешування даних на пристроях для збереження інформації в умовах збоїв. Крім того, рекомендовано додати аналітичний модуль до вебінтерфейсу для прогнозування потреб у технічному обслуговуванні, що підвищить ефективність експлуатації системи.