

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроніки і комп'ютерної техніки

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри ЕКТ

\_\_\_\_\_ Анатолій ОПАНАСЮК  
(підпис) (Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)  
\_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»**  
зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
освітньо-професійної програми «Мережеві та інтернет-технології»  
на тему:

**СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА**  
**БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН**

Здобувача групи ТК-01 \_\_\_\_\_ Мазуркевича Олександра Андрійовича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник, доцент, к.т.н., доцент, Бережна Ольга Володимирівна \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник, начальник відділу адміністрування інформаційних систем, телекомунікацій і захисту інформації ГУ Національної поліції в Сумській області, к.т.н., Печенюк Дмитро Андрійович \_\_\_\_\_  
(підпис)

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет \_\_\_\_\_ електроніки та інформаційні технології

Кафедра \_\_\_\_\_ електроніки та комп'ютерної техніки

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_ 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма \_\_\_\_\_ Мережеві та інтернет-технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_ Опанасюк А.С.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024р.

**ЗАВДАННЯ**

**на кваліфікаційну роботу бакалавра**

**Мазуркевич Олександр Андрійович**

1. Тема роботи: «Система моніторингу громадського транспорту на базі технології блокчейн»

затверджена наказом по університету: "13" березня 2024 р. № 0255-VI.

2. Термін здачі студентом завершеної роботи: 12.06.2024.

3. Вихідні дані до роботи: Реалізувати систему на базі блокчейн-контролера із використанням обчислень відповідних хеш-функцій. Контролер повинен забезпечити використання режиму енергозбереження.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): 1) Огляд літератури та постановка задачі проектування. 2) Розроблення алгоритму роботи та структурної схеми системи. 3) Розроблення схеми електричної принципової пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1) Схема алгоритму. 2) Схема електрична структурна. 3) Схема електрична принципова.

6. Дата видачі завдання: 13.03.2024

7. Керівник роботи: Бережна О.В.

8. Завдання прийняв до виконання: Мазуркевич О.А.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Огляд літератури	02.04.24	
2	Розробка алгоритму роботи системи	15.04.24	
3	Розробка схеми електричної структурної системи	29.04.24	
4	Розробка схеми електричної принципової пристрою	17.05.24	
5	Розробка програмного забезпечення проєктованого електронного пристрою	20.05.24	
6	Оформлення пояснювальної записки	25.05.24	
7	Розробка та оформлення графічної частини	01.06.24	
8	Представлення роботи керівнику і отримання відгуку	09.06.24	
9	Представлення роботи на кафедрі для отримання рецензії	09.06.24	

Студент

\_\_\_\_\_ О.А. Мазуркевич  
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ О.В. Бережна  
(підпис)

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 76 аркушів, 17 рисунків, 15 таблиці, 12 джерел літератури.

Графічна частина роботи містить: схему алгоритму функціонування системи, схему електричну структурну системи, схему електричну принципову пристрою блокчейн-контролера.

Пояснювальна записка містить три розділи: огляд літератури та постановка задачі проектування, розроблення алгоритму роботи та структурної схеми системи, розроблення схеми електричної принципової пристрою.

Перший розділ містить загальну інформацію про блокчейн, призначення, основні функції та види використання, а також постановку завдання на проектування.

Другий розділ присвячений розробленню алгоритму функціонування системи та розроблення схеми електричної структурної системи.

Третій розділ присвячений вибору елементної бази, розробленню схеми електричної принципової блокчейн-контролера, розробленню програмного забезпечення.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ .....	9
1.1 Архітектура технології .....	10
1.2 Розвиток та варіанти використання .....	12
1.2.1 Ігри.....	12
1.2.2 Нерухомість .....	13
1.2.3 Страхування.....	14
1.2.4 Безпека .....	14
1.2.5 Мистецтво .....	14
1.2.6 Транспортна логістика .....	15
1.3 Переваги застосування технології блокчейн у транспортній логістиці .	16
1.4 Можливі проблеми при застосуванні технології блокчейн у транспортній логістиці .....	17
1.5 Постанова завдання.....	19
2 РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ РОБОТИ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ .....	21
2.1 Розроблення алгоритму функціонування системи .....	21
2.2 Розроблення схеми електричної структурної системи .....	28
3 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ ПРИСТРОЮ	30
3.1 Вибір елементної бази .....	30
3.1.1 ESP32-WROOM.....	30
3.1.2 Високоточне джерело опорної напруги ADR02 .....	44
3.1.3 Аналогово-цифровий перетворювач AD7788.....	46
3.1.4 Операційний підсилювач ОРА340 .....	47
3.1.5 Чотирьохканальний однополюсний одноконтактний аналоговий перемикач ADG1611 .....	49
3.1.6 Регулятор напруги LM317LD .....	52

					<i>ЕлІТ 6.172.00.02.118 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Система моніторингу громадського транспорту на базі технології блокчейн.  Пояснювальна записка	<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листів</i>
<i>Розроб.</i>	Мазуркевич О.А.							
<i>Перевір.</i>	Бережна О.В.						5	
<i>Реценз.</i>						СумДУ, гр. ТК-01		
<i>Н. Контр.</i>	Бережна О.В.							
<i>Затверд.</i>	Опанасюк А.С.							

3.1.7 Перетворювач напруги LM2660 .....	53
3.1.8 Перетворювач LT1615 .....	56
3.1.9 Джерело напруги ADR03 .....	58
3.1.10 Аналого-цифровий перетворювач AD7927 .....	59
3.2 Розроблення програмного забезпечення системи .....	62
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	66
Додаток А	
Додаток Б	
Додаток В	

## ВСТУП

Підвищення якості життя людини є головною метою розвитку технологій, яку поставило собі людство. Однією з таких інноваційних технологій є блокчейн, яка має великий потенціал для покращення різних аспектів життя, включаючи транспортну інфраструктуру.

Більшість великих міст в значній мірі залежать від громадського транспорту. Тому застосування блокчейн у системі моніторингу громадського транспорту може забезпечити прозорість, безпеку та ефективність даних, що сприятиме підвищенню рівня життя громадян. Відстеження руху транспортних засобів, управління графіками та оптимізація маршрутів – все це стане доступнішим завдяки децентралізованому підходу блокчейн.

З розвитком технологій та зростанням потреб сучасного суспільства у покращенні систем громадського транспорту виникає необхідність впровадження інноваційних підходів для забезпечення ефективного моніторингу та управління цими системами. Одним із перспективних напрямків розвитку є застосування технології блокчейн, яка привертає увагу своєю можливістю забезпечення високого рівня безпеки, прозорості та децентралізації.

Таким чином, розвиток технологій, включаючи блокчейн, тісно пов'язаний з рівнем життя людини, забезпечуючи ефективніше використання ресурсів та кращий доступ до важливих послуг.

Ця кваліфікаційна робота присвячена розробці та дослідженню системи моніторингу громадського транспорту на базі технології блокчейн. Ключова мета цього проекту – розробка пристрою збору даних, який дозволить підвищити ефективність управління громадським транспортом та зменшити його навантаження і забезпечити комфортні умови для користувачів.

Останніми роками постійний розвиток технології блокчейн та цифровий бум криптовалюти спричинили значне зацікавлення у різних сферах. В умовах зростання міського населення та збільшення автомобільного трафіку системи громадського транспорту стають стратегічно важливими для ефективного функціонування сучасних міст. Проте існуючі системи моніторингу транспорту часто стикаються з проблемами неефективності, відсутності прозорості та недостатньої безпеки даних.

					ЕліТ 6.172.00.02.118 ПЗ	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

В контексті цих викликів використання технології блокчейн може стати перспективним рішенням, оскільки вона надає можливість забезпечити безпеку та недоступність даних, а також прозорий та децентралізований механізм управління інформацією. Такий підхід може сприяти вдосконаленню систем моніторингу та управління громадським транспортом, покращенню якості послуг та зниженню витрат.

#### Очікувані результати

Реалізація системи моніторингу громадського транспорту на базі блокчейн передбачає досягнення наступних результатів:

**Прозорість даних:** Всі дані про рух транспорту та графіки будуть доступні у режимі реального часу, що дозволить пасажиром та адміністраторам бачити актуальну інформацію та приймати обґрунтовані рішення.

**Підвищена безпека:** Використання блокчейн забезпечить захист даних від несанкціонованих змін та кібератак, що є важливим для збереження конфіденційності та цілісності інформації.

**Ефективне управління ресурсами:** Оптимізація маршрутів та графіків на основі аналізу даних дозволить зменшити затори, скоротити час поїздок та знизити експлуатаційні витрати.

**Залучення громадян:** Можливість громадян активно брати участь у моніторингу та покращенні транспортних послуг через децентралізовані платформи, що базуються на блокчейн.

Таким чином, впровадження системи моніторингу громадського транспорту на базі технології блокчейн може суттєво покращити ефективність та надійність міської транспортної інфраструктури. Завдяки таким перевагам, як прозорість, безпека та децентралізація, блокчейн-технології відкривають нові можливості для розвитку інтелектуальних транспортних систем, які відповідають вимогам сучасного суспільства.



## 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ

Перш ніж почати пошук, важливо визначити ключові терміни:

**Громадський транспорт:** Це система транспорту, яка призначена для масового використання та забезпечує перевезення пасажирів в міській або міжміській мережі. Включає в себе автобуси, тролейбуси, трамваї, метрополітени, приміські та міжміські поїзди тощо.

**Моніторинг:** Це система спостереження, контролю та аналізу певних параметрів або процесів з метою забезпечення ефективності, безпеки та оптимального функціонування. У контексті громадського транспорту моніторинг може включати в себе відстеження руху транспортних засобів, збір інформації про рівень завантаження, аналіз пунктуальності тощо.

**Блокчейн:** Це розподілена база даних, яка забезпечує безпечно зберігання інформації за допомогою хеш-функцій та криптографічних методів. Вона складається з блоків, які зв'язані між собою хеш-посиланнями, що забезпечує надійність і недоступність для зміни даних.

Хоч і блокчейн-технологія часто пов'язується з криптовалютами, її можливості виходять далеко за рамки цифрових активів. В якості децентралізованої цифрової книги, що забезпечує постійний і незмінний запис транзакцій, блокчейн може сприяти покращенню муніципальних послуг шляхом забезпечення більшої ефективності та безпеки, а також оптимізації управління.

Для підвищення надійності послуг та полегшення пасажирам планування поїздок, можна використовувати технологію блокчейн для відстеження руху автобусів, трамваїв та потягів у реальному часі. Крім того, блокчейн може сприяти спільному використанню велосипедів або автомобілів, роблячи процес оренди, повернення та оплати безперешкодним, без посередників.

В комунальному секторі міста можна покращити енергоефективність, аналізуючи дані, збережені в блокчейні, для проектування енергетичних мереж. Управління відходами можна оптимізувати за допомогою рішень на основі блокчейну, які відстежують сміттєві баки, обладнані датчиками, та визначають пріоритетність розміщення сміттєвозів у місцях, де баки

									Лист
									9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

заповнені, замість того, щоб дотримуватися заздалегідь визначених маршрутів [1-3].

## 1.1 Архітектура технології

Розглянемо структуру технології блокчейн. Блокчейн можна уявити як ланцюжок блоків, кожен з яких містить набір записів про транзакції, схожий на сторінки в традиційній громадській книзі.

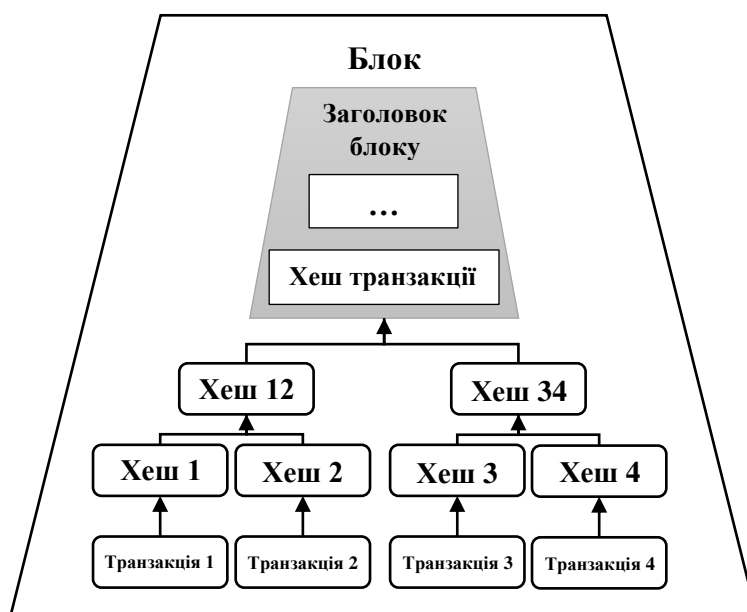


Рисунок 1.1 – Архітектура технології блокчейн

На рисунку 1.1 зображена розподілена база даних, яка зберігає послідовний ланцюжок записів, відомих як блоки, що постійно зростають. Кожен блок містить мітку часу, хеш попереднього блоку та дані транзакцій, які представлені у вигляді хеш-дерева. Цей тип розподіленої бази даних вперше був впроваджений та реалізована як основа криптовалютної системи Bitcoin, де технологія блокчейн виступає у ролі універсального реєстру для всіх фінансових операцій.

Таким чином, технологія блокчейн - це спеціальна структура для запису груп транзакцій, основною перевагою якої є здійснення будь-яких операцій з банківським рахунком лише після підтвердження їхньої достовірності. Використання технології блокчейн для проведення платежів або передачі

конфіденційної інформації вважається зручним і надійним. Наприклад, операція вважається підтвердженою лише після перевірки її формату та підписів. Після цього група операцій з банківським рахунком записується в спеціальній структурі (тобто вищезгаданому блокові). Блоки дозволяють швидко перевірити надану інформацію, оскільки в ланцюжку блоків зберігається інформація про всі попередні операції з банківським рахунком.

Кожний блок містить заголовок та список транзакцій. У заголовку блоку знаходяться його власний хеш, хеш попереднього блоку, хеш транзакцій та додаткова службова інформація. Першою транзакцією в блоці завжди є отримання комісії, яка стане нагородою користувачеві за створений блок. Для проведення транзакцій у блоці використовується деревоподібне хешування, подібне формуванню хеш-суми файлу у протоколі BitTorrent.

Транзакції, крім нарахування комісії під час створення блоку, містять в атрибуті `input` посилання на транзакцію, за якою на цей рахунок були отримані біткоїни (або інші дані чи цифрові валюти). Комісійні операції можуть містити будь-яку інформацію (для них це поле має назву `Coinbase parameter`), оскільки вони не мають батьківських транзакцій. Щоб створений блок був прийнятий іншими користувачами, числове значення хешу заголовка повинно дорівнювати або бути нижче певного числа, величина якого періодично коригується.

Під час процесу хешування використовується випадковий перебір, що означає, що немає конкретного алгоритму для отримання бажаного результату. Таким чином, результат хешування є непередбачуваним. Наприклад, якщо отриманий хеш не задовольняє встановлену умову, то блок службової інформації в заголовку змінюється довільно, і хеш перераховується. Після того як вузол знаходить правильний хеш, він розсилає отриманий блок іншим підключеним вузлам для перевірки. Якщо в процесі перевірки помилок не виявлено, то блок вважається доданим до ланцюжка, і наступний блок повинен містити посилання на його хеш, щоб продовжити послідовність. Після цього процес розпочинається знову з новим блоком [6].

## 1.2 Розвиток та варіанти використання

Щоб показати, як блокчейн став важливою технологією в багатьох галузях, розглянемо його розвиток і варіанти використання.

У 2009 році з появою Bitcoin блокчейн був запропонований як нова децентралізована грошова система, керована тисячами комп'ютерів, яка розповсюджена по всьому світу та робить їх менш залежними від центральних органів влади. Ця мережа використовує розподілений реєстр для захищеного запису транзакцій і досягнення консенсусу між комп'ютерами.

Основна функція блокчейну Bitcoin – фіксація та захист транзакцій, які неможливо змінити чи видалити. З часом розробники розширили функціональність блокчейну. Наприклад, у 2015 році Ethereum запровадив смарт-контракти, що дозволяють програмувати різні угоди, не обмежуючись платежем.

Сьогодні блокчейн вирішує проблеми в різних галузях, від фінансів до сільського господарства. Існують тисячі блокчейн-платформ: від децентралізованих, таких як Bitcoin, до приватних корпоративних.

Найпоширеніше застосування блокчейну – фінанси. Те, що почалося як метод реєстрації транзакцій, перетворилося на безліч криптофінансових послуг, включаючи децентралізоване фінансування для кредитів та заощаджень. Криптовалюти надають свободу у використанні грошей, створюючи можливості для фінансових послуг тим, хто не має доступу до традиційних систем. Частина з них представлено далі.

### 1.2.1 Ігри

Коли криптовалюта стала популярною в платежах та фінансах, розробники почали використовувати блокчейн у іграх для вирішення таких проблем, як економічні маніпуляції, проблеми з оплатою та дисбаланс ігрового процесу. Блокчейн забезпечує розподілену та прозору мережу з відкритим вихідним кодом, що дозволяє реалізувати реальне володіння активами, оновлення на основі консенсусу, децентралізовані ринки, оптимізовані токени тощо.

Одним із перших популярних прикладів блокчейн-ігор є CryptoKitties, де гравці колекціонують і розводять цифрових кішок на блокчейні Ethereum.

										Лист
										12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

Гра стала дуже популярною, що значно збільшила мережевий трафік на Ethereum. Після цього розробники створили нові, складніші блокчейн-ігри, такі як Alien Worlds, Axie Infinity, Cartesi, The Sandbox та інші [5].



Рисунок 1.2 – Гра CryptoKitties

### 1.2.2 Нерухомість

Блокчейн успішно застосовується у сфері нерухомості, де часто виникають проблеми з повільними транзакціями, адміністративними спорами та недовірою між покупцями, продавцями та посередниками. Впровадження блокчейну в цю галузь автоматизувало рутинні завдання та контракти, забезпечило прозору реєстрацію та відстеження даних, а також знизило витрати.

Окрім покращення надання послуг, блокчейн відкриває нові бізнес-моделі в нерухомості, такі як часткове право власності на активи, цифрові контракти для прискорення транзакцій, краудфандинг нерухомості через токенізацію тощо.

Краудфандинг нерухомості через токенізацію означає, що власність на об'єкт нерухомості ділиться на частки у вигляді токенів на блокчейні. Кожен токен представляє часткову власність на нерухомість і може бути куплений або проданий на ринку. Це дозволяє людям інвестувати в нерухомість без необхідності купувати цілий об'єкт, знижуючи бар'єр для входу та роблячи інвестиції більш доступними. Токенізація також спрощує процес залучення коштів для проектів нерухомості, оскільки вона забезпечує прозорість і безпеку транзакцій [5].

### 1.2.3 Страхування

Галузь страхування часто стикається з неефективністю та шахрайством. Завдяки блокчейну, страхові компанії можуть покращити виявлення шахрайства, ведення обліку та перестрахування. Ця технологія також відкриває можливості для інновацій у страхових продуктах, дозволяючи пропонувати складніші версії страхування на вимогу та мікрострахування.

Блокчейн має настільки великий потенціал для розв'язання проблем у страхуванні, що близько 80% керівників страхових компаній вже впровадили або планують впровадити цю технологію у своїх підрозділах. Однією з таких українських компаній є страхова компанія "АСКА", яка впровадила систему на основі блокчейну для автоматизації страхових виплат і перевірки справжності страхових полісів [5].

### 1.2.4 Безпека

Хоч і безпека охоплює широкий спектр питань, від індивідуальних акаунтів до цілих країн, блокчейн пропонує рішення для кожного рівня. На індивідуальному рівні блокчейн забезпечує незалежну ідентичність, де користувачі повністю контролюють свою особисту інформацію, а також захищену передачу даних, приватні повідомлення та безпеку для побутових пристроїв Інтернету речей, таких як термостати та маршрутизатори.

На організаційному рівні компанії використовують блокчейн для розподіленого ведення записів, що запобігає атакам відмови в обслуговуванні на окремих вразливих точках, таких як веб-сайти. Уряди Австралії, Мальти та Китаю також впроваджують блокчейн для забезпечення безпеки [5].

### 1.2.5 Мистецтво

NFT, або невзаємозамінні токени, стали популярною темою у світі мистецтва, адже твори, створені з використанням цієї технології, продаються на аукціонах за мільйони доларів. Розвиток NFT привів до появи крипто-мистецтва та цифрового колекціонування, де художники, музиканти та інфлюенсери використовують цю технологію для отримання більшого прибутку від своїх унікальних творів. Використання NFT поширюється від цифрового мистецтва та музики до підтвердження автентичності документів для реальних активів, таких як твори мистецтва та ювелірні вироби.

Доступ до найкращих NFT можна отримати через Маркетплейси NFT, де користувачі можуть досліджувати та купувати цифрові твори мистецтва та колекційні речі безпосередньо на свої акаунти [5].



Рисунок 1.3 – Приклади найпопулярніших NFT

### 1.2.6 Транспортна логістика

Більш детально поговоримо про транспортну логістику. Останнім часом технологія блокчейн стає надзвичайно корисною в транспортній логістиці. Раніше ланцюги постачання були регіональними, але комп'ютеризація змінила їхнє керування. Припустимо, що це може допомогти зменшити рівень корупції шляхом уникнення розбіжностей в документації, оскільки всі учасники ланцюга постачання мають доступ до однакової версії всіх документів. Запити та транзакції реєструються в блоках, що робить їх неможливими до видалення або зміни, що полегшує виявлення та вирішення можливих проблем.

У результаті, технологія блокчейн сприяє підвищенню надійності та прозорості в ланцюгу постачання. Протягом останнього десятиліття, використання технології блокчейн в логістичних ланцюгах постачання та міжнародних транспортних перевезеннях стало широко поширеним. Це впровадження технологічних інновацій в транспортній галузі допомагає підвищити рівень прозорості та ефективності, підтримуючи різні логістичні компанії.

Однією з перших компаній, що впровадила блокчейн, стала «Hyperledger Project», заснована у 2015 році за підтримки Linux Foundation, IBM та великих світових банків. Консорціум сьогодні співпрацює з Enterprise Ethereum Alliance (EEA), що об'єднало понад 250 компаній різних сфер, таких як

Accenture, Banco Santander, Microsoft та інші. Головна мета консорціуму – створення єдиної блокчейн-платформи з відкритим вихідним кодом для впровадження технології блокчейн у бізнес-проекти по всьому світу.

Стартап Yojee здійснює технологічний прорив, впроваджуючи блокчейн та штучний інтелект в управління ланцюгами постачань. Платформа працює з понад 30 тисячами транспортних засобів та клієнтів у Сингапурі, Австралії, Камбоджі та Індонезії, надаючи можливості відстеження місцеперебування постачань у режимі реального часу, автоматичної генерації електронних рахунків-фактур та управління замовленнями без посередників, що оптимізує та підвищує безпеку вантажоперевезень.

Успішним прикладом використання блокчейну в транспортній логістиці є порт Роттердам. З 2016 року проект підтримують до двадцяти компаній з державного та приватного секторів за сприяння Міністерства економічних справ Нідерландів. Унікальність проекту полягає в охопленні всього логістичного ланцюга постачань.

Порт Антверпена, другий за обсягом контейнерного вантажообігу в Європі, запустив пілотний блокчейн-проект для оптимізації логістичних процесів. Проект підвищує прозорість даних і прискорює взаємодію між учасниками, що знижує ймовірність маніпуляцій. Blockchain допомагає відстежувати неточності, наприклад, затримки через ДТП, що підвищує надійність угод і скорочує час очікування товарів [2].

### **1.3 Переваги застосування технології блокчейн у транспортній логістиці**

Блокчейн має ключові переваги: децентралізація, безпека та надійність. Кожен блок містить унікальний підпис, що унеможливорює зміну запису без зміни всього ланцюга, роблячи блокчейн ідеальним для забезпечення безпеки й достовірності даних.

Застосування блокчейну у логістиці обґрунтовується його прозорістю та підвищеною безпекою. Великі судноплавні компанії приєднуються до блокчейн-альянсів, що підтверджує життєздатність цієї технології. Вже зараз помітне підвищення ефективності перевезень, що свідчить про можливе майбутнє блокчейну як стандарту галузі.



Однією з головних переваг блокчейну є електронний документообіг. Це дозволяє всім учасникам угоди стежити за переміщенням вантажу в режимі реального часу, що сприяє швидкому виявленню та вирішенню проблем, мінімізуючи затримки та знижуючи транспортні витрати.

Для ефективного використання блокчейну в транспортній логістиці потрібні стандартизовані протоколи та структури даних. Наприклад, електронний рахунок-фактура на базі блокчейну потребує узгоджених механізмів безпеки та конфіденційності. Блокчейн дозволяє обмінюватися інформацією між сторонами угоди без посередників, забезпечуючи автентичність та довіру.

Блокчейн усуває потребу у третій стороні для перевірки та сертифікації транзакцій, що робить процес ефективнішим та надійнішим. Це сприяє безпечним передачам вартості товарів між учасниками торгів, покращуючи управління та зменшуючи ризики у транспортній логістиці.

Крім прозорості, блокчейн забезпечує високий рівень безпеки, дозволяючи швидко виявляти порушення в ланцюгах постачань і вчасно реагувати на загрози. Будь-які спроби змінити минулі події будуть виявлені через зміну кодування, що допомагає компаніям швидко виявляти та реагувати на порушення.

Дослідження показують, що використання блокчейну в транспортній логістиці покращує управління життєвим циклом активів, зменшує ризики електронного документообігу, підвищує операційну ефективність та забезпечує інформаційну безпеку.

#### **1.4 Можливі проблеми при застосуванні технології блокчейн у транспортній логістиці**

Сучасний Інтернет забезпечує загальну доступність, але процес вантажоперевезень залишається складним через взаємодію різних ланок логістичного ланцюга, включаючи логістів, замовників, одержувачів, а також державні та посередницькі структури. Технологія блокчейн у транспортній логістиці стикається з рядом потенційних проблем, виявлених під час проведення досліджень. Наприклад, виявлено, що близько 20 міжнародних

компаній успішно використовують цю технологію в цій сфері. Однак, її поширення обмежене через низку факторів.

Можливі проблеми при застосуванні технології блокчейн у транспортній логістиці:

1. Високі витрати на впровадження:

Впровадження блокчейн-технології потребує значних інвестицій у технічне обладнання, програмне забезпечення та навчання персоналу. Це особливо відчутно для малих і середніх підприємств.

2. Складність інтеграції з існуючими системами:

Інтеграція блокчейну з наявними логістичними системами може бути складною, що вимагає значних зусиль і ресурсів для управління змінами в процесах.

3. Відсутність стандартів:

Відсутність загальноприйнятих стандартів та протоколів для використання блокчейну в логістиці ускладнює сумісність між різними платформами та учасниками логістичного ланцюга.

4. Правові та регуляторні бар'єри:

Брак законодавчої бази та правова невизначеність створюють додаткові ризики для компаній. Законодавство у різних країнах може не враховувати особливості блокчейн-технологій.

5. Проблеми з масштабуванням:

Блокчейн-платформи мають обмеження щодо кількості транзакцій, які можуть оброблятися за одиницю часу, що може бути проблемою для великих логістичних компаній.

6. Забезпечення конфіденційності даних:

Хоча блокчейн забезпечує високий рівень безпеки даних, питання конфіденційності залишаються актуальними. Відкриті блокчейни дозволяють всім учасникам мережі бачити транзакції, що може бути неприйнятним для компаній.

7. Складність управління:

Управління блокчейн-системами вимагає спеціалізованих знань і навичок, яких може бракувати на ринку праці.

8. Високі енергетичні витрати:

										Лист
										18
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

Використання блокчейну потребує значних обчислювальних ресурсів та енергії через масштабний обсяг документообігу та зберігання великої кількості конфіденційної інформації.

#### 9. Відсутність довіри серед учасників:

Успішне впровадження блокчейн-технологій залежить від довіри між усіма учасниками логістичного ланцюга. Відсутність консенсусу між зацікавленими сторонами може стати серйозним бар'єром.

#### 10. Технічні проблеми з шифруванням:

Ефективне шифрування є необхідним для забезпечення безпеки передачі конфіденційної інформації та створення цифрового підпису для підвищення достовірності даних.

Попри численні переваги, блокчейн у транспортній логістиці стикається з різноманітними проблемами. Високі витрати на впровадження, складність інтеграції, відсутність стандартів, правові бар'єри, проблеми з масштабуванням, конфіденційність даних, складність управління, високі енергетичні витрати та відсутність довіри між учасниками є лише деякими з них. Однак, з розвитком технологій та накопиченням досвіду, ці проблеми можуть бути подолані, що дозволить повністю використовувати потенціал блокчейну у логістиці.

### 1.5 Постановка завдання

**Мета:** Метою цієї кваліфікаційної роботи є розроблення системи моніторингу громадського транспорту на базі технології блокчейн. Це передбачає створення інтелектуальних інструментів для підвищення ефективності управління громадським транспортом, зменшення його навантаження та забезпечення комфортних умов для користувачів.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступне:

1. Визначити основні функції та завдання, які повинна виконувати система моніторингу громадського транспорту.
2. Розробити алгоритм функціонування системи.
3. Розробити схему електричну структурну системи моніторингу громадського транспорту.
4. Розробити схему електричну принципову блокчейн-контролера.

					ЕліТ 6.172.00.02.118 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

**Очікуваний результат:** Прозорість та доступність даних: Всі дані про рух транспорту та графіки будуть доступні у режимі реального часу, що дозволить пасажиром та адміністраторам бачити актуальну інформацію та приймати обґрунтовані рішення.

**Безпека даних:** Використання блокчейн забезпечить захист даних від несанкціонованих змін та кібератак.

**Ефективне управління транспортом:** Оптимізація маршрутів та графіків на основі аналізу даних дозволить зменшити затори, скоротити час поїздок та знизити експлуатаційні витрати.

**Покращення якості послуг:** Система сприятиме підвищенню задоволеності користувачів громадського транспорту за рахунок надання більш надійних та зручних транспортних послуг.

					<i>ЕліТ 6.172.00.02.118 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		20

## 2 РОЗРОБЛЕННЯ АЛГОРИТМУ РОБОТИ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ

### 2.1 Розроблення алгоритму функціонування системи

Система моніторингу громадського транспорту на базі технології блокчейн є інноваційним рішенням, яке об'єднує сучасні технології для підвищення ефективності, прозорості та безпеки у сфері громадського транспорту. У сучасному світі, де важливість швидкої та точної інформації про рух транспортних засобів стає все більш актуальною, використання блокчейн технологій відкриває нові можливості для автоматизованого контролю та управління. Запропонований алгоритм (рис. 2.1) спрямований на забезпечення надійного моніторингу транспортних засобів, враховуючи всі можливі сценарії і варіанти їхнього функціонування. Цей опис допоможе глибше зрозуміти роботу системи та її важливість для покращення якості транспортних послуг.

Опис алгоритму.

Початок

1. Самодіагностика системи перед виходом ТЗ на маршрут
  - Система виконує самодіагностику перед початком маршруту, щоб переконатися у правильній роботі всіх компонентів.
  - Перехід до блоку 2.
2. Самодіагностика завершилась?
  - Якщо ТАК, то перехід до блоку 3.
  - Якщо НІ, то перехід до блоку 1.
3. Визначення місцезнаходження ТЗ за допомогою GPS трекера
  - Перехід до блоку 4.
4. Координати визначені?
  - Якщо Координати визначені, то перехід до блоку 21.
  - Якщо Координати не визначені, то перехід до блоку 5.
5. Визначення місцезнаходження ТЗ за допомогою 4G/GPRS трекера
  - Перехід до блоку 6.

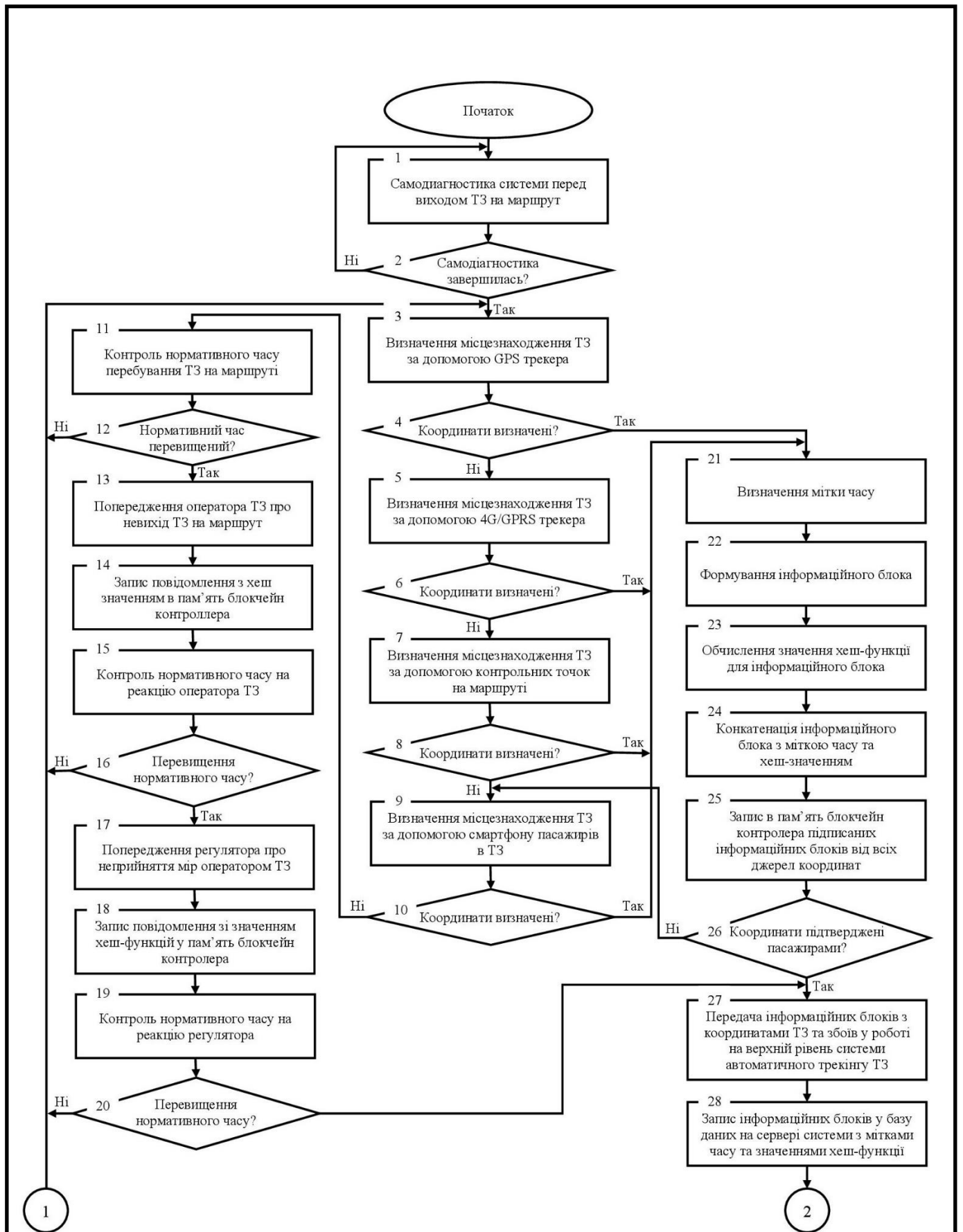
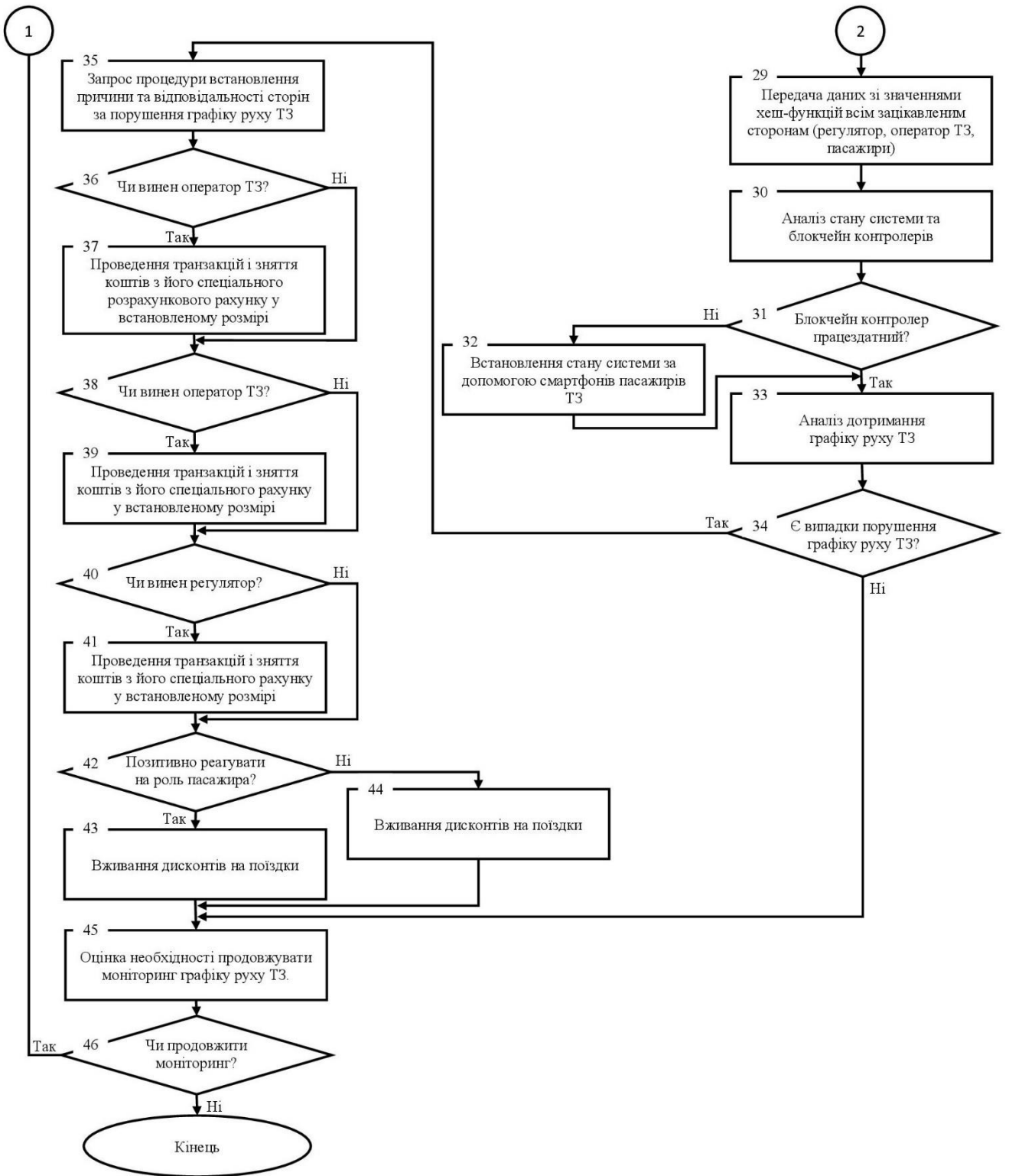


Рисунок 2.1 – Схема алгоритму функціонування системи

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



Продовження рисунка 2.1

6. Координати визначені?
  - Якщо Координати визначені, то перехід до блоку 21.
  - Якщо Координати не визначені, то перехід до блоку 7.
7. Визначення місцезнаходження ТЗ за допомогою контрольних точок на маршруті
  - Перехід до блоку 8.
8. Координати визначені?
  - Якщо Координати визначені, то перехід до блоку 21.
  - Якщо Координати не визначені, то перехід до блоку 9.
9. Визначення місцезнаходження ТЗ за допомогою смартфона пасажирів в ТЗ
  - Перехід до блоку 10.
10. Координати визначені?
  - Якщо Координати визначені, то перехід до блоку 21.
  - Якщо Координати не визначені, то перехід до блоку 11.
11. Контроль нормативного часу перебування ТЗ на маршруті
  - Перехід до блоку 12.
12. Нормативний час перевищений?
  - Якщо Нормативний час перевищений, то перехід до блоку 13.
  - Якщо Нормативний час не перевищений, то перехід до блоку 3.
13. Попередження оператора ТЗ про невихід ТЗ на маршрут
  - Перехід до блоку 14.
14. Запис повідомлення з хеш значенням в пам'ять блокчейн контролера
  - Перехід до блоку 15.
15. Контроль нормативного часу на реакцію оператора ТЗ
  - Перехід до блоку 16.
16. Перевищення нормативного часу?
  - Якщо Нормативний час перевищений, то перехід до блоку 17.
  - Якщо Нормативний час не перевищений, то перехід до блоку 3.
17. Попередження регулятора про неприйняття мір оператором ТЗ
  - Перехід до блоку 18.
18. Запис повідомлення зі значенням хеш-функцій у пам'ять блокчейн контролера
  - Перехід до блоку 19.



- 19.Контроль нормативного часу на реакцію регулятора
- Перехід до блоку 20.
- 20.Перевищення нормативного часу?
- Якщо Нормативний час перевищений, то перехід до блоку 27.
  - Якщо Нормативний час не перевищений, то перехід до блоку 3.
- 21.Визначення мітки часу
- Перехід до блоку 22. .
- 22.Формування інформаційного блока
- Перехід до блоку 23.
- 23.Обчислення значення хеш-функції для інформаційного блока
- Перехід до блоку 24.
- 24.Конкатенація інформаційного блока з міткою часу та хеш-значенням
- Перехід до блоку 25.
- 25.Запис в пам'ять блокчейн контролера підписаних інформаційних блоків від всіх джерел координат
- Перехід до блоку 26.
- 26.Координати підтверджені пасажирами?
- Якщо Координати підтверджені пасажирами, то перехід до блоку 27.
  - Якщо Координати не підтверджені пасажирами, то перехід до блоку 9.
- 27.Передача інформаційних блоків з координатами ТЗ та збоїв у роботі на верхній рівень системи автоматичного трекінгу ТЗ
- Перехід до блоку 28.
- 28.Запис інформаційних блоків у базу даних на сервері системи з мітками часу та значеннями хеш-функції
- Перехід до блоку 29.
- 29.Передача даних зі значеннями хеш-функцій всім зацікавленим сторонам (регулятор, оператор ТЗ, пасажири)
- Перехід до блоку 30.
- 30.Аналіз стану системи та блокчейн контролерів
- Перехід до блоку 31.
- 31.Блокчейн контролер працездатний?
- Якщо Блокчейн контролер працездатний, то перехід до блоку 33.

					ЕліТ 6.172.00.02.118 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		25

- Якщо Блокчейн контролер не працездатний, то перехід до блоку 32.
- 32.Встановлення стану системи за допомогою смартфонів пасажирів ТЗ
- Перехід до блоку 33.
- 33.Аналіз дотримання графіку руху ТЗ
- Перехід до блоку 34.
- 34.Є випадки порушення графіку руху ТЗ?
- Якщо Є випадки порушення графіку руху ТЗ, то перехід до блоку 35.
  - Якщо Немає випадків порушення графіку руху ТЗ, то перехід до блоку 45.
- 35.Запрос процедури встановлення причини та відповідальності сторін за порушення графіку руху ТЗ
- Перехід до блоку 36.
- 36.Чи винен оператор ТЗ?
- Якщо Винен оператор ТЗ, то перехід до блоку 37.
  - Якщо Не винен оператор ТЗ, то перехід до блоку 38.
- 37.Проведення транзакцій і зняття коштів з його спеціального розрахункового рахунку у встановленому розмірі
- Перехід до блоку 38.
- 38.Чи винен оператор ТЗ?
- Якщо Винен оператор ТЗ, то перехід до блоку 39.
  - Якщо Не винен оператор ТЗ, то перехід до блоку 40.
- 39.Проведення транзакцій і зняття коштів з його спеціального рахунку у встановленому розмірі
- Перехід до блоку 40.
- 40.Чи винен оператор ТЗ?
- Якщо Винен оператор ТЗ, то перехід до блоку 41.
  - Якщо Не винен оператор ТЗ, то перехід до блоку 42.
- 41.Проведення транзакцій і зняття коштів з його спеціального рахунку у встановленому розмірі
- Перехід до блоку 42.
- 42.Позитивно реагувати на роль пасажирів?

- Якщо Позитивно реагувати на роль пасажирів, то перехід до блоку 43.
- Якщо Не позитивно реагувати на роль пасажирів, то перехід до блоку 44.

43.Вживання дисконтів на поїздки

- Перехід до блоку 45.

44.Вживання дисконтів на поїздки

- Перехід до блоку 45.

45.Оцінка необхідності продовжувати моніторинг графіку руху ТЗ.

- Перехід до блоку 46.

46.Чи продовжити моніторинг?

- Якщо ТАК, то перехід до блоку 3.
- Якщо НІ, то перехід до кінця.

Кінець

Описаний алгоритм системи моніторингу громадського транспорту на базі технології блокчейн демонструє комплексний підхід до вирішення проблем управління та контролю руху транспортних засобів. Використання блокчейн технологій дозволяє забезпечити високу точність і надійність даних, що сприяє зниженню можливості шахрайства та помилок. Завдяки цьому підходу, можливо досягти більшого рівня прозорості та довіри між усіма учасниками транспортного процесу - операторами, регуляторами та пасажирів. За результатами впровадження системи автоматичного трекінгу пасажирського громадського транспорту з використанням технології блокчейн очікується покращення якості обслуговування пасажирів громадського транспорту, створення умов для оптимізації маршрутів, забезпечення своєчасного реагування на непередбачені ситуації, підвищення задоволеності пасажирів та ефективності роботи транспортних компаній, а також збільшення надходження коштів до місцевого бюджету завдяки підвищенню податкових нарахувань від Оператора надання транспортних послуг.

					<i>ЕліТ 6.172.00.02.118 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		27

## 2.2 Розроблення схеми електричної структурної системи

Система моніторингу громадського транспорту з використанням технології блокчейн забезпечує моніторинг, контроль і обробку інформації транспортних засобів (ТЗ). Система використовує різні датчики, трекери, блоки обробки та комунікаційні модулі для збору та обміну даними, що дозволяє автоматизувати трекинг і контроль ТЗ.

Схема електрична структурна системи моніторингу громадського транспорту наведена на рисунку 2.2.

GPS трекер відстежує місцезнаходження транспортного засобу (ТЗ) і передає ці дані в блок реєстрації місця знаходження ТЗ. 4G/GPRS трекер також відстежує місцезнаходження ТЗ і передає дані в блок реєстрації місця знаходження ТЗ. Блок моніторингу контрольних точок відслідковує контрольні точки і передає відповідні дані в блок реєстрації місця знаходження ТЗ. Смартфони пасажирів ТЗ збирають дані про місцезнаходження і інші параметри, передаючи їх до блоків реєстрації місця знаходження ТЗ та реєстратора нештатних ситуацій. Електронний годинник відповідає за фіксацію часу і передає цю інформацію до формувача міток часу. Формувач міток часу генерує мітки часу і передає їх в блок конкатенації. Блок керування відповідає за загальне управління системою і взаємодіє з блоком конкатенації.

Блок реєстрації місцезнаходження ТЗ отримує дані від GPS трекера, 4G/GPRS трекера, блоку моніторингу контрольних точок і смартфонів пасажирів. Блок формування інформаційних повідомлень генерує повідомлення про збої та координати ТЗ, передаючи їх до блоку конкатенації. Реєстратор нештатних ситуацій реєструє збої та нештатні ситуації за даними від смартфонів пасажирів. Обчислювач хеш-функції обчислює значення хеш-функції для інформаційних блоків з координатами ТЗ і передає їх до блоку конкатенації. Блок формування запитів через смартфони пасажирів генерує запити про місцезнаходження ТЗ і передає їх до блоку конкатенації. Блок конкатенації об'єднує дані з різних блоків і передає їх до пам'яті блокчейн контролеру.

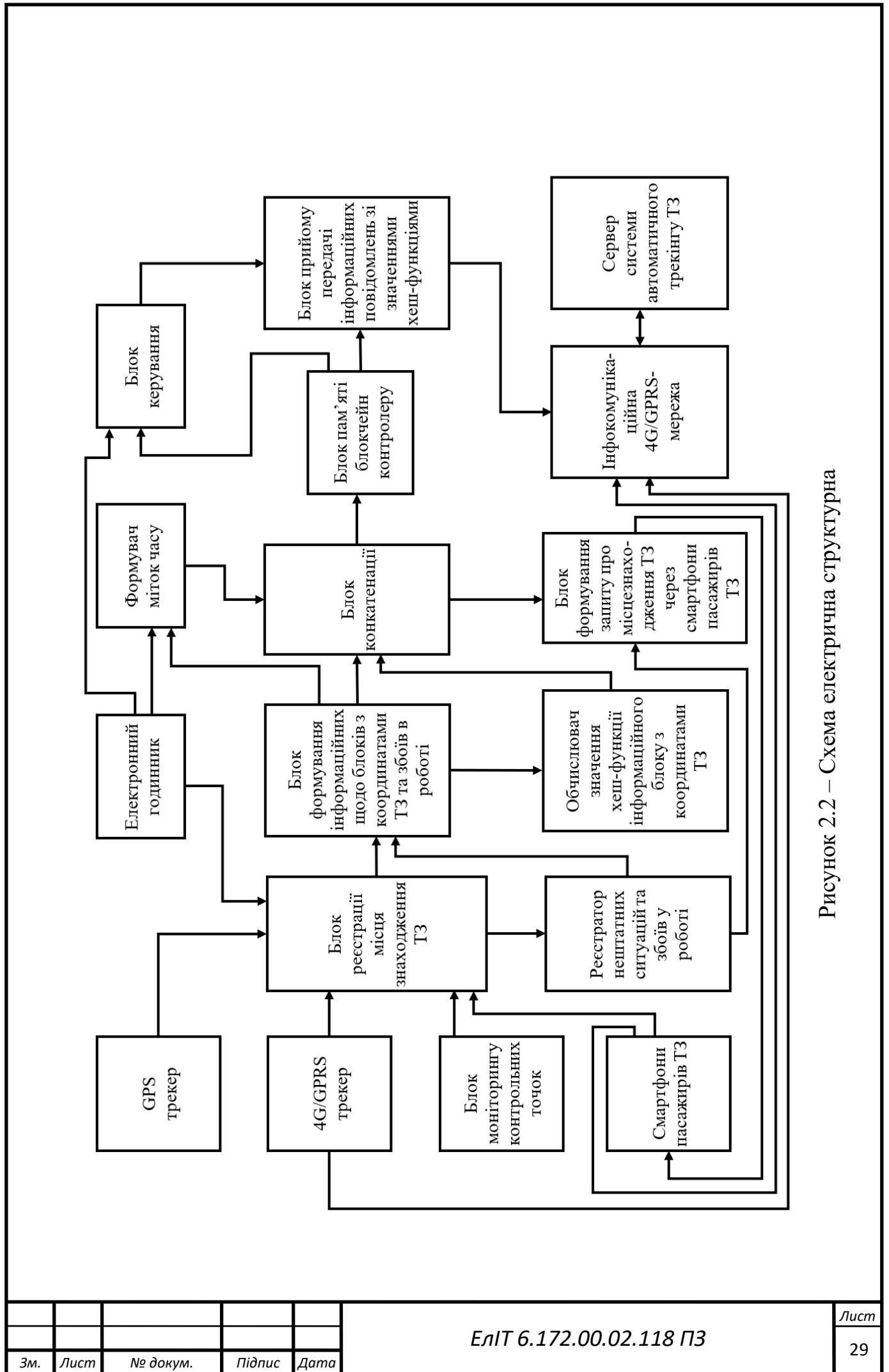


Рисунок 2.2 – Схема електрична структурна

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

## **3 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ ПРИБРОЮ**

### **3.1 Вибір елементної бази**

При розробці схеми електричної принципової блокчейн-контролеру ключовим етапом є відбір елементної бази, яка формує кожен з блоків повноцінного функціонуючого пристрою. Основою для вибору елементної бази є визначення завдань, призначення та функцій цього пристрою. Додатково, при відборі компонентів враховуються такі фактори, як надійність, сумісність, енергоефективність, вартість та доступність на ринку. Важливо також оцінювати можливість масштабування та потенційну необхідність оновлення компонентів у майбутньому.

Головною характеристикою при виборі елементів є адаптація мікроконтролера до специфіки виконання конкретної задачі. Це досягається завдяки розробці відповідного програмного забезпечення, яке потім завантажується в пам'ять мікроконтролера. Такий підхід забезпечує оптимальне функціонування пристрою та дозволяє максимально ефективно використовувати його ресурси для виконання заданих функцій

#### **3.1.1 ESP32-WROOM**

Китайська компанія Espressif Systems Pte. Ltd. - це напівпровідникова фаблес-компанія з головним офісом у парку високих технологій Шанхай (Shanghai Zhangjiang High-Tech Park, КНП), добре відома у всьому світі як один із провідних виробників простих, бюджетних мікросхем Bluetooth та Wi-Fi, а також модулів та налагоджувальних комплектів, створених з урахуванням цих мікросхем. Фірма не має власних виробничих потужностей та виробляє свою продукцію під торговою маркою Espressif на OEM-підприємствах, наприклад, Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC).

Остання розробка Espressif, яка надійшла в масовий продаж наприкінці 2016 року, являє собою однокристальний поєднаний Wi-Fi/Bluetooth-чип ESP32. Він виготовлений на заводі TSMC із використанням технології 40 нм.

Завдяки двоядерному процесору, високому ступеню інтеграції, підтримці інтерфейсів SPI, SDIO, I<sup>2</sup>C, I<sup>2</sup>S, UART, Ethernet, IrDA,

					<i>ЕлІТ 6.172.00.02.118 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

програмованому підсилювачу потужності та іншим унікальним властивостям, на базі чипів серії ESP32 можна з мінімальними витратами створювати завершені, повністю готові Bluetooth/Wi-Fi-пристрої для найрізноманітніших застосувань.

На базі чипа ESP32 фірма Espressif випускає повністю готовий до роботи модуль ESP-WROOM-32, зовнішній вигляд якого показаний на рис. 3.1. Напруга живлення модуля 3,3 В, габарити 25×18 мм, діапазон робочих температур -40...+85 °С. В корпусі модуля розміщені: чип ESP32-D0WDQ6, флеш-пам'ять, РСВ-антена, конфігуруючі резистори і конденсатори, фільтри електроживлення.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд ESP32-WROOM

Технічні характеристики модуля відповідають параметрам базового чипа, що наведені нижче.

На зворотній стороні корпусу розміщено 38 контактних площадок, підключених до користувацьких ввідів/виводів (GPIO) та інтерфейсів: SD-card, UART, SPI, SDIO, I<sup>2</sup>C, LED PWM, Motor PWM, I<sup>2</sup>S, IR.

Таблиця 3.1 – Таблиця опису пінів ESP32-WROOM

Пін	Назва	Опис
1	3V3	Вихід живлення 3.3V.
2	GND	Загальне заземлення.
3	D15	GPIO15, також використовується як ADC2_3, TOUCH3.
4	D2	GPIO2, також використовується як ADC2_2, TOUCH2.

Продовження таблиці 3.1

5	D4	GPIO4, також використовується як ADC2_0, TOUCH0.
6	RX2	GPIO16, також використовується як UART2 RX.
7	TX2	GPIO17, також використовується як UART2 TX.
8	D5	GPIO5, також використовується як VSPI SS.
9	D18	GPIO18, також використовується як SPI SCK.
10	D19	GPIO19, також використовується як SPI MISO.
11	D21	GPIO21, також використовується як I2C SDA.
12	RX0	GPIO3, також використовується як UART0 RX.
13	TX0	GPIO1, також використовується як UART0 TX.
14	D22	GPIO22, також використовується як I2C SCL.
15	D23	GPIO23, також використовується як SPI MOSI.
16	VIN	Вхід живлення (5V).
17	GND	Загальне заземлення.
18	D13	GPIO13, також використовується як ADC2_4, TOUCH4.
19	D12	GPIO12, також використовується як ADC2_5, TOUCH5.
20	D14	GPIO14, також використовується як ADC2_6, TOUCH6.
21	D27	GPIO27, також використовується як ADC2_7, TOUCH7.
22	D26	GPIO26, також використовується як DAC2, ADC2_9.
23	D25	GPIO25, також використовується як DAC1, ADC2_8.
24	D33	GPIO33, також використовується як ADC1_5, TOUCH8.
25	D32	GPIO32, також використовується як ADC1_4, TOUCH9.
26	D35	GPIO35, також використовується як ADC1_7.
27	D34	GPIO34, також використовується як ADC1_6.
28	VN	Не використовується або внутрішній пін.
29	VP	Не використовується або внутрішній пін.
30	EN	Вхід для ввімкнення живлення модуля (Enable).

ESP32-WROOM-32 із 30 пінами забезпечує необхідні можливості для різноманітних проектів, зокрема для IoT, автоматизації та інших додатків. Модуль підтримує бездротовий зв'язок через Wi-Fi і Bluetooth, а також має достатню кількість аналогових і цифрових входів/виходів для підключення датчиків та інших периферійних пристроїв [9].

Невеликі розміри та розширені режими енергозбереження дозволяють використовувати чипи серії ESP32 в мініатюрних пристроях з батарейним живленням, а також в деяких сегментах IoT, таких, наприклад, як «розумний



дім», охоронні системи тощо. До серії чипів ESP32 входять моделі ESP32-D0WDQ6, ESP32-D0WD, ESP32-D2WD, ESP32-S0WD.

Таблиця 3.2 – Загальні технічні характеристики чипів серії ESP32

Характеристика	Опис
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	v4.2
Мікропроцесор	2x240 МГц Tensilica LX6
ROM, кбайт	448
SRAM, кбайт	520
SRAM (RTC), кбайт	16
QSPI flash/SRAM, Мбайт	4×16
Напруга живлення, В	2.3-3.6
Антенa	PCB-антенa або IPEX-роз'єм для зовнішньої антени
Входи/виходи	34×GPIO
UART	3×
Ethernet	MAC-інтерфейс з підтримкою DMA та IEEE 1588
SPI	4
I <sup>2</sup> S	2
АЦП, біт	12 (SAR до 18 каналів)
ЦАП, біт	2×8
I <sup>2</sup> C	2
SDIO	Master/Slave, 50 МГц
Підтримка SDIO	Хост-контролер SD/SDIO/eMMC/
SDIO/SPI	1 Slave
IrDA	Модуль віддаленого контролю RMT (Remote Control)
ШИМ	Модуль PWM для керування двигунами, контролер LED_PWM
LED PWM	до 16 каналів
LNA	Низькошумовий аналоговий підсилювач для роботи з зовнішніми датчиками
Магнітометр	Вбудований датчик Холла
Вимірювання температури	Вбудований температурний датчик
Датчики торкання	10 входів для ємнісних датчиків торкання
RTC	Блок годин реального часу з підтримкою режимів енергозбереження
Таймери загального призначення	4 вбудованих 64-розрядних

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Продовження таблиці 3.2

Сторожові таймери	3 вбудованих, програмовані
Синхронізація CPU	Генератор 160 МГц
Синхронізація периферії	Тактовий генератор для периферії I <sup>2</sup> S, кварцовий генератор 8 МГц
Картки пам'яті	Підтримка інтерфейсу SDIO
Безпека	WEP, WPA/WPA2 PSK/Enterprise
Криптографічне апаратне прискорення	AES/SHA2/Elliptic Curve Cryptography/RSA-4096
ОТР	1024 біт, з яких 768 біт для прикладних задач
Максимальна вихідна потужність Wi-Fi, дБм	19.5 (802.11b), 16,5 (802.11g), 15.5 дБм (802.11n)
Мінімальна чутливість приймача, дБм	-98
Енергоспоживання в режимі глибокого сну, мкА	5
Діапазон робочих температур, °С	-40...+125
Конструкція і габарити, мм	QFN 6×6, QFN 5×5

На рис. 3.2 показана структурна схема ESP32 [2]. Канали Wi-Fi и Bluetooth виконані у вигляді окремих апаратних блоків, що працюють під керуванням конфігурованих процесорів Xtensa виробництва фірми Tensilica.

**Блок Криптографічного апаратного прискорення** (Cryptographic hardware acceleration) (рис. 3.2) підтримує на апаратному рівні прискорення наступних алгоритмів шифрування:

- симетричний Advanced Encryption Standard (AES FIPS PUB 197);
- безпечний хешування Secure Hash Algorithm (SHA FIPS PUB 180-4);
- криптографічний з відкритим ключем (Rivest, Shamir, Adleman - RSA);
- генератор випадкових чисел (Random Number Generator, RNG).

**Радіочастотний блок чипів ESP32** (рис. 3.2) містить такі елементи:

- приймач 2,4 ГГц;
- передавач 2,4 ГГц;
- тактовий генератор;
- вузол локального електроживлення;
- перехідник збалансованих ліній з погодженим імпедансом.

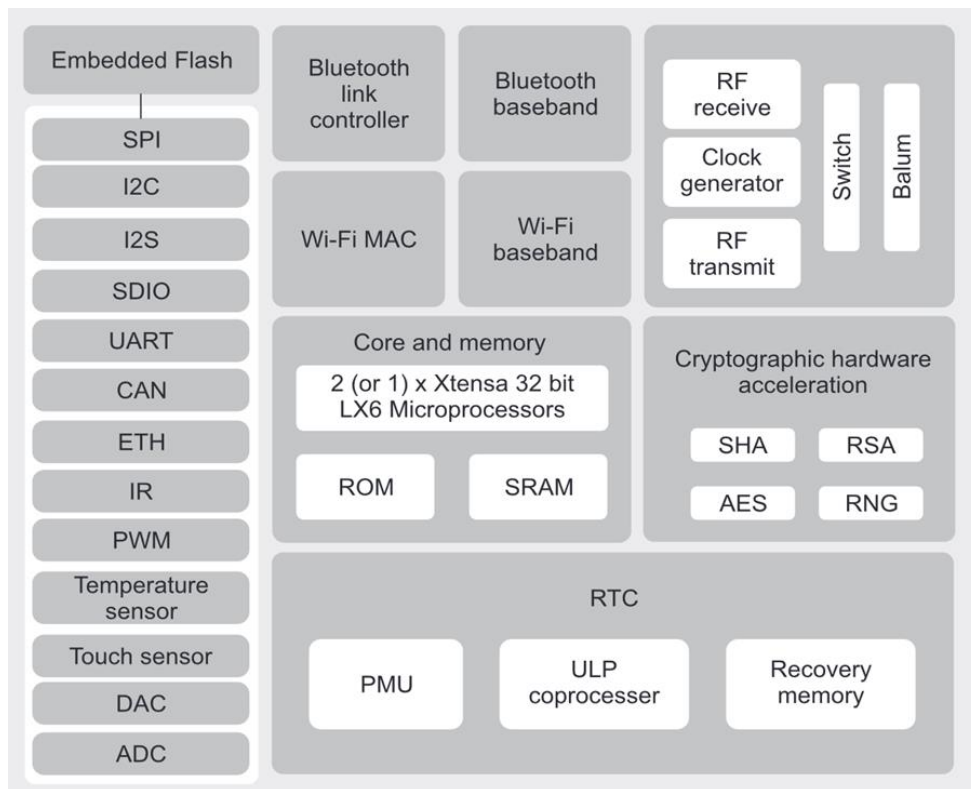


Рисунок 3.2 – Структурна схема чипу ESP32-WROOM

В приймачі (RF receive) чипа ESP32 використовується квадратурне перетворення вихідного RF-сигналу на нульову проміжну частоту з подальшою цифровою обробкою. Попередня селекція сигналу здійснюється смуговим фільтром. Змішувач трансформує корисний сигнал на фіксовану проміжну частоту. Далі, в низькочастотній області спектра, сигнал оцифровується за допомогою двох АЦП з високою роздільною здатністю. В приймачі використовуються апаратні засоби автоматичного контролю посилення і зміщення нуля АЦП, що забезпечує прецизійну обробку прийнятих сигналів.

В передавачі (RF transmit) використовується метод оцифровки з підвищенням частоти, в якому цифровий широкосмуговий сигнал конвертується в цифровий сигнал проміжної частоти. Конвертер АЦП, на вхід якого надходить сигнал, перетворює цифровий сигнал в аналоговий і передає на підсилювач потужності (PA). Високочастотний підсилювач забезпечує лінійність у всьому діапазоні передаваних частот.

Вбудовані калібрувальні схеми дозволяють звести до мінімуму викривлення, обумовлені такими факторами, як зміщення несучої частоти,

розбалансування дійсної та уявної фаз сигналу, нелінійність у смузі частот, розбалансування антени та ін.

Тактовий генератор (Clock generator) виробляє квадратурні тактові сигнали 2,4 ГГц, необхідні для роботи приймача і передавача чипа. Він містить всі калібрування й автоматичну самокорекцію, розроблену і запатентовану Espressif Systems. Цей блок генератора, що все необхідне для його роботи, інтегрований у чип.

**Мікропроцесорний блок (Core and memory)** містить процесор і пам'ять (ROM, SRAM). Модель ESP32-S0WD містить один мікропроцесор, а інші моделі ESP32 цієї серії мають двоядерну систему з двома мікропроцесорами Harvard Architecture Xtensa 32 bit LX6. Обидва ядра процесорів можуть використовуватися для роботи в реальному часі, а другому доручити обробку комунікаційних протоколів та застосунків. Тому два процесори чипа ESP32 отримали назви PRO\_CPU (protocol) і APP\_CPU (application). Кожний із двох процесорів Harvard Architecture Xtensa LX6 використовує 32-бітову адресацію, яка дає можливість доступу до фізичного адресного простору об'ємом 4 Гбайт, спільного для програм та даних. При цьому адресне простору розділяється між двома процесорами на рівні кешів. Для більшості простих завдань, не потребуючих високої продуктивності, обробка може виконуватись одним процесором, але в деяких випадках другий процесор виступає в якості допоміжного ядра, або ж працює в режимі slave device, котре управляється зовнішнім мікроконтролером.

**Процесор Harvard Architecture Xtensa 32 bit LX6 чипа ESP32** має наступні характеристики:

- семиступінчаста конвеєрна обробка з тактовою частотою до 240 МГц (160 МГц для моделі ESP32-S0WD);
- продуктивність до 600 dmips;
- 16/24-бітний набір інструкцій, забезпечуючий високу щільність коду;
- підтримка режиму роботи з плаваючою точкою;
- підтримка DSP-команд, наприклад 32-бітний множник, 32-розрядний дільник, 40-розрядний MAC-адрес;
- підтримка двох рівнів обробки переривань;
- інтегрований RAM/ROM Xtensa для інструкцій і даних;

- підтримка інтерфейсів пам'яті Xtensa для швидкого доступу до периферійного модуля;
- можливість взаємодії з внутрішніми і зовнішніми інтерфейсами.
- відлагодочний інтерфейс JTAG на виводах IO12, IO13, IO14, IO15, призначений для розробників ПЗ.

Застосування в чипі ESP32 двох потужних мікропроцесорів Xtensa дозволяє використовувати для його програмування множество різних архітектур. Так, наприклад, спеціалісти Espressif адаптували відомий відладчик OpenOCD (Open On-Chip Debugger) з відкритим вихідним кодом для чипів ESP32 і написали додаткові спеціальні утиліти, яких не було у вихідному коді цього ПЗ. Крім того, Espressif застосував багатозадачну операційну систему реального часу FreeRTOS в мікропроцесорній архітектурі нового чипа ESP32. На сайті Espressif представлено докладний опис базового програмно-апаратного забезпечення, призначеного для відладки ESP32 за допомогою OpenOCD, xtensa-esp32-elf-gdb в FreeRTOS.

Система FreeRTOS, постачається з відладчиком компілятором ESP-IDF v2.0, дозволяє програмувати одночасно на двох процесорах, розділяючи завдання по складності і пріоритету. Окрім цього, на офіційному сайті ботов Espressif, для програмування чипів сімейства ESP32 можуть використовуватись також наступні засоби розробки: Visual Studio, MicroPython, Mongoose OS, FreeRTOS, Micropython, Mbed, Arduino, Platformio.org. Такий підхід дає змогу спростити процес розробки застосунків, значно полегшуючи і прискорюючи їх розробку з використанням GCC 5.2.0 и C++ з мінімальними строками і з мінімальними витратами.

**Внутрішня пам'ять** серії чипів ESP32 включає:

- 448 кбайт ПЗП (ROM, рис. 3.2) для завантажувача та основних функцій;
- 520 кбайт СОЗУ (SRAM, рис. 3.2) для даних і інструкцій;
- 8 кбайт SRAM у блоці RTC для роботи з процесором в режимі "глибокого сну" (RTC SLOW Memory);
- 8 кбайт SRAM у блоці RTC для зберігання даних і роботи основного процесора під час завантаження при виході з режиму "глибокого сну" (RTC FAST Memory);
- 256 біт для системи (MAC-адреса і конфігурація мікросхеми);

– 768 біт зарезервовано для клієнтських застосунків, включаючи Flash-Encryption і Chip-ID.

У серії ESP32 модель ESP32-D2WD має вбудовану Flash-пам'ять об'ємом 16 Мбіт.

**Блок реального часу (RTC, рис. 3.2)** включає в себе: співпроцесор з ультранизьким енергоспоживанням (Ultra Low Power, ULP); пам'ять відновлення (Recovery memory), призначену для зберігання завантажувальних даних, параметрів периферії та роботи з центральними процесорами в режимі "глибокого сну"; блок управління електроживленням (PMU).

Співпроцесор ULP використовується в режимі "глибокого сну" (deep sleep), коли відключені основні процесори. Він може бути запущений або зовнішніми подіями, або таймером, або комбінацією цих подій при збереженні мінімальної потужності споживання. Співпроцесор ULP і Recovery memory залишаються включеними в цьому режимі. Запущений співпроцесор буде мати доступ до периферійних пристроїв, внутрішніх таймерів і відновлюваних даних. В залежності від стану цих периферійних пристроїв співпроцесор або ініціює повну роботу основного чипа, або залишить його в стані deep sleep.

Вузол управління (PMU) в блоці RTC (рис. 3.2) підтримує п'ять режимів електроживлення: active, modem sleep, light sleep, deep sleep, hibernation. Стан основних блоків чипа ESP32 в різних режимах економного електроживлення.

Таблиця 3.3 – Режими енергозбереження чипа ESP32

Режим енергозбереження	Опис	Споживання
Active	Tx: 802.11b, DSSS 1 Мбіт/с, 19.5 дБм	240 мА
	Rx: 802.11b/g/n	120 мА
	Tx: BT/BLE, POUT = 0 дБм	130 мА
	Rx: BT/BLE	100 мА
Modem sleep	CPU включений	Макс. швидкість 240 МГц: 30–50 мА
		Норм. швидкість 80 МГц: 20–25 мА
		Низька швидкість 2 МГц: 2–4 мА
Light sleep	Працює тільки сопроцесор ULP	0.8 мА

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

### Продовження таблиці 3.3

Deep sleep	Працює тільки контрольна периферія ULP	150 мкА
	Працює тільки таймер і пам'ять	10 мкА

## Інтерфейси та периферія чипа ESP32

### GPIO

Користувацькі вводи/виводи GPIO підключені до 34 контактних площадок на корпусі чипа ESP32. Частина GPIO може бути сконфігурована як зовнішні інтерфейси за допомогою регістрів вбудованих мультиплексорів IO\_MUX, RTC IO\_MUX та комутатора сигналів процесора GPIO matrix, які відповідають за маршрутизацію сигналів до виводів периферії до контактних площадок на корпусі чипа.

Залежно від призначення, за розпоширеною схемою можна реалізувати декілька видів GPIO: тільки цифрові, аналогові та ємнісні сенсорні. При цьому аналогові та ємнісні сенсорні GPIO можуть бути налаштовані як цифрові GPIO.

### UART

Універсальні асинхронні приймально-передавачі UART (3 шт.: UART0, UART1 і UART2) чипа ESP32 забезпечують асинхронний зв'язок по послідовному інтерфейсу RS232 зі швидкістю до 5 Мбіт/с. Крім того, UART підтримують протоколи IrDA (Infrared Data Exchange), а також інтерфейсу RS485. Вбудовані UART забезпечують апаратне управління сигналами CTS і RTS і управління потоком програмного забезпечення XON і XOFF. Зв'язок з цими інтерфейсами може бути реалізовано напряму з мікроконтролера або через контролер DMA. Швидкість передачі даних задається програмно і може бути визначена за допомогою функції самотестування. Для буферної пам'яті передачі UART (Tx/Rx-FIFO) відведено 1024 байт RAM. Розмір даних може бути 5, 6, 7, 8 біт. Всі три UART підтримують біт парності. Стопові біти: 1/1.5/2/3/4.

### I<sup>2</sup>C

Два інтерфейси I<sup>2</sup>C чипа ESP32, залежно від налаштувань, можуть бути використані як «ведучий» (Master) або як «ведений» (Slave). Основні технічні характеристики I<sup>2</sup>C чипа ESP32: швидкість передачі в Standard mode — 100 кбіт/с; швидкість передачі в Fast mode — 400 кбіт/с; частота до 5 МГц

										Лист
										39
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЕліТ 6.172.00.02.118 ПЗ					

(обмежена зверху за рахунок SDA); адресація 7 і 10 біт, а також Dual addressing mode; можливість управління через командний регістр.

### **I<sup>2</sup>S**

Два стандартних інтерфейси I<sup>2</sup>S вбудовані в чип ESP32. Вони можуть бути використані як «ведучий» або «ведений» в напівдуплексному режимі і в режимі повного дуплексу. Інтерфейси I<sup>2</sup>S можуть працювати з роздільною здатністю 8/16/32/40/48 біт на вихідних і вхідних каналах. В цих інтерфейсах підтримується тактова частота (BCK) в діапазоні від 10 кГц до 40 МГц. Обидва інтерфейси мають контролери DMA. Вони також підтримують інтерфейси PDM і VT PCM.

### **SPI**

Послідовний периферійний інтерфейс (Serial Peripheral Interface, SPI) чипа ESP32 складається з чотирьох контролерів (SPI0, SPI1, SPI2, SPI3), призначених для роботи з зовнішніми пристроями, підтримуваних цей інтерфейс по лініях D, Q, CS0-CS2, CLK, WP, HD. Контролер SPI0 використовується в якості кеша і для доступу до зовнішньої пам'яті. Контролер SPI1 може використовуватися як «ведучий». Контролери SPI2 і SPI3 можуть бути використані як «ведучий» або «ведений» і підтримують напівдуплексний і повнодуплексний режими. В загальному випадку, кожний контролер SPI може працювати з декількома CS-сигналами (CS0-CS2) для підключення до різних зовнішніх пристроїв. Контролери SPI1-SPI3 використовують два канала DMA.

### **Ethernet**

Контролер Ethernet в чипі ESP32 реалізований відповідно до стандарту IEEE-802.3-2008-compliant Media Access Controller. Для роботи з інтерфейсом Ethernet до чипа необхідно підключити зовнішній пристрій зі вбудованим PHY. Таке з'єднання можливе за допомогою 17-сигнальної лінії MII або 9-сигнальної лінії RMII. Чип ESP32 підтримує наступні основні параметри Ethernet MAC: - швидкість передачі 10 Мбіт/с і 100 Мбіт/с; - пряма адресація (DMA) між SRAM і Ethernet MAC; - напівдуплексний (CSMA/CD) і повнодуплексний режими роботи; - підтримка CRC (32 біти); - індивідуальна і групова адресація; - статичний код (32 біти) для кожного ефіру; - вбудована буферна пам'ять FIFO (32-біти); - внутрішній генератор прямих RTP в відповідності зі стандартом IEEE 1588 2008; - вивід тактових імпульсів 25 МГц/50 МГц.



## Канал Wi-Fi чипа ESP32

Основні технічні характеристики Wi-Fi чипа ESP32 наведені в таблиці 5. Канал Wi-Fi реалізований відповідно до стандартів 802.11b/g/n/e/i. Про стандарти 802.11b/g/n написано багато і детально. Тому немає необхідності в додаткових коментарях в таблиці 5. Зазначимо тільки, що 802.11e — це поправки до стандарту IEEE 802.11, які визначають серію покращень Quality of Service для застосувань, що працюють в WLAN. Дані поправки змінюють MAC-рівень стандарту IEEE 802.11.

Таблиця 3.4 – Характеристики каналу Wi-Fi базового чипа ESP32

Стандарт	802.11 b/g/n/e/i
Індекс модуляції і схеми кодування (Modulation and Coding Scheme, MCS)	802.11n, MCS – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 при ширині каналів 20 МГц і 40 МГц (2.4 ГГц)
Захищений інтервал	802.11n, 0.4 мкс
Максимальна швидкість передачі в стандарті 802.11n (2.4 ГГц)	150 Мбіт/с
Вихідна потужність на порту антени	Регульована, максимум 20.5 дБм
Якість і клас надання послуг передачі даних	QoS відповідно до стандарту 802.11e, Wi-Fi Multimedia (WMM, безпроводове мультимедійне розширення)
Об'єднання пакетів даних	AMPDU (Aggregated MAC Protocol Data Unit) – об'єднання кадрів даних протоколу MAC-рівня з метою зменшення заголовків
Об'єднання сервісних повідомлень	AMSDU (Aggregated MAC Service Data Unit) – об'єднання кадрів сервісних повідомлень в один кадр на верхньому рівні MAC-рівня з метою зменшення заголовків
Механізм об'єднання кількох підтверджень в один кадр	Block ACK (acknowledgments)
Дублювання даних з різним кодуванням по різним просторовим потокам	STBC 2x1 (блочне просторово-часове кодування)
Енергозбереження	Режим UAPSD (Unscheduled Automatic Power Save) – неспланований автоматичний режим енергозбереження

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

### Продовження таблиці 3.4

Автоматичний моніторинг мережі	Програмне визначення (називається також "лічильник кадрів"), інтегровано в стек аналізатора
Безпека	Повна підтримка шифрування в протоколі AES, протоколи WPA/WPA2/WPA3 і WAPI/Wi-Fi Protected Setup (WPS)
Топологія	BSS Station mode (Basic Service Set)/SoftAP mode, Wi-Fi Direct (P2P), P2P Discovery, P2P Group Owner Mode і P2P Power Management
Відкритий інтерфейс вибору схеми роботи з сервісним повідомленням	TLS, PEAP, LEAP, SIM, АКА та інші
Оптимізація продуктивності каналу і швидкості передачі	Адаптивний алгоритм автоматичного регулювання потужності
Контроль втрати пакетів	Автоматичне повторне запитування в разі втрати або пошкодження пакетів
Антенний інтерфейс	Програмний вибір антени, рознесення антен

Стандарт регламентує, зокрема, стійкість до затримок таких застосувань, як, наприклад, Voice over Wireless IP та Streaming Multimedia.

В основі стандарту IEEE 802.11i, що отримав назву WPA2, лежить концепція надійно захищеної мережі — Robust Security Network (RSN). Її суть полягає у використанні алгоритму AES (Advanced Encryption Standard), забезпечуючи більш надійну шифрування та підтримуючи ключі довжиною 128, 192 і 256 біт.

#### **Канал Bluetooth чипа ESP32**

Чип ESP32 містить Bluetooth link controller та радіочастотний блок Bluetooth baseband (рис. 3.2), які розроблені відповідно до стандарту Bluetooth v4.2. Чип ESP може працювати як в режимі класичного Bluetooth BR/EDR, так і в економічному режимі BLE.

Необхідно зазначити, що чип ESP32 в заводській конфігурації підтримує Bluetooth v4.2. апаратно.

Таблиця 3.5 – Основні технічні характеристики каналу Bluetooth чипа ESP32

Стандарт	Bluetooth v4.2 BR/EDR & BLE
Потужність передавача	Bluetooth Class-1, Class-2, Class-3 (розширений контроль вихідної потужності до 24 дБ, можливість роботи без зовнішнього підсилювача потужності)
Модуляція	$\pi/4$ DQPSK и 8 DPSK
Приймач	NZIF (near-zero intermediate frequency), -97 дБ
Спосіб фізичного підключення	Синхронне з'єднання (SCO) та асинхронне підключення без установалення з'єднання (ACL)
Шифрування	AES, симетричний алгоритм блочного шифрування (розмір блока 128 біт, ключ 128/192/256 біт)
Підстройка частоти	Адаптивна перестройка частоти з розширеним спектром (Adaptive Frequency Hopping, AFH)
Стандартний протокол HCI (Host Controller Interface)	Підтримка інтерфейсів SDIO/SPI/UART, High speed UART HCI, до 4 Мбіт/с
Конфігурування хоста	I <sup>2</sup> C
Контроль доступних сервісів	SDP (Service Discover Protocol)
Процедура управління зв'язком	GAP (General Access Profile)
Забезпечення безпеки	SMP (Security Manager Protocol)
Протокол атрибутів	ATT (Attribute Protocol)
Протокол атрибутів профілів пристроїв	GATT (Generic Attribute Profile) з підтримкою всіх базових профілів
Підтримка комп'ютерної периферії	HID (Human Interface)
Послідовний порт	SPP (Serial Port Profile)
Автоматична передача в ефір ідентифікатора пристрою	BLE Beacon
Аудіоінтерфейси	PCM/I <sup>2</sup> S
Аудіопрофілі	A2DP/AVRCP/SPP/HSP/HFP, RFCOMM
Кодеки	CVSD, SBC, PCM (A-law compression), PCM ( $\mu$ -law compression)
Топологія	Bluetooth Piconet, Scatternet
Стандарт	Bluetooth v4.2 BR/EDR & BLE

Для повноцінної роботи з пристроями на базі Android 4.3 і вище компанія Espressif розробила програмне забезпечення EspBluFi. Це ПЗ дає можливість

не тільки сканувати Wi-Fi через канал Bluetooth. Використовуючи протокол Bluetooth, користувачі можуть легко виявляти сусідні пристрої через Bluetooth-зв'язок. Крім того, користувачі можуть передавати дані по Bluetooth на смартфон, навіть якщо немає доступу до інтернету. Пізніше дані можуть бути завантажені до інтернету, коли телефон отримає доступ до мережі. Таким чином, EspBluFi дозволяє управляти пристроями навіть якщо Wi-Fi відключений.

Таким чином, модуль ESP-WROOM-32 виконаний на базі популярного двоядерного чипсета ESP32, із змінною тактовою частотою від 80 МГц до 240 МГц, можливістю індивідуального управління і живлення.

Модуль розроблений для переносної і автономної електроніки та додатків інтернет-речей, виконаний в мініатюрному корпусі 25,5 мм x 18 мм, має на борту Flash пам'ять, кварц 40 МГц і PCB антену, що забезпечує відмінні RF характеристики.

Модуль дозволяє встановлювати з'єднання з такими зовнішніми пристроями, як GPS-трекер, 4G/GPRS-трекер, транспондерами, що встановлені на маршруті руху пасажирських транспортних засобів, обладнанням транспортного засобу, смартфонами пасажирів із використанням таких технологій передачі даних, як Wi-Fi та Bluetooth. Низьке електроспоживання модуля та наявність цілого набору режимів енергозбереження таких як «гібернація» та «засинання» дозволяє для живлення блокчейн-контролеру використовувати автономні джерела живлення, що значно ускладняють несанкціоноване вимикання контролеру.

### **3.1.2 Високоточне джерело опорної напруги ADR02**

Мікросхема ADR02 є високоточним джерелом опорної напруги, призначеним для забезпечення стабільного вихідного сигналу напруги з високою точністю та низьким температурним коефіцієнтом. Вона використовується в різноманітних додатках, включаючи АЦП (аналогово-цифрові перетворювачі), ЦАП (цифрово-аналогові перетворювачі), вимірювальні прилади, системи управління живленням та інші високоточні аналогові схеми.

					<i>ЕліТ 6.172.00.02.118 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

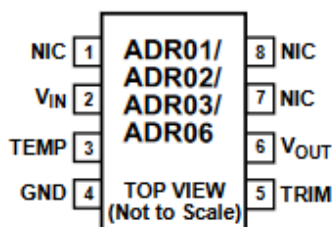


Рисунок 3.3 – Схематичне зображення мікросхеми ADR02

Таблиця 3.6 – Призначення контактів мікросхеми ADR02

Вивід	Назва	Призначення
1	NIC	Не підключений (Not Internally Connected) - Цей вивід не підключений всередині мікросхеми і може бути залишений вільним або підключений до будь-якої точки на платі для додаткової механічної стабільності.
2	VIN	Вхідна напруга - Вивід для підключення вхідної напруги, яка забезпечує живлення мікросхеми. Діапазон вхідної напруги: 7.0 В до 36.0 В (або 7.0 В до 26.0 В для ADR02WARZ).
3	TEMP	Вихід температурного датчика - Цей вивід забезпечує напругу, що пропорційна температурі, дозволяючи контролювати температуру мікросхеми.
4	GND	Загальний (негативний) вивід живлення - Підключення до загальної землі або негативної шини живлення системи.
5	TRIM	Вхід для калібрування - Використовується для точної настройки вихідної напруги мікросхеми. Підключення до цього виводу дозволяє змінювати вихідну напругу в межах невеликого діапазону.
6	VOUT	Вихідна напруга - Основний вихід мікросхеми, що забезпечує стабільну опорну напругу 5.0 В.
7	NIC	Не підключений (Not Internally Connected) - Цей вивід не підключений всередині мікросхеми і може бути залишений вільним або підключений до будь-якої точки на платі для додаткової механічної стабільності.
8	NIC	Не підключений (Not Internally Connected) - Цей вивід не підключений всередині мікросхеми і може бути залишений вільним або підключений до будь-якої точки на платі для додаткової механічної стабільності.

### Потужність споживання

Потужність споживання мікросхеми залежить від вхідної напруги та струму спокою. Наприклад, при вхідній напрузі 10 В і струмі спокою 0.65 мА, споживана потужність буде приблизно 6.5 мВт.

ADR02 є високоточним джерелом опорної напруги з широким діапазоном вхідних напруг та низьким струмом споживання. Вона забезпечує стабільний вихідний сигнал і може бути використана в різних високоточних аналогових додатках. Виводи N/C не підключені та можуть бути використані для додаткової механічної стабільності мікросхеми на платі [7].

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

### 3.1.3 Аналогово-цифровий перетворювач AD7788

#### Основні характеристики

- Роздільна здатність: 16 біт
- Живлення:
  - Напруга живлення: 2.5 В до 5.25 В
  - Струм у нормальному режимі: максимум 75 мкА
  - Струм у режимі зниженого енергоспоживання: максимум 1 мкА
- Шум RMS: 1.5 мкВ
- Вбудований генератор тактових імпульсів
- Корпус: 10-вивідний MSOP

Таблиця 3.7 – Призначення контактів мікросхеми AD7788

Вивід	Назва	Опис
1	VDD	Позитивне джерело живлення: Вхід для подачі живлення на пристрій. Робоча напруга: 2.5 В - 5.25 В.
2	VREF+	Позитивний вхід опорної напруги: Вхід для подачі позитивної опорної напруги для ADC.
3	VREF-	Негативний вхід опорної напруги: Вхід для подачі негативної опорної напруги для ADC.
4	AIN+	Позитивний вхід аналогового сигналу: Вхід для подачі позитивного аналогового сигналу.
5	AIN-	Негативний вхід аналогового сигналу: Вхід для подачі негативного аналогового сигналу.
6	DOUT	Цифровий вихід даних: Вихід, через який передаються цифрові дані з ADC.
7	CS	Вибір чипа (Chip Select): Активно-низький вхід для вибору пристрою при комунікації по SPI.
8	SCLK	Тактовий сигнал (Serial Clock): Вхід для подачі тактових імпульсів для синхронізації обміну даними по SPI.
9	DIN	Цифровий вхід даних: Вхід для передачі цифрових даних на пристрій по SPI.
10	GND	Загальний (земля): Загальний з'єднувальний контакт, який з'єднується з землею системи.

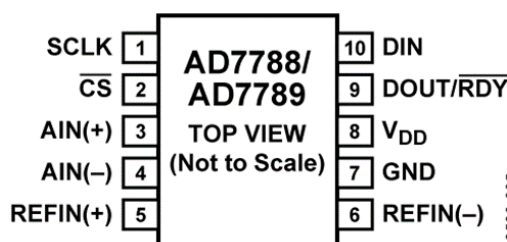


Рисунок 3.4 – Схематичне зображення мікросхеми AD7788

AD7788 є низькоенергетичним, низькошумним аналоговим передпідсилювачем із 16-бітовим аналогово-цифровим перетворювачем (ADC), розробленим для вимірювань на низьких частотах. Завдяки своїй високій роздільній здатності, низькому рівню шуму і низькому споживанню енергії, він ідеально підходить для широкого спектра застосувань в області вимірювань, де важливі точність і надійність. Також включають такі:

- Висока роздільна здатність: Завдяки 16-бітовому ADC, AD7788 забезпечує точність вимірювань на високому рівні.
- Низький рівень шуму: Шум RMS всього 1.5 мкВ, що дозволяє отримувати чисті аналогові сигнали з високою точністю.
- Низьке споживання енергії: В режимі роботи споживання становить максимум 75 мкА, а в режимі зниженого енергоспоживання - лише 1 мкА, що робить його ідеальним вибором для портативних і батарейних застосувань.
- Вбудований генератор тактових імпульсів: Оскільки пристрій працює від внутрішнього генератора тактових імпульсів, не потрібно подавати зовнішній тактовий сигнал.
- Широкий діапазон живлення: Працює від одного джерела живлення від 2.5 В до 5.25 В, що дозволяє йому бути використаним у різних умовах.

Завдяки цим характеристикам AD7788 є ідеальним вибором для різноманітних застосувань, включаючи інтелектуальні передавачі, портативні прилади, вимірювання сенсорів, вагові вимірювання та багато іншого. Його просте підключення і надійна робота роблять його цінним активом у сфері електроніки.

### 3.1.4 Операційний підсилювач ОРА340

Операційні підсилювачі серії ОРА340 на CMOS з rail-to-rail виходом оптимізовані для низьковольтної, однополярної роботи. Вхід і вихід з rail-to-rail та висока швидкодія роблять їх ідеальними для керування аналогово-цифровими (А/С) перетворювачами. Вони також добре підходять для загальних і аудіо застосувань, а також для перетворення струму у напругу (I/V) на виході цифро-аналогових (ЦАП) перетворювачів. Одинакові характеристики одинарних, подвійних і четверних версій забезпечують гнучкість у проектуванні.

									Лист
									47
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Серія ОРА340 працює від одного джерела живлення з напругою від 2.5 В, з діапазоном вхідної напруги загального режиму, що простягається на 500 мВ нижче нуля і на 500 мВ вище позитивної напруги живлення. Вихідна напруга коливається до 1 мВ від рейок живлення при навантаженні 100 кОм. Ці пристрої мають відмінні динамічні характеристики (ширина смуги пропускання = 5.5 МГц, швидкість зміни напруги = 6 В/мкс), при цьому струм спокою становить лише 750 мкА. Подвійні і четверні версії мають повністю незалежні схеми для мінімального перехресного впливу і взаємодії.

Таблиця 3.8 – Параметри ОРА340

Параметр	Значення
Напруга живлення	2,5 В - 30 В
Діапазон вхідного сигналу	-5,5 В - 5,5 В
Вихідний розмах напруги	5,4 В
Струм споживання	750 мкА/канал
Діапазон робочих температур	-40°C - 85°C

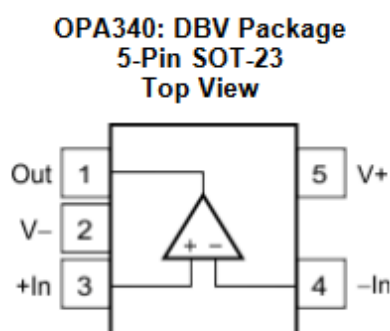


Рисунок 3.5 – Схематичне зображення мікросхеми ОРА340

Таблиця 3.9 – Таблиця опису пінів ОРА340

Назва	PIN	Опис
-IN	4	Негативне (найнижче) джерело живлення
+IN	3	Позитивне (найвище) джерело живлення
NC	-	Негативний (інвертуючий) вхід
OUT	1	Позитивний (неінвертуючий) вхід
V-	2	Немає внутрішнього підключення (можна залишити плаваючим)
V+	5	Вихід

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



Серія операційних підсилювачів ОРА340 є відмінним вибором для застосувань, що вимагають низьковольтної однополярної роботи з високою швидкістю та широким діапазоном вхідних і вихідних сигналів (rail-to-rail). Вони ідеально підходять для керування аналогово-цифровими перетворювачами, загальних цілей, аудіо застосувань та перетворення струму у напругу на виході цифро-аналогових перетворювачів. Серія забезпечує гнучкість у проектуванні завдяки однаковим характеристикам одинарних, подвійних і четверних версій.

Ключові переваги ОРА340 включають:

- Робота від низьковольтного джерела живлення (від 2.5 В).
- Широкий діапазон вхідних і вихідних сигналів (500 мВ нижче нуля та 500 мВ вище позитивної напруги живлення).
- Висока швидкодія (ширина смуги пропускання 5.5 МГц, швидкість зміни напруги 6 В/мкс).
- Низький струм спокою (лише 750 мкА).
- Мінімальний перехресний вплив у подвійних і четверних версіях.

Доступність у різних корпусах і температурний діапазон від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $85^{\circ}\text{C}$  (з можливістю роботи від  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $125^{\circ}\text{C}$ ) роблять ОРА340 універсальним рішенням для багатьох проектів.

### **3.1.5 Чотирьохканальний однополюсний одноконтактний аналоговий перемикач ADG1611**

ADG1611 — це високопродуктивний чотирьохканальний однополюсний одноконтактний (SPST) аналоговий перемикач, розроблений компанією Analog Devices. Він має низький опір увімкнення (1 Ом), що робить його придатним для різноманітних застосувань, включаючи системи зв'язку, медичні системи, аудіо- та відеосигнальні маршрутизатори, автоматизовані тестові обладнання та інші. Цей перемикач підтримує як однополярне, так і двополярне живлення, а також має можливість роботи з логічними сигналами ЗВ.

#### **Особливості**

- Типовий опір: 1 Ом
- Плоскість опору:  $\pm 0,2$  Ом
- Подвійне живлення:  $\pm 3,3$  В до  $\pm 8$  В

									Лист
									49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

- Одне живлення: 3,3 В до 16 В
- Додаткове живлення не потрібне
- Сумісність з логічними входами на 3 В
- Робота на всю амплітуду сигналу (rail-to-rail)
- Безперервний струм на канал:
  - LFCSP корпус: 280 мА
  - TSSOP корпус: 175 мА
- Корпус: 16-выводний TSSOP і 16-выводний LFCSP, 4 мм х 4 мм

### **Загальний опис**

ADG1611 є високонадійним та ефективним рішенням для перемикання аналогових сигналів у різних застосуваннях, що вимагають низького опору, мінімальних спотворень та широкого діапазону вхідних сигналів. Його можливість працювати з однополярним та двополярним живленням, а також сумісність з логічними сигналами 3 В роблять його універсальним компонентом для сучасних електронних систем. Перемикачі ADG1611 включаються при подачі логічного 0 на відповідний керуючий вхід. Завдяки своїм характеристикам, ADG1611 забезпечує високу продуктивність та надійність у різних застосуваннях, включаючи медичні, комунікаційні, аудіо- та відеообладнання, а також автоматизовані тестові системи.

Низький опір увімкнення цих перемикачів робить їх ідеальними для застосувань, де критичними є низький опір та спотворення, наприклад, для збору даних та перемикання коефіцієнтів підсилення. Профіль опору залишається дуже рівним у всьому діапазоні вхідних сигналів, забезпечуючи відмінну лінійність та низькі спотворення при перемиканні аудіосигналів.

Конструкція на основі КМОП забезпечує низьке енергоспоживання, що робить ці перемикачі ідеальними для портативних пристроїв та пристроїв з живленням від батареї.

						<i>ЕліТ 6.172.00.02.118 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			50

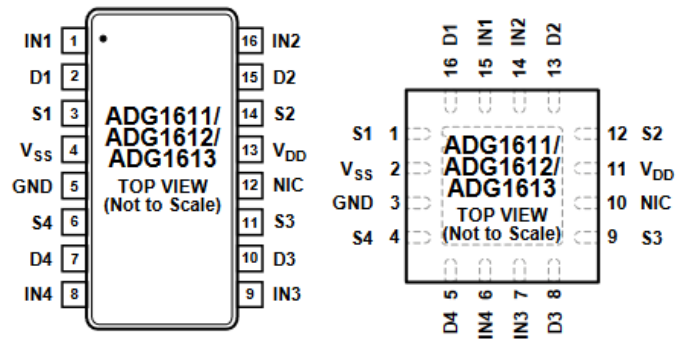


Рисунок 3.6 – Схематичне зображення мікросхеми ADG1611

Таблиця 3.10 – Таблиця опису пінів ADG1611

№ Вивід (TSSOP)	№ Виводу (LFCSP)	Мнемонік	Опис
1	15	IN1	Вхід логічного керування.
2	16	D1	Дренажний термінал. Цей вивід може бути входом або виходом.
3	1	S1	Джерельний термінал. Цей вивід може бути входом або виходом.
4	2	VSS	Найбільш негативний потенціал живлення.
5	3	GND	Заземлення (еталонний нульовий потенціал).
6	4	S4	Джерельний термінал. Цей вивід може бути входом або виходом.
7	5	D4	Дренажний термінал. Цей вивід може бути входом або виходом.
8	6	IN4	Вхід логічного керування.
9	7	IN3	Вхід логічного керування.
10	8	D3	Дренажний термінал. Цей вивід може бути входом або виходом.
11	9	S3	Джерельний термінал. Цей вивід може бути входом або виходом.
12	10	NIC	Не підключено внутрішньо.
13	11	VDD	Найбільш позитивний потенціал живлення.
14	12	S2	Джерельний термінал. Цей вивід може бути входом або виходом.
15	13	D2	Дренажний термінал. Цей вивід може бути входом або виходом.
16	14	IN2	Вхід логічного керування.
Непридатний	17 (EPAD)	EP (EPAD)	Відкрита площадка. Підключена до підкладки, VSS.

### 3.1.6 Регулятор напруги LM317LD

LM317L є регульованим трививодним позитивним регулятором напруги, здатним забезпечувати струм понад 100 мА при вихідній напрузі в діапазоні від 1,2 В до 37 В. Цей регулятор напруги надзвичайно простий у використанні і вимагає лише двох зовнішніх резисторів для встановлення вихідної напруги. Додатково, він використовує внутрішній захист від перевантаження по струму, теплове відключення та компенсацію безпечної області, що робить його практично невразливим для перегріву.

LM317L обслуговує широкий спектр застосувань, включаючи локальну регуляцію на платі. Цей пристрій також може використовуватися для створення програмованого вихідного регулятора, або при підключенні фіксованого резистора між регульовальним і вихідним виводами, LM317L може використовуватися як прецизійний регулятор струму.

#### Особливості

- Вихідний струм понад 100 мА
- Регульована вихідна напруга від 1,2 В до 37 В
- Внутрішній захист від теплового перевантаження
- Внутрішнє обмеження струму короткого замикання



Pin	1. $V_{in}$
	2. $V_{out}$
	3. $V_{out}$
	4. Adjust
	5. N.C.
	6. $V_{out}$
	7. $V_{out}$
	8. N.C.

Рисунок 3.7 – Зображення мікросхеми LM317LD

Таблиця 3.11 – Таблиця опису пінів LM317LD

Вивід	Назва	Призначення
1	VIN	Вхідна напруга - Вивід для підключення вхідної напруги, яка забезпечує живлення мікросхеми. Діапазон вхідної напруги: 7.0 В до 36.0 В (або 7.0 В до 26.0 В для ADR02WARZ).

### Продовження таблиці 3.11

2	VOUT	Вихідна напруга - Основний вихід мікросхеми, що забезпечує стабільну опорну напругу 5.0 В.
3	VOUT	Вихідна напруга - Другий вивід для вихідної напруги. Цей вивід також забезпечує стабільну опорну напругу 5.0 В і може бути використаний для зменшення опору з'єднань.
4	Adjust	Вхід для калібрування (Adjust) - Використовується для точної настройки вихідної напруги мікросхеми. Підключення до цього виводу дозволяє змінювати вихідну напругу в межах невеликого діапазону.
5	N.C.	Не підключений (Not Connected) - Цей вивід не підключений всередині мікросхеми і може бути залишений вільним або підключений до будь-якої точки на платі для додаткової механічної стабільності.
6	VOUT	Вихідна напруга - Третій вивід для вихідної напруги. Цей вивід також забезпечує стабільну опорну напругу 5.0 В і може бути використаний для зменшення опору з'єднань.
7	VOUT	Вихідна напруга - Четвертий вивід для вихідної напруги. Цей вивід також забезпечує стабільну опорну напругу 5.0 В і може бути використаний для зменшення опору з'єднань.
8	N.C.	Не підключений (Not Connected) - Цей вивід не підключений всередині мікросхеми і може бути залишений вільним або підключений до будь-якої точки на платі для додаткової механічної стабільності.

LM317LD є універсальним і зручним стабілізатором напруги, який підходить для широкого спектру застосувань, де потрібна стабілізація напруги, захист від перевантаження та компактність.

### 3.1.7 Перетворювач напруги LM2660

CMOS перетворювач напруги на основі LM2660 є універсальним нерегульованим перетворювачем з перемиканням конденсаторів, який може інвертувати або подвоювати напругу. Працюючи від джерела живлення 1,5 В до 5,5 В, LM2660 використовує два недорогих конденсатори для забезпечення 100 мА вихідного струму без витрат, розмірів і електромагнітних перешкод, пов'язаних з перетворювачами на основі індукторів. Завдяки робочому струму всього 120 мкА і ефективності понад 90% при більшості навантажень, LM2660 забезпечує ідеальну продуктивність для систем з живленням від батареї. Пристрої LM2660 можуть працювати безпосередньо паралельно для зниження вихідного опору, таким чином забезпечуючи більший струм при заданій напрузі.

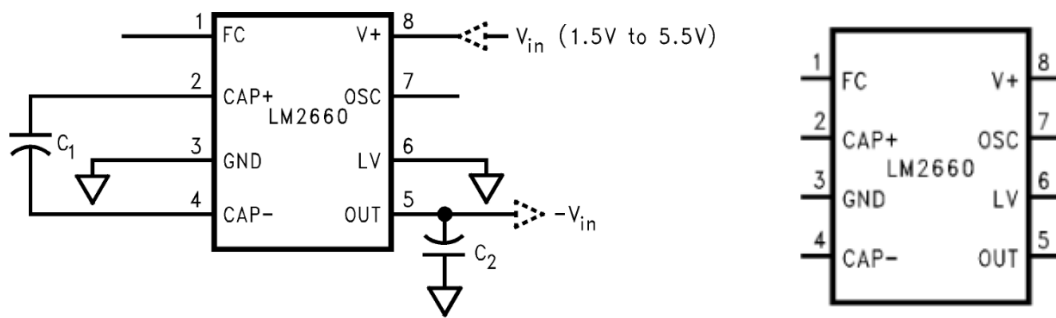


Рисунок 3.8 – Схематичне зображення мікросхеми LM2660

Вибір частоти (FC) дозволяє вибрати між номінальною частотою генератора 10 кГц або 80 кГц. Частоту генератора можна знизити, додавши зовнішній конденсатор до контакту OSC. Також контакт OSC можна використовувати для управління LM2660 з зовнішнього генератора з частотою до 150 кГц. Завдяки цим методам можна контролювати вихідну пульсацію та гармоніки.

#### Особливості

- Інвертує або подвоює вхідну напругу живлення
- Невеликі корпуси SOIC і VSSOP
- Типовий опір виходу 6.5 Ом
- 88% типова ефективність перетворення при 100 мА
- Вибірчастота генератора: 10 кГц/80 кГц
- Опціональний зовнішній вхід генератора

#### Застосування

- Ноутбуки
- Мобільні телефони
- Медичні прилади
- Джерела живлення операційних підсилювачів
- Джерела живлення інтерфейсів
- Портативні прилади

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Таблиця 3.12 – Таблиця опису пінів LM2660

Номер виводу	Назва	Тип	Опис (Інвертор Напруги)	Опис (Подвоювач Напруги)
1	FC	Вхід	Управління частотою для внутрішнього генератора:	Те саме, що і для інвертора напруги.
			FC = відкрито, $f_{OSC} = 10$ кГц (тип.);	
			FC = V+, $f_{OSC} = 80$ кГц (тип.);	
			FC не має ефекту, коли вивід OSC керується зовнішнім генератором.	
2	CAP+	Живлення	Підключіть цей вивід до позитивного виводу конденсатора зарядного насоса.	Те саме, що і для інвертора напруги.
3	GND	Земля	Вхід заземлення живлення.	Позитивний вхід напруги живлення.
4	CAP-	Живлення	Підключіть цей вивід до негативного виводу конденсатора зарядного насоса.	Те саме, що і для інвертора напруги.
5	OUT	Живлення	Вихід негативної напруги.	Вхід заземлення живлення.
6	LV	Вхід	Вхід для роботи з низькою напругою. Підключіть LV до GND, коли вхідна напруга менша за 3.5 В. При вхідній напрузі більше 3.5 В, LV можна підключити до GND або залишити відкритим. При керуванні OSC зовнішнім генератором, LV має бути підключений до GND.	LV має бути підключений до OUT.
7	OSC	Вхід	Вхід для управління генератором. OSC підключено до внутрішнього конденсатора на 15 пФ. Зовнішній конденсатор можна підключити для уповільнення генератора. Також можна використовувати зовнішній генератор для керування OSC.	Те саме, що і для інвертора напруги, за винятком того, що OSC не може керуватися зовнішнім генератором.
8	V+	Живлення	Вхід позитивної напруги живлення.	Вихід позитивної напруги.

LM2660 є універсальним перетворювачем напруги, який знаходить застосування в багатьох електронних пристроях, де потрібна інверсія або подвоєння вхідної напруги. Його ефективність, простота інтеграції та низьке споживання потужності роблять його ідеальним для портативних і батарейних додатків.

### 3.1.8 Перетворювач LT1615

Мікропотужні підвищуючі DC/DC перетворювачі LT1615-1 в 5-вивідному низькопрофільному корпусі ThinSOT (1мм). LT1615 розроблено для систем з вищою потужністю з обмеженням струму 350мА та діапазоном вхідної напруги від 1.2В до 15В, тоді як LT1615-1 призначено для систем з нижчою потужністю та однокоміркових застосувань з обмеженням струму 100мА та розширеним діапазоном вхідної напруги від 1В до 15В. Інші параметри двох пристроїв еквівалентні.

#### Особливості

- Низький споживаний струм:
  - 20μА в активному режимі
  - <1μА у режимі очікування
- Працює з вхідною напругою ( $V_{IN}$ ) від 1В
- Низька напруга насичення перемикача ( $V_{CESAT}$ ): 250мВ при 300мА
- Використовує дрібні компоненти поверхневого монтажу
- Висока вихідна напруга: до 34В
- Тонкий корпус ThinSOT™ (1мм)

#### Застосування

- Зміщення РК-дисплеїв
- Ручні комп'ютери
- Резервне живлення батареї
- Цифрові камери

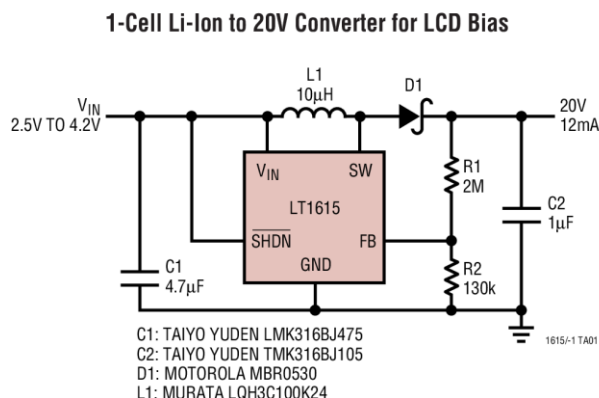


Рисунок 3.9 – Мікропотужні підвищуючі DC/DC перетворювачі у корпусі ThinSOT

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата



LT1615 використовує схему керування з постійним часом вимкнення для забезпечення високої ефективності в широкому діапазоні вихідного струму. Робота пристрою краще зрозуміється, якщо звернутися до блок-схеми Q1 та Q2 разом з R3 і R4 утворюють еталонний вузол, який використовується для регулювання вихідної напруги. Коли напруга на контакті FB трохи перевищує 1.23В, компаратор А1 вимикає більшість внутрішньої схемотехніки. Вихідний струм потім подається конденсатором С2, який повільно розряджається, поки напруга на контакті FB не знизиться нижче нижньої точки гістерезису А1 (типовий гістерезис на контакті FB становить 8мВ). Потім А1 вмикає внутрішні схеми, вмикає силовий перемикач Q3, і струм в індукторі L1 починає зростати. Коли струм перемикача досягає 350мА, компаратор А2 скидає одноразовий запуск, який вимикає Q3 на 400нс. L1 потім подає струм на вихід через діод D1, коли струм індуктора спадає. Q3 знову вмикається, і струм індуктора знову піднімається до 350мА, тоді А2 скидає одноразовий запуск, знову дозволяючи L1 подавати струм на вихід. Цей процес перемикування продовжується, поки вихідна напруга не зарядиться (поки контакт FB не досягне 1.23В), тоді А1 вимикає внутрішні схеми, і цикл повторюється.

LT1615 містить додаткові схеми для забезпечення захисту під час запуску і в умовах короткого замикання. Коли напруга на контакті FB менше приблизно 600мВ, час вимкнення перемикача збільшується до 1.5µс, і межа струму знижується приблизно до 250мА (70% від його нормального значення). Це знижує середній струм індуктора і допомагає мінімізувати розсіювання потужності в силовому перемикачі LT1615, а також у зовнішньому індукторі та діоді. LT1615-1 працює аналогічним чином, за винятком того, що струм перемикача обмежений 100мА (еталонна напруга А2 становить 12мВ замість 42мВ).

Мікропотужні перетворювачі постійного струму в постійний (DC/DC) LT1615 призначені для широкого спектра застосувань, які вимагають високої ефективності та компактних розмірів. Вони можуть бути використані в наступних пристроях:

- Живлення РК-екранів (LCD Bias)
- Карманні комп'ютери
- Резервні батареї

					ЕліТ 6.172.00.02.118 ПЗ	Лист
						57
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Цифрові камери

Таблиця 3.13 – Таблиця опису пінів LT1615

Пін	Назва	Призначення	Опис
1	SW	Вихідний перемикач	Підключається до індуктора та діода
2	GND	Заземлення	Загальне заземлення
3	FB	Зворотний зв'язок	Підключається до дільника напруги
4	SHDN	Відключення	Використовується для вимкнення
5	VIN	Вхідна напруга	Підключається до джерела живлення

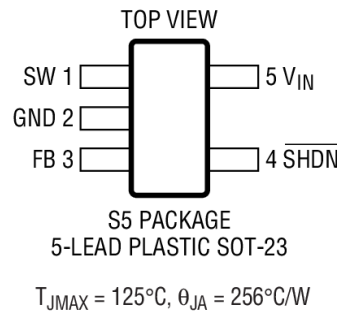


Рисунок 3.10 – Схематичне зображення мікросхеми LT1615

LT1615 забезпечують високу ефективність при низькому струмі споживання, що робить їх ідеальними для застосувань з живленням від батареї і портативних пристроїв.

### 3.1.9 Джерело напруги ADR03

ADR03 - це високоточне джерело напруги з фіксованим виходом 2.5 В, яке забезпечує стабільне значення вихідної напруги при широкому діапазоні вхідних напруг. Воно характеризується низьким дрейфом напруги та низьким рівнем шуму, що робить його ідеальним для використання в високоточних системах вимірювань та управління.

#### Особливості:

- Висока точність: початкова точність становить  $\pm 0.1\%$ .
- Низький температурний коефіцієнт:  $10 \text{ ppm}/^{\circ}C$ .
- Широкий діапазон робочих температур: від  $-40^{\circ}C$  до  $+125^{\circ}C$ .
- Низький рівень шуму:  $10 \mu V$  p-p (0.1 Hz до 10 Hz).

- Висока стабільність вихідної напруги при зміні вхідної напруги та навантаження.

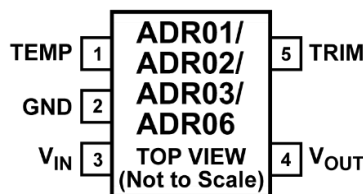


Рисунок 3.11 – Схематичне зображення мікросхеми ADR03

Таблиця 3.14 – Таблиця опису пінів ADR03

Пін	Назва	Опис
1	TEMP	Вихід температурної напруги. Цей пін забезпечує лінійну залежність напруги від температури, що дозволяє відстежувати зміни температури в системі.
2	GND	Земля. Загальний референс для всіх внутрішніх схем.
3	VIN	Вхідна напруга живлення. Напруга живлення може варіюватися в діапазоні від 3 В до 15 В.
4	TRIM	Тримувальний вхід. Використовується для точного налаштування вихідної напруги.
5	VOUT	Вихідна напруга. Забезпечує стабільну референсну напругу.

ADR03 є високоточним джерелом референсної напруги, яке забезпечує високу стабільність і низький рівень шуму. Він ідеально підходить для використання в критично важливих додатках, де точність і надійність є ключовими вимогами. Завдяки своїм особливостям, таким як низький температурний коефіцієнт і можливість тонкої настройки вихідної напруги, ADR03 може бути застосований у різних вимірювальних та калібрувальних системах [7].

### 3.1.10 Аналого-цифровий перетворювач AD7927

AD7927 - це 12-бітний, 8-канальний, високошвидкісний аналого-цифровий перетворювач (ADC) від Analog Devices. Він побудований на основі SAR (Successive Approximation Register) архітектури і здатен працювати на швидкостях до 200 тис. вибірок за секунду (kSPS). Працює від однієї напруги живлення в діапазоні від 2.7V до 5.25V.

AD7927 використовується для перетворення аналогових сигналів у цифровий формат. Це корисно в багатьох застосуваннях, таких як:

- Системи збору даних
- Медичні прилади
- Автоматизовані тестові обладнання
- Управління процесами та промислові контролери
- Автомобільні додатки

AD7927 знаходить застосування в різних сферах, включаючи медицину, автомобілебудування, промислові системи та системи автоматизації, завдяки своїй високій швидкості, точності та низькому споживанню енергії.

AD7927 має ряд важливих особливостей, які роблять його привабливим для широкого спектра застосувань:

- Висока розрядність: 12-бітний розряд забезпечує високу точність перетворення.
- Багатоканальність: Вісім аналогових вхідних каналів дозволяють підключати декілька датчиків або сигналів одночасно.
- Висока швидкість: Максимальна швидкість вибірок до 200 kSPS дозволяє використовувати AD7927 в додатках, де потрібна швидка обробка сигналу.
- Низьке споживання енергії: Пристрій споживає мало енергії, що робить його ідеальним для портативних і енергозберігаючих пристроїв.
- Гнучкість в налаштуванні: Вхідна напруга живлення в діапазоні від 2.7V до 5.25V забезпечує гнучкість в налаштуванні та використанні в різних системах.
- Інтерфейс SPI: Серійний периферійний інтерфейс (SPI) забезпечує просту інтеграцію з мікроконтролерами та іншими цифровими пристроями.
- Інтегрований трек-енд-холд: Вбудований трек-енд-холд покращує продуктивність при мультиплексуванні сигналів.

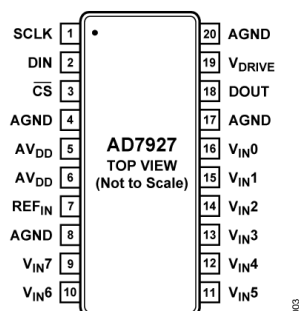


Рисунок 3.12 – Схематичне зображення мікросхеми AD7927

Таблиця 3.15 – Таблиця опису пінів AD7927

Вивід	Назва	Тип	Опис
1	SCLK	Вхід	Серійний тактовий сигнал для синхронізації передачі даних.
2	DIN	Вхід	Логічний вхід для передачі даних у регістр керування AD7927.
3	CS	Вхід	Вибір мікросхеми (активний низький). Ініціює перетворення і серійну передачу.
4	AGND	Заземлення	Заземлення для аналогової частини.
5	AVDD	Живлення	Вхід живлення для аналогової частини (2.7V - 5.25V).
6	AVDD	Живлення	Вхід живлення для аналогової частини (2.7V - 5.25V).
7	REFIN	Вхід	Вхід опорної напруги (номінально 2.5V).
8	AGND	Заземлення	Заземлення для аналогової частини.
9	VIN0	Вхід	Аналоговий вхідний канал 0.
10	VIN1	Вхід	Аналоговий вхідний канал 1.
11	VIN2	Вхід	Аналоговий вхідний канал 2.
12	VIN3	Вхід	Аналоговий вхідний канал 3.
13	VIN4	Вхід	Аналоговий вхідний канал 4.
14	VIN5	Вхід	Аналоговий вхідний канал 5.
15	VIN6	Вхід	Аналоговий вхідний канал 6.
16	VIN7	Вхід	Аналоговий вхідний канал 7.
17	AGND	Заземлення	Заземлення для аналогової частини.
18	DOUT	Вихід	Логічний вихід для передачі цифрових даних з AD7927.
19	BUSY	Вихід	Вказує на зайнятість (активний високий) під час перетворення.
20	AGND	Заземлення	Заземлення для аналогової частини.

AD7927 є потужним і гнучким ADC з високою швидкістю та точністю. Він знаходить застосування у різних галузях, таких як медицина, автомобілебудування, промислові системи та системи автоматизації. Завдяки своїм можливостям і широкому діапазону робочих напруг, AD7927 є відмінним вибором для створення надійних систем збору даних та управління [8].

## 3.2 Розроблення програмного забезпечення системи

Для розробки програмного забезпечення для пристрою збору даних на базі мікроконтролера ESP-32 ми будемо використовувати мову програмування C++ і середовище розробки Arduino IDE. Програма збирає дані з датчиків, обробляє їх та відправляє на сервер або зберігає в локальну пам'ять.

Опис підключень на основі схеми

### 1. Підключення датчиків:

- Датчики підключені до аналогових входів ESP-32.
- GPS модуль, підключений до апаратного серійного порту.

### 2. Живлення:

- Використання стабілізатора для забезпечення стабільного живлення ESP-32 і датчиків.

Програмне забезпечення

Підключення необхідних бібліотек:

```
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <TinyGPS++.h>
#include <SPIFFS.h>
// Введіть свої налаштування Wi-Fi
const char* ssid = "YOUR_SSID";
const char* password = "YOUR_PASSWORD";
// Адреса сервера для передачі даних
const char* serverName = "https://yourserver.com/api/data";
// Ініціалізація датчиків
Adafruit_BME280 bme; // Датчик BME280
TinyGPSPlus gps;
HardwareSerial SerialGPS(1); // Використання апаратного послідовного порту для GPS
// Змінні для збереження даних
float temperature, humidity, pressure;
double latitude, longitude;
void setup() {
  // Ініціалізація серійного порту
  Serial.begin(115200);
  SerialGPS.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17); // Налаштування апаратного послідовного порту для
GPS
  // Ініціалізація датчика BME280
```

										Лист
										62
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

```

if (!bme.begin(0x76)) {
    Serial.println("Не вдалося знайти датчик BME280. Перевірте підключення!");
    while (1);
}
// Ініціалізація SPIFFS
if (!SPIFFS.begin(true)) {
    Serial.println("Помилка ініціалізації SPIFFS!");
    return;
}
// Підключення до Wi-Fi
WiFi.begin(ssid, password);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Підключення до Wi-Fi...");
}
Serial.println("Підключено до Wi-Fi");
}

void loop() {
    // Читання даних з датчиків
    temperature = bme.readTemperature();
    humidity = bme.readHumidity();
    pressure = bme.readPressure() / 100.0F;
    // Читання даних з GPS
    while (SerialGPS.available() > 0) {
        gps.encode(SerialGPS.read());
        if (gps.location.isUpdated()) {
            latitude = gps.location.lat();
            longitude = gps.location.lng();
        }
    }
    // Відправка даних на сервер
    if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
        HTTPClient http;
        http.begin(serverName);
        http.addHeader("Content-Type", "application/json");
        String jsonData = "{\"temperature\": " + String(temperature) + ", \"humidity\": " + String(humidity) + ",
        \"pressure\": " + String(pressure) + ", \"latitude\": " + String(latitude, 6) + ", \"longitude\": " + String(longitude, 6) +
        "}";

        int httpResponseCode = http.POST(jsonData);
        if (httpResponseCode > 0) {
            Serial.println("Дані відправлені успішно");
        } else {
            Serial.println("Помилка відправки даних");
            saveDataLocally(jsonData);
        }
        http.end();
    } else {
        Serial.println("Wi-Fi не підключений. Збереження даних локально.");
    }
}

```

<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

```

String jsonData = "{\"temperature\": " + String(temperature) + ", \"humidity\": " + String(humidity) + ",
\"pressure\": " + String(pressure) + ", \"latitude\": " + String(latitude, 6) + ", \"longitude\": " + String(longitude, 6) +
"}";

saveDataLocally(jsonData);
}
delay(60000); // Затримка на 1 хвилину перед наступним зчитуванням даних
}
void saveDataLocally(String data) {
File file = SPIFFS.open("/data.txt", FILE_APPEND);
if (!file) {
Serial.println("Не вдалося відкрити файл для запису");
return;
}
file.println(data);
file.close();
Serial.println("Дані збережені локально");
}

```

### Пояснення

1. Ініціалізація: Встановлюємо з'єднання з Wi-Fi та ініціалізуємо датчики (BME280 для температури, вологості та тиску, GPS для координат).
2. Збір даних: Збираємо дані з датчиків та GPS.
3. Передача даних: Якщо є з'єднання з Wi-Fi, передаємо дані на сервер через HTTP POST запит. Якщо з'єднання немає, зберігаємо дані локально у файл на SPIFFS.
4. Обробка даних: Дані зберігаються у файлі /data.txt у форматі JSON.
5. Цикл: Основний цикл програми збирає та обробляє дані кожну хвилину.



## ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи були проаналізовані різні джерела літератури, розглянуто сучасні методи моніторингу громадського транспорту та технології блокчейн, які використовуються для підвищення ефективності управління транспортом.

Спираючись на огляд літератури, було поставлене завдання розробити систему моніторингу громадського транспорту на базі технології блокчейн.

Розроблення системи моніторингу громадського транспорту є актуальним у наш час. Використання методів блокчейн дозволяє забезпечити прозорість та доступність даних, захистити інформацію від несанкціонованих змін та кібератак, а також оптимізувати управління транспортом, що сприяє зменшенню заторів, скороченню часу поїздок та зниженню експлуатаційних витрат.

У процесі роботи була розроблена схема електрична структурна системи моніторингу громадського транспорту з її докладним описом, алгоритм функціонування системи. Було запропоновано технічне рішення щодо вибору елементної бази пристрою, що проектується, й розроблена схема електрична принципова блокчейн-контролера.

					ЕліТ 6.172.00.02.118 ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Новаторські проекти Blockchain OS — системи громадського транспорту, URL: <http://surl.li/tmzcv> (2022р.).
2. Блокчейн у логістиці, URL: <http://surl.li/uixqv> (2022р.).
3. Як блокчейн може сприяти зростанню міст, URL: <http://surl.li/uixrg>
4. Основи та принципи технології блокчейн, URL: <http://surl.li/uivts>
5. П'ять цікавих варіантів використання блокчейну, про які вам слід знати, URL: <http://surl.li/gyuqk>
6. Розумні міста Блокчейн більш досяжні, ніж думають люди, URL: <http://surl.li/uixrp>
7. Analog Devices, Inc., Ultracompact, Precision 10.0 V/5.0 V/2.5 V/3.0 V Voltage References Data Sheet ADR01/ADR02/ADR03/ADR06 , 2002–2019, p. 21, URL: [https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADR01\\_02\\_03\\_06.pdf](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADR01_02_03_06.pdf)
8. Analog Devices, Inc., Data Sheet AD7927, 2003-2023, p. 27, URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad7927.pdf>.
9. ESP32 Technical Reference Manual, Version 5.1, Copyright 2024, p. 735, URL: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_technical\\_reference\\_manual\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf)
10. Мазуркевич О.А. Рівноважні коди в адаптивних завадостійких системах передачі інформації / Борисенко О.А., Бережна О.В., Сердюк В.В., Мороз Н.В., Мазуркевич О.А. // Фізика, електроніка, електротехніка (ФЕЕ-2022). Матеріали та програма науково-технічної конференції. – Суми: СумДу, 2022. – С. 64.
11. Мазуркевич О.А. Технологія блокчейн як інструмент побудови розподіленої системи довіри в системах моніторингу громадського транспорту / Борисенко О.А., Арбузов В.В., Мазуркевич О.А., Орлов В.В. // Фізика, електроніка, електротехніка (ФЕЕ-2023). Матеріали та програма науково-технічної конференції. – Суми: СумДу, 2023. – С. 74.
12. Мазуркевич О.А. Вибір ефективної криптографічно стійкої хеш-функції в технології блокчейн для систем Інтернету речей / Бережна О.В.,

										Лист
										66
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

Арбузов В.В., Мазуркевич О.А. // Фізика, електроніка, електротехніка (ФЕЕ-2024). Матеріали та програма науково-технічної конференції. – Суми: СумДУ, 2024. – С. 66.

					<i>ЕЛІТ 6.172.00.02.118 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		67

**Додаток А**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,  
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

**ФЕЕ :: 2022**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

**МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ**

(Суми, 18–22 квітня 2022 року)

Суми  
Сумський державний університет  
2022

## **Рівноважні коди в адаптивних завадостійких системах передачі інформації**

Борисенко О.А., *професор*, Бережна О.В., *доцент*,  
Сердюк В.В., *аспірант*, Мороз Н.В., *студент*,  
Мазуркевич О.А., *студент*  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна

Одним із актуальних завдань при побудові завадостійких систем передачі інформації є пошук методів завадостійкого кодування інформації, які б забезпечували свою ефективність в умовах зміни параметрів нестационарних каналів зв'язку.

Необхідна достовірність передачі повідомлень у таких системах досягається засобами завадостійкого кодування. Однак підвищення рівня завадостійкості кодування зменшує швидкість передачі інформації, яку можна підвищити шляхом зменшення надлишковості кодових комбінацій при їх передачі по каналу зв'язку з незначним рівнем завад. При значному рівні завад надлишковість завадостійких комбінацій треба збільшувати. Ефективний метод завадостійкого кодування дозволяє адаптувати свої алгоритми відповідно до рівня завад, що змінюється. Одним з таких кодів є рівноважний код, який дозволяє адаптувати довжину кодових повідомлень та свою завадостійкість в залежності від стану каналу зв'язку. При змінах внутрішньодобового та сезонного навантаження каналів зв'язку адаптивні алгоритми кодування дозволяють отримувати необхідну швидкість передачі інформації при забезпеченні достатнього рівня її завадостійкості. Так, зростання навантаження і відповідне збільшення рівня завад потребує збільшення довжини кодових комбінацій, а при зменшенні навантаження їх довжина може бути зменшена.

Отримати рівноважні коди можна на основі біноміальних кодів. Схожа структура цих кодів та такі їх спільні параметри, як довжина  $n$  і контрольне число  $k$ , спрощують формування рівноважних комбінацій. Змінюючи довжину рівноважних кодових комбінацій в залежності від рівня завад можна отримати оптимальне співвідношення між швидкістю передачі та завадостійкістю.

Таким чином, запропонований метод адаптивного рівноважного кодування є достатньо ефективним для створення завадостійких систем передачі інформації зі змінним рівнем завад у каналах зв'язку.

**Додаток Б**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,  
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

**ФЕЕ :: 2023**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

**МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ**

(Суми, 24–28 квітня 2023 року)

Суми  
Сумський державний університет  
2023



**Технологія блокчейн як інструмент побудови розподіленої системи довіри в системах моніторингу громадського транспорту**

Бережна О.В.<sup>1</sup>, доц.; Арбузов В.В.<sup>2</sup>, директор;

Мазуркевич О.А.<sup>1</sup>, студент гр. ТК-01;

Орлов В.В.<sup>1</sup>, студент гр. ЕС-91

<sup>1</sup>Сумський державний університет, м. Суми, Україна

<sup>2</sup>ТОВ Енергосервісне підприємство «Преобразователь», м. Суми

Стрімкий розвиток Інтернету речей надає нові можливості для задоволення таких важливих суспільних потреб, як підвищення ефективності роботи систем моніторингу громадського транспорту.

Сучасні системи моніторингу, як правило, є централізованими автоматизованими системами трекінгу з єдиним сервером бази даних, де обмін інформацією між GPS датчиками транспортних засобів та сервером здійснюється за допомогою супутникових та GPRS мереж.

Власник централізованої системи моніторингу, як правило державний орган (Регулятор), не може гарантувати повноту бази даних або відсутність несанкціонованого втручання до її роботи на користь будь-кого. В свою чергу власник транспортних засобів (Оператор послуг) не може гарантувати їх рух із увімкненими GPS датчиками, а пасажир (Споживач послуг) не має достовірної інформації про наявність транспорту на встановлених Регулятором маршрутах. Між учасниками такої ієрархічної централізованої бізнес-моделі є низький рівень довіри до результатів трекінгу, а сама модель досягла максимуму своєї ефективності та потребує для подальшого свого розвитку підвищення рівня контролю, взаємодії та довіри між всіма учасниками.

Дослідження показали, що підвищення ефективності у наданні транспортних послуг пов'язане з залученням Споживача до моніторингу переміщення транспорту, що потребує міграції від ієрархічної централізованої бізнес-моделі до децентралізованої моделі із встановленням пірингових горизонтальних спорадичних бізнес-відносин з високим рівнем довіри між суб'єктами моделі без посередників. Така реорганізація потребує створення пірингової децентралізованої системи з децентралізованою базою даних, розподіленою між суб'єктами взаємовідносин. З цією метою у кожному транспортному засобі необхідно забезпечити підключення до корпоративної пірингової мережі GPS датчиків, транспондерів та смартфонів пасажирів з можливістю реєстрації в них транзакцій,

пов'язаних з наданням транспортних послуг шляхом запису інформаційного блоку щодо всіх параметрів здійсненої транзакції.

В інформаційних блоках міститься інформація з міткою часу про такі транзакції, як наявність транспорту на маршруті, факт вимкнення GPS датчику або транспондери, реєстрація пасажирів, реакція Регулятора та Оператору послуг на зафіксовані порушення. При несанкціонованому вимкненні транспондерів факт знаходження транспорту на маршруті оцінюється завдяки наявності зафіксованих транзакцій в смартфонах пасажирів про їх геолокацію, завдяки підключенню смартфонів до GPS та 4G/5G мереж.

Інструментом підвищення довіри між суб'єктами, що здійснюють транзакції за допомогою мережі Інтернет, доцільно використовувати технології блокчейн. Використання цієї технології дозволяє у кожному пристрої для кожного інформаційного блоку обчислювати за криптографічними алгоритмами значення відповідної хеш-функції, яка враховує хеш-значення попередніх інформаційних блоків. Ця особливість унеможливорює зміни історії та змісту інформаційних блоків про виконані транзакції заднім числом непомітно для всіх інших учасників. Копії ланцюжків таких блоків зберігаються на різних смартфонах, транспондерах та серверах Регулятора або Оператору послуг незалежно друг від друга шляхом створення реплікованої розподіленої бази даних децентралізованої системи моніторингу.

Застосування технології блокчейн усуває потребу у наявності будь-яких традиційних в економіці посередників довіри до результатів моніторингу (суди, комісії), оскільки усуває саму необхідність довіри та замінює її доказами. Таким чином завдяки технології блокчейн стає можливим використання нової бізнес-моделі організації трекінгу на основі впровадження розподіленої системи довіри в рамках якої невідомі один одному учасники, можуть вступати в безпосередні, рівні довірливі стосунки на засадах добровільного приєднання до цієї системи без звернення до будь-якої центральної організації.

Використання технології «блокчейн» як інструменту побудови розподіленої системи довіри між Споживачем, Регулятором та Оператором послуг в системах моніторингу громадського транспорту дозволяє підвищити якість та прозорість надання транспортних послуг, зменшити транзакційні витрати Регулятора за рахунок міграції від ієрархічних зв'язків до горизонтальних без участі посередників, підвищення доходів у Оператора послуг та державних бюджетів.



**Додаток В**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ФІЗИКА, ЕЛЕКТРОНІКА,  
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА**

**ФЕЕ :: 2024**

**МАТЕРІАЛИ  
та програма**

**МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ**

(Суми, 22–26 квітня 2024 року)

Суми  
Сумський державний університет  
2024

## **Вибір ефективної криптографічно стійкої хеш-функції в технології блокчейн для систем Інтернету речей**

Бережна О.В.<sup>1</sup>, доцент; Арбузов В.В.<sup>2</sup>, директор;  
Мазуркевич О.А.<sup>1</sup>, студент

<sup>1</sup>Сумський державний університет, м. Суми

<sup>2</sup>ТОВ Енергосервісне підприємство «Преобразователь», м. Суми

Ефективність впровадження систем Інтернету речей (IoT) залежить від синергетичного ефекту комплексного поєднання таких різних технологій, як децентралізація систем, розширення зон покриття швидкісними безпроводними мережами зв'язку нового покоління, впровадження «туманних обчислень» та технології блокчейн.

Для досягнення такого ефекту здійснюється міграція від хмарних централізованих систем, що працюють за принципом довірчості та аутентифікації, до розподілених децентралізованих систем, що працюють за принципом повної відсутності довірчості, де кожна транзакція повинна підтверджуватись спільнотою розподілених у просторі вузлів системи. Для забезпечення довірчих відносин між учасниками використовується технологія блокчейн.

За результатами дослідження встановлено, що для забезпечення якості довірчих відносин необхідно для кожного інформаційного блоку повідомлення від будь-якого учасника довірчих відносин та його пристроїв (GPS-датчики, сервери, смартфони) обчислювати хеш-значення за допомогою таких криптографічних перетворень та хеш-функцій, які забезпечують стійкість до колізій, до пошуку першого та другого прообразів. Це означає, що ніякі два різні повідомлення на вході хеш-функції не можуть мати однакове обчислене хеш-значення на виході, неможливо відновити вхідне повідомлення, знаючи його хеш-значення, неможливо на підставі вихідного повідомлення та його хеш-значення підібрати друге повідомлення, яке має однакове хеш-значення. Така криптографічна стійка хеш-функція повинна мати властивість, згідно з якою зміна одного біту на вході повинна призводити до зміни близько половини вихідних бітів.

Аналіз показав, що такі властивості притаманні хеш-функції сімейства SHA-2, що побудовані на основі дерева Меркла-Дамгора, а її застосування унеможливорює зміни історії та змісту інформаційних блоків про здійсненні транзакцій непомітно для всіх інших учасників.



