

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційно-аналітичних технологій та менеджменту
(повна назва)
Кафедра Інформатики
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ БЛОКЧЕЙН У СФЕРІ ПРОДАЖУ
НЕРУХОМОСТІ
(тема)

Виконав:
студент 4 курсу, групи ІТІНФ-20-3

Кочегаров В. Г.
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 122 Комп'ютерні науки
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Інформатика
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Руденко Д.О.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Кобилін О.А.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційно-аналітичних технологій та менеджменту
(повна назва)Кафедра Інформатики
(повна назва)Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(код і повна назва)Тип програми освітньо-професійнаОсвітня програма Інформатика
(повна назва освітньої програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУстудентові Кочегарову Валерію Геннадійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)1. Тема роботи Використання технології блокчейн у сфері продажу нерухомості

затверджена наказом університету від 20 травня 2024 року № 464 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 28 травня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи науково-методична та науково-технічна література, матеріали конференцій, дані інтернет-мережі, стек технологій NextJS, Solidity, BSC, Wagmi.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1. Огляд технології блокчейн та аналіз її можливостей.

2. Сучасні рішення, проблеми та методи сфери нерухомості.

3. Основні компоненти технології блокчейн.

4. Розробка застосунку з використанням NextJS, Solidity, BSC, Wagmi.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Використання технології блокчейн для сфери нерухомості, постановка задачі, основні компоненти технології блокчейн, компоненти клієнтської частини, програмна реалізація смарт-контрактної та клієнтської частин.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	08.04.2024	
2	Аналіз завдання, підбір літератури	08.04.24-17.04.24	
3	Аналіз літератури з досліджуваної проблеми	18.04.24-20.04.24	
4	Аналіз технологій та їх методів	20.04.24-22.04.24	
5	Розробка вебзастосунку	23.04.24-10.05.24	
6	Програмна реалізація	11.05.24-23.05.24	
7	Оформлення пояснювальної записки	24.05.24-28.05.24	
8	Перевірка на плагіат	30.05.24	
9	Рецензування	31.05.24	
10	Підготовка презентації та доповіді	01.06.24-05.06.24	
11	Занесення роботи в електронний архів	06.06.24	
12	Попередній захист кваліфікаційної роботи	06.06.24	

Дата видачі завдання 8 квітня 2024 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Руденко Д.О.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ/ABSTRACT

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 52 с., 2 табл., 18 рис., 30 джерел.

БЛОКЧЕЙН, НЕРУХОМІСТЬ, КРИПТОВАЛЮТА, ТОКЕН, САЙТ ПРОДАЖУ НЕРУХОМОСТІ, ТРАНЗАКЦІЇ, МАЙНО, КРИПТОМЕРЕЖІ, СМАРТ-КОНТРАКТ, МОНЕТИ, КРИПТОГАМАНЕЦЬ, ЗАЦІЯ, НЕРУХОМІСТЬ.

Об'єктом роботи є технологія блокчейн в сфері нерухомості.

Метою роботи є розробка вебзастосунку для продажу нерухомості за допомогою технології блокчейн.

Використано технологію блокчейн, ключові методи, основні поняття. Проведено аналіз технології блокчейн, проблематику та сучасні рішення сфери нерухомості, досліджено та використано технологію блокчейн в процесі розробки сайту продажу та купівлі майна. Досліджено сучасні технології розробки клієнтської частини. В ході розробки залучено наступний стек технологій: NextJS, Solidity, BSC, Wagmi.

У результаті роботи здійснена програмна реалізація вебзастосунку для продажу та купівлі нерухомості.

BLOCKCHAIN, REAL ESTATE, CRYPTOCURRENCY, TOKEN, REAL ESTATE WEBSITE, TRANSACTIONS, PROPERTY, CRYPTO NETWORKS, SMART CONTRACT, COINS, CRYPTO WALLET, TOKENISATION, REAL ESTATE.

The object of work is blockchain technology in the real estate sector.

The purpose of the work is to develop a web application for selling real estate using blockchain technology.

Blockchain technology, key methods, basic concepts are used. The article analyses blockchain technology, problems and modern solutions in the real estate sector, studies and uses blockchain technology in the process of developing a website for the sale and purchase of property. Modern technologies for the development of the client side are studied. The following technology stack was used in the development process: NextJS, Solidity, BSC, Wagmi.

As a result of the work, the software implementation of a web application for the sale and purchase of real estate was carried out.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	6
Вступ.....	7
1 Огляд основних методів.....	8
1.1 Основні поняття сфери нерухомості	8
1.2 Існуючі рішення сфери нерухомості	9
1.3 Проблематика сфери нерухомості	10
1.4 Огляд використання технології блокчейн у сфері нерухомості	12
1.4.1 Аналіз предметної області	12
1.4.2 Аналіз використання блокчейну в сфері нерухомості	13
1.4.3 Токенізація	14
1.5 Постановка задачі	15
2 Математичні моделі	17
2.1 Аналіз технології блокчейн	17
2.2 Основні компоненти технології блокчейн	18
2.2.1 Механізми консенсусу	18
2.2.2 Смарт-контракти.....	20
2.2.3 Криптомережі та їх види.....	21
2.2.4 Блокчейн протоколи	22
2.2.5 Монети та токени.....	25
2.3 Сучасні технології клієнтської частини	29
3 Програмна реалізація	33
3.1 Смарт-контракт частина.....	33
3.2 Клієнтська частина	37
Висновки.....	49
Перелік джерел посилання	50

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВВП – внутрішній валовий продукт

PoW – Proof of Stake (підтвердження частки)

BSC – Binance Smart Chain

SSR – Server Side Rendering (серверний рендеринг)

DeFi – Decentralized Finance (децентралізовані фінанси)

NFT – Non-fungible Token (невзаємозамінний токен)

DApps – Decentralized Applications (децентралізовані застосунки)

ВСТУП

Упродовж останніх років технологія блокчейн стрімко розвивається, перетворюючи спосіб, яким ми робимо бізнес і взаємодіємо з фінансовими активами. Від криптовалют до токенизації активів, блокчейн набуває все більшої популярності та визнання. Технологія блокчейну відіграє ключову роль у сфері нерухомості, де її потужний потенціал може революціонізувати спосіб, яким ми купуємо, продаємо та інвестуємо у нерухомість.

Застосування блокчейну у сфері нерухомості може забезпечити швидкі, безпечні та прозорі транзакції, зменшити витрати на посередників та покращити доступ до ринку для різних учасників. Токенизація активів також стає все популярнішою концепцією, що відкриває нові можливості для інвесторів і забезпечує більшу ліквідність на ринку нерухомості. Хоча існують виклики та недоліки, пов'язані з впровадженням блокчейну в цей сектор, однак майбутнє цієї технології виглядає яскравим і перспективним для розвитку ринку нерухомості.

Актуальність роботи полягає у тому, що, незважаючи на поточні недоліки технології блокчейн, її значення та використання в майбутньому обіцяють бути надзвичайно важливими. Розвиток блокчейну зазнає постійного удосконалення, спрямованого на подолання поточних викликів та забезпечення його ефективного функціонування. Використання технології блокчейн передбачає проведення швидких, надійних та прозорих транзакцій з використанням security-токенів, що може призвести до скорочення кількості посередників, зниження комісій та загальних витрат на транзакції. Саме тому створення сайту для продажу нерухомості у цей час, коли ця галузь ще не досягла свого піку розвитку, виявляється надзвичайно важливим, оскільки вона має величезний потенціал для подальшого зростання і впровадження.

1 ОГЛЯД ОСНОВНИХ МЕТОДІВ

1.1 Основні поняття сфери нерухомості

Сфера нерухомості відіграє значу роль в економічному середовищі усіх країн світу. Це дуже багатогранна та динамічна галузь, яка охоплює все, що пов'язано з розвитком, купівлею, володінням, продажом, орендою та управлінням землею або іншими об'єктами нерухомості, що знаходяться на ній. Це може бути, як житлова, так і комерційна нерухомість, починаючи з квартир і офісних приміщень, завершуючи промисловими об'єктами.

Нерухомість відіграє важливу роль в економічному розвитку країни. Будівництво, продаж та оренда нерухомості збільшує валовий внутрішній продукт країни. Зведення нових будівель і житла створює робочі місця та попит на будівельні матеріали й обладнання. Галузь будівництва є важливою складовою економіки, її розвиток безпосередньо впливає на загальний валовий внутрішній продукт (ВВП) країни.

Продаж нерухомості також сприяє зростанню ВВП. Під час продажу нерухомості відбуваються транзакції, які позитивно впливають на загальну економічну активність. Продажі нерухомості також сприяють зростанню індустрії нерухомості, яка, в свою чергу, створює робочі місця і приносить дохід державі у вигляді податків.

Ринки нерухомості функціонують через виконання низки транзакцій, включаючи переговори, угоди, платежі та перевірку документів. Ці транзакції можуть здійснюватися шляхом прямого контакту між учасниками або через спеціалізовані платформи та сервіси, які допомагають у здійсненні транзакцій.

У сфері нерухомості є декілька видів учасників. По-перше, це власники нерухомості, будь то люди, які володіють нерухомістю для власного споживання або бізнесу, які є власниками квартир або комерційних приміщень для інвестування. Ріелтори та агенти з нерухомості допомагають своїм клієнтам здійснювати підбір, продаж, купівлю та оренду приміщень. Великі

компанії або окремі забудовники будують нову нерухомість або займаються реконструкцією існуючих об'єктів нерухомості. Всім цим видам учасників допомагають фінансові та правові установи будь то банки, фінансові організації, які надають фінансування для придбання або будівництва нерухомості. Або адвокати, нотаріуси та юристи, які надають та допомагають з правовими послугами договорів.

1.2 Існуючі рішення сфери нерухомості

Традиційні послуги агентів з нерухомості передбачають допомогу, яку надають ліцензовані агенти з нерухомості або брокери, щоб полегшити операції з нерухомістю між покупцями і продавцями. Ці агенти зазвичай діють як посередники, допомагаючи клієнтам у різних аспектах процесу купівлі-продажу нерухомості, таких як оцінка майна, маркетинг, переговори та оформлення документів. Вони часто володіють глибокими знаннями про місцеві ринки житла та законодавство, які вони використовують, щоб допомогти клієнтам у процесі купівлі чи продажу.

По суті, традиційні послуги агентів з нерухомості пропонують персоналізовану підтримку та експертизу клієнтам, які бажають купити або продати нерухомість. Агенти відіграють вирішальну роль у з'єднанні покупців з відповідними об'єктами нерухомості і допомагають продавцям знайти кваліфікованих покупців. Вони також вирішують адміністративні завдання та юридичні складнощі, пов'язані з операціями з нерухомістю, гарантуючи, що всі сторони дотримуються відповідних законів і нормативних актів.

Хоча традиційні послуги агентів з нерухомості були нормою протягом десятиліть, вони зазнавали критики за високі комісійні, які іноді можуть становити значний відсоток від ціни продажу нерухомості. Крім того, дехто стверджує, що традиційна модель не завжди відповідає швидкозмінним

уподобанням та очікуванням сучасних споживачів, які все частіше шукають спрощені, технологічні рішення для своїх потреб у сфері нерухомості [1].

Сучасний світ нерухомості має інтернет платформи для пошуку майна для покупки, купівлі або оренди. Вони допомагають клієнтові знайти саме те, що йому потрібно, не використовуючи традиційних методів сфери, таких як оголошення у газетах, дошках або у старих списках баз даних ріелторів. З появою цих платформ учасникам світу нерухомості стало легше і швидше досягти бажаного результату покупки, оренди або продажу свого майна. Це дозволяє привернути увагу потенційних покупців та орендарів, збільшити обіг об'єктів нерухомості та забезпечити ефективну реалізацію.

Крім того, надзвичайно важливим елементом є оцінка нерухомості. Професійні оцінювачі визначають ринкову вартість об'єктів на основі різних факторів, таких як розмір, розташування, стан будівлі та ринкові тенденції. Це дозволяє забезпечити об'єктивність та реалістичність цін на нерухомість, що сприяє стабільності ринку та забезпечує довіру учасників ринкових відносин.

1.3 Проблематика сфери нерухомості

Сфера нерухомості, хоч і є важливим сегментом економіки, постійно стикається з численними проблемами та викликами. Однією з головних проблем є доступність житла. В цьому контексті, багато людей стикаються з проблемою високих цін на нерухомість, особливо у великих містах. Це призводить до того, що значна частина населення має обмежений доступ до якісного житла, що впливає на їхню якість життя та соціальну стабільність.

Ще однією актуальною проблемою є прозорість та ефективність ринку нерухомості. У багатьох країнах існує недостатня прозорість у сфері нерухомості, що створює сприятливі умови для корупції та недобросовісної діяльності. Це може включати в себе неправильне використання землі,

незаконне перерозподіл нерухомості та інші порушення, що підривають довіру до ринку та завдають шкоди економіці [2].

Також однією із перешкод є недостатність інформації про угоди та власників або інших правових аспектів нерухомості. Зазвичай ця інформація доступна в важкодоступних форматах для звичайної людини, яка, наприклад, хоче купити або продати нерухомість. Також майже неможливо здійснити моніторинг діяльності онлайн або у інших доступних форматах. Також слабкий контроль та регуляторна база доволі часто призводять до неправильного використання землі, незаконного перерозподілу нерухомості та інших порушень, які можуть числитися десятками. Це створює надзвичайну небезпеку для споживачів, власників, інвесторів та будь-яких інших учасників сфери нерухомості, оскільки це підривує довіру до ринку в цілому.

Ще однією важливою проблемою є екологічні аспекти розвитку нерухомості. Будівництво та експлуатація будівель може мати негативний вплив на довкілля, зокрема на забруднення повітря та води та зниження якості життя мешканців. Необхідно враховувати ці аспекти при плануванні та розвитку нових об'єктів нерухомості для збереження екологічної рівноваги та забезпечення сталого розвитку.

Нарешті, триває дискусія щодо впливу технологічних інновацій на сферу нерухомості [3, 4]. З одного боку, впровадження нових технологій може покращити ефективність ринку та забезпечити більшу доступність інформації для учасників ринкових відносин. З іншого боку, це може призвести до виникнення нових проблем, таких як кібербезпека та приватність даних, а також до зростання нерівності між учасниками ринку.

Отже, проблематика сфери нерухомості є багатогранною та потребує комплексного підходу для її вирішення. Важливо розглядати ці проблеми з урахуванням їхнього впливу на суспільство, економіку та довкілля, а також розробляти ефективні стратегії для їх вирішення.

1.4 Огляд використання технології блокчейн у сфері нерухомості

1.4.1 Аналіз предметної області

Наразі сфера нерухомості уявляє собою купівлю, продаж та оренду різних видів приміщень, будівель, тощо. Це може як житлова так і комерційна нерухомість, починаючи з квартир і офісних приміщень, завершуючи промисловими об'єктами.

Ринки нерухомості функціонують через виконання низки транзакцій, включаючи переговори, угоди, платежі та перевірку документів. Ці транзакції можуть здійснюватися шляхом прямого контакту між учасниками або через спеціалізовані платформи та сервіси, які допомагають у здійсненні транзакцій.

У сфері нерухомості є декілька видів учасників. По-перше, це власники нерухомості, будь то люди, які володіють нерухомістю для власного споживання або бізнесу, які є власниками квартир або комерційних приміщень для інвестування. Ріелтори та агенти з нерухомості допомагають своїм клієнтам здійснювати підбір, продаж, купівлю та оренду приміщень. Великі компанії або окремі забудовники будують нову нерухомість або займаються реконструкцією існуючих об'єктів нерухомості. Всім цим видам учасників допомагають фінансові та правові установи будь то банки, фінансові організації, які надають фінансування для придбання або будівництва нерухомості. Або адвокати, нотаріуси та юристи, які надають та допомагають з правовими послугами договорів [5].

Сучасний світ нерухомості має інтернет платформи для пошуку майна для покупки, купівлі або оренди. Вони допомагають клієнтові знайти саме те, що йому потрібно, не використовуючи традиційних методів сфери, таких як оголошення у газетах, дошках або у старих списках баз даних ріелторів [6]. З появою цих платформ учасникам світу нерухомості стало легше та швидше досягти бажаного результату покупки, оренди або продажу свого майна.

1.4.2 Аналіз використання блокчейну в сфері нерухомості

За допомогою блокчейну відбувається значна автоматизація та оптимізація процесів у сфері нерухомості [7, 8], що забезпечує ефективність, простоту та прозорість і полегшує взаємодію між учасниками ринку. Як завдяки технології може змінитися галузь? У баз даних майна, угод та прав власності – перехід на децентралізовану систему, у грошових переказах та автоматизації, завдяки смарт-контрактам [9].

Переваги блокчейну в нерухомості:

- безпека передачі цифрових активів;
- простіший пошук майна;
- швидкість;
- автоматизовані угоди;
- низький доступ до інвестування;
- ліквідність активів.

Смарт-контракти роблять пошук майна простішим та менш дороговартісним, бо наразі звичні платформи нерухомості вимагають щомісячну абонентну плату або беруть гроші за публікацію оголошення. Натомість, децентралізована база даних з роботою смарт-контрактів вимагає тільки комісію за публікацію та збереження даних в блокчейн. Але комісія після підрахувань набагато нижча, ніж на інших платформах.

Автоматизація транзакцій повністю знижує ризики будь-якого цифрового шахрайства, сприяючи швидкості та безпеки транзакцій. Крім цього автоматизація транзакцій позбавляє від потреби у посередниках. Процес зменшує багато ризиків, зв'язаних в людським фактором та шахрайством з будь-якої із сторін, допомагає підвищити ліквідність, прозорість та ефективність транзакцій, знизити витрати та привернути увагу нових інвесторів.

Галузевий ринок стає ліквідним, коли процес продажу відбувається швидко та за ринковою вартістю або близькою до неї.

1.4.3 Токенізація

Токенізація – це процес створення цифрового, унікального та анонімного активу, з представлення реальної речі. Цей процес створення токенів у світі криптовалют, що і являється активом. Токени [10] можуть представляти активи, включаючи фізичні активи, такі як нерухомість або мистецтво, фінансові активи, такі як акції чи облігації, нематеріальні активи, такі як інтелектуальна власність, або навіть ідентифікаційні дані.

Токенізація активів поділяється на чотири етапи:

- пошук активів;
- випуск і зберігання;
- розповсюдження та торгівля;
- обслуговування та узгодження даних.

Першим кроком є з'ясування способу токенізації активу [11, 12]. Різні активи будуть розглядатися по різному – будь то як цінний папір чи товар. Якщо цифровий актив має фізичне представлення, то він має бути переміщений у захищене приміщення, яке є нейтральним для обох сторін. Після цього під кожен актив окремо обирається токен, мережа та методи відповідності, які дозволяють зробити цифрове представлення продукту.

Розповсюдження та торгівля активу цифрового активу, залежно від його виду, має бути обрано місце його торгівлі. Основною ділянкою купівлі та продажу цифрових токенізованих активів являються біржі, які вільно регулюються та є маркетмейкерами цих токенів.

Маркетмейкерами називають учасників фінансового ринку, в нашому прикладі криптовалютного ринку, які забезпечують ліквідність та стабільність будь-якого токenu, надаючи попит та пропозицію, створюючи ринкові ордери на купівлю та продаж. Це дозволяє мінімізувати розриви у цінах та робить токенізований актив менш волатильним, створюючи стабільність ціни токenu та привабливі умови для учасників ринку.

Етап обслуговування активу – після того, як він розповсюджений інвесторам та маркетмейкерам, виникає потреба в постійному обслуговуванні. Це включає в себе регуляторну, бухгалтерську та податкову звітність. Однак для повної реалізації токенизації необхідна відповідна нормативно-правова база, стандарти для забезпечення захисту прав інвесторів і стабільності ринку.

В майбутньому токенизація може стати ключовим компонентом світової економіки і зробити активи більш доступними, ефективними і привабливими для всіх учасників ринку. Сфера фінансових коштів вже активно почала токенизувати готівку, на 2023 рік токенизовано більше 120 мільярдів активів у стейблкоїнах. Стейблкоїни – це тип криптовалюти, напряду залежної та прив’язаної до фізичного активу [13].

1.5 Постановка задачі

У сфері нерухомості технологія блокчейн є одним з найкращих методів забезпечення цілісності даних та їх безпеки.

На ринку сьогодні частота випадків шахрайства з боку агентів нерухомості є досить високою. Шахрайство може бути використанням неправдивої інформації приватними особами або брокерами в операціях з нерухомістю. Це може бути зміна права власності на об’єкт нерухомості, видаючи себе не за реального власника, з подальшим продажом іншій особі. Або найрозповсюджений тип шахрайства – це маніпулювання ціною, змінюючи або видаляючи її шахраєм, з ціллю введення в оману покупців.

Об’єктом роботи є технологія блокчейн в сфері нерухомості.

Метою роботи є розробка вебзастосунку для продажу нерухомості за допомогою технології блокчейн.

Головною задачею є розробка сервісу, який даватиме змогу вносити інформацію про нерухомість в блокчейн, запобігаючи випадкам шахрайства зі

сторони власників, агентств та компаній. Технологія майже унеможливорює шахрайства та несанкціоноване втручання в реєстр майна завдяки своєму розподіленому реєстру даних у децентралізованій системі. Це дає можливість завжди відстежити та перевірити дані про нерухомість, які вже неможливо поміняти або змінити. В ході розробки слід заключити наступний стек технологій: NextJS, Solidity, BSC, Wagmi.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- аналіз технології блокчейн;
- аналіз ринку нерухомості;
- дослідження та пошук аналогів;
- використання технології блокчейн в процесі незалежного сервісу купівлі та продажу майна.

2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ

2.1 Аналіз технології блокчейн

Блокчейн – це новітня децентралізована система зберігання даних. Однією з основних переваг цієї технології є важливий принцип групування всіх транзакцій у блоки. Вони послідовно зв'язуються між собою в ланцюжок. Після того, як дані були записані в блокчейн – їх неможливо замінити. Кожен блок в цій системі, разом з даними, містить в собі унікальний хеш поточного та попереднього блока. Хеш ідентифікує сам блок і вміст інформації, його можна порівняти з відбитком пальця. Самі дані, які зберігаються в кожному блоці залежать від призначення блокчейну.

Блоки зашифрованих даних завжди пов'язані між собою, транзакції в децентралізовану базу даних записуються послідовно та на невідомий строк, дозволяючи бачити всі попередні версії та історію запису та виконання транзакцій.

Технологія має три основні атрибути, що дозволяють безпечно обмінюватися інформацією або будь-чим, що має цінність, чи то фізичним предметом, чи чимось менш відчутним. Основним атрибутом блокчейну є криптографічно захищена база даних. Це означає, що для того, щоб отримати доступ до бази даних або додати до неї дані, користувачеві потрібні два криптографічні ключі: публічний ключ, який, по суті, є адресою в базі даних, і приватний ключ, який є особистим ключем, який повинен бути аутентифікований мережею.

Безпека є основним аспектом у технології блокчейн. Інформація щодо угод, смарт-контрактів та транзакцій доступна для перегляду, але стороннє втручання або зміна даних унеможлиблюється саме завдяки математичним алгоритмам і методам технології. Фальсифікація та підробка даних в системі неможлива завдяки незмінності блоків в ланцюжку.

При додаванні в систему нових даних більшість блоків та вузлів зобов'язані підтвердити та перевірити легітимність нових даних на основі механізмів консенсусу.

2.2 Основні компоненти технології блокчейн

2.2.1 Механізми консенсусу

Механізм консенсусу – це система, яка дозволяє розподіленим процесам або підходам досягти згоди щодо єдиного значення даних. Задля погодження та перевірки транзакцій, перед тим як додати їх у блокчейн, різні вузли досягають консенсусу щодо статусу реєстру. Механізм – це спосіб для кожного учасника угоди домовитися про щось без необхідності одного явного лідера. Як приклад, можна уявити собі сім'ю, де члени намагаються вибрати собі серіал для перегляду. Замість того, щоб одна особа вирішувала, голосування виграє тій серіал, що набрав більшість кількості голосів.

Безпеку та підтримку екосистеми технології блокчейн забезпечують різні типи механізмів консенсусу:

- Proof of Work (PoW, підтвердження роботи);
- Proof of Stake (доказ участі);
- Delegated Proof of Stake;
- Proof of Authority;
- Proof of Burn;
- Proof of Elapsed Time.

Механізм Proof of Work забезпечує високий рівень безпеки, необхідний для додавання блоків завдяки обчислювальній роботі та заохочує децентралізовану мережу майнерів. Механізм вимагає від майнерів обчислювати складні математичні задачі для перевірки транзакцій та створення нових блоків в мережі. Підтвердження роботи має мінуси, такі як енергоємність та обмеження масштабування. Механізм потребує значну

кількість електроенергії та має повільнішу обробку транзакцій та вищі комісії в пікові періоди використання.

Доказ участі (або Proof of Stake) набагато більш енергоефективна, ніж PoW, оскільки не потребує інтенсивної обчислювальної роботи. Валідатори, залежно від кількості монет, якими вони володіють, обираються для створення нових блоків. Цей механізм, на відміну від інших, забезпечує масштабованість та високу швидкість транзакцій, але є більш сприйнятливим для певних типів атак. Також мінусом створення блоків залежно від кількості монет є потенційна можливість централізації.

Делеговане підтвердження участі, а саме механізм Delegated Proof of Stake є варіантом Proof of Stake, виділяючись тим, що зацікавлені сторони голосують за мінімальну кількість делегатів для перевірки транзакцій і створення блоків. Дозволяючи сторонам вирішувати, хто перевіряє транзакції, механізм має кращу обробку транзакцій і менше споживання енергії. Механізм підтвердження повноважень дає можливість валідувати транзакції та блокування тим обліковим записам, чиїх репутації довіряють. Це забезпечує швидку та ефективну перевірку транзакцій без значних обчислювальних ресурсів [14], але мають високу вірогідність централізації та обмежену прозорість в мережі.

Механізм Proof of Burn передбачає знищення певної кількості монет, що дає право додавати блоки пропорційною знищенням монетам. Основними мінусами цього метода є марнотратство та надавання переваги тим, у кого монет більше. Плюсом механізму є заохочування довгострокових інвестицій в спільну мережу.

Підтвердження минулого часу (Proof of Elapsed Time) розроблений для забезпечення справедливого процесу відбору творців блоків. Механізм використовується в дозволених мережах, дозволяє вибір творця нового блоку на основі чесної лотереї та є енергоефективним. Але залежність від цілісного апарату забезпечення залежить від дозволених блокчейнів.

2.2.2 Смарт-контракти

Смарт-контракт – це програма, кожна зі своєю логікою та набором функцій та методів для запису, читання та редагування даних. Контракт автоматично виконує свої методи і правила під час їх виклику у блокчейні [15]. Смарт-контракти представляють собою цифрове представлення звичних нам контрактів, але в блокчейні вони є набором функцій та даними, що зберігаються у блокчейні за певними адресами.

Як приклад робити смарт-контрактів можна уявити торговий автомат. Використовуючи його, клієнт вкладає певну суму грошей – після отримує товар через нижній отвір автомата [16]. По суті, смарт-контракти створюють діджиталізований процес оплати для автоматичного виконання процесів у блокчейні.

На відміну традиційних мов програмування смарт контракти мають наступні переваги:

- незмінність: після того, як контракт вже був розгорнутий в блокчейні, його вже не можливо змінити. Тобто ніхто не може контролювати смарт-контракти. Це дозволяє їм працювати як надійна третя сторона, гарантуючи безпеку та неналежність жодної із сторін;
- прозорість: смарт-контракти прозорі, так як вони публікуються в блокчейні. Їх може читати та писати кожен, хто має доступ к технології;
- простота: оскільки смарт-контракти мають чутливу логіку та дорогі для розгортання, вони, як правило, набагато менші та простіші, ніж більшість традиційних аналогів. За кожне розгортання власник повинен заплатити комісію.

2.2.3 Криптомережі та їх види

Криптомережі – це інфраструктури, які дозволяють програмам отримувати доступ до служб реєстру та смарт-контрактів. Вони і керують передачею криптоактивів. Основна логіка цих послуг і умов робить транзакції плавнішими, швидшими та надійнішими, усуваючи проблему в посередниках. Криптомережі поділяються на декілька категорій – кожна із своїм функціоналом та умовами використання. Основні види категорій:

- публічна мережа;
- приватна мережа;
- гібридний блокчейн;
- консорціум.

В публічній мережі всі, хто мають доступ, можуть доєднатися та приймати участь у будь-якій діяльності мережі – перевіряти, проводити транзакції та інше. Публічність та прозорість мережі захищає її від усіх видів проблем з кібербезпекою. Основними прикладами цього типу мережі є Bitcoin, Ethereum і BNB Smart Chain (BSC).

Приватна мережа блокчейнів працює лише в обмеженому середовищі та є закритою. До неї можна приєднатися тільки запрошенню або після підтвердження вашої особи та іншої необхідної інформації. Приватні мережі корисні для тих компаній або застосунків, де тільки певні користувачі можуть мати доступ до записів в неї.

Гібридний блокчейн являє собою суміш із двох попередніх мереж, пом'якшуючи їх потенційні недоліки. Мережа використовує двосторонній підхід, залучаючи приватні вузли, які керуються обома сторонами. Гібридний блокчейн залигає в приватних усіх транзакції та записи, але маючи доступ, наданий смарт-контрактом, їх можна перевірити, коли це необхідно.

Консорціум схожий на гібридний вид, але його особливість полягає в тому, що він, зберігаючи децентралізовану якість, дозволяє співпрацю між різними організаціями для створення спільного блокчейну та його керуванням.

2.2.4 Блокчейн протоколи

Зазвичай, протокол – це набір правил, які керують системою або набором процедур [17, 18], регулюючи передачу між двома або більше електронними пристроями. Приклади, які використовуються майже кожен день – TCP/IP, HTTPS і DNS. Протоколи допомагають структурувати інформацію, якою обмінюються два або більше пристроїв, контролюючи надсилання та отримування. Блокчейн протоколи набагато ширші та більш функціональні, ніж звичні інформатичні. Кожен блокчейн має власний і унікальний протокол, в якому є свої правила та методи. Протокол блокчейну є визначеним набором правил [19], які повинні бути узгодженими всіма вузлами.

Існують наступні категорії блокчейнів:

- мережевий протокол;
- протокол консенсусу;
- функція переходу стану.

Мережевий протокол можна розглядати як традиційний протокол, який визначає, як дані повинні передаватись таким чином, щоб їх змогли зрозуміти всі вузли-учасники. Протокол визначає транзакції, блоки, пошук інших вузлів та консенсусні повідомлення.

Протокол консенсусу визначає, як мережа узгоджує наступний канонічний блок у ланцюжку. Він визначає, які блоки [20] є правильними та перевіряє, чи блок має правильний попсе (підтвердження роботи).

Функція переходу стану – це те, що блокчейн вважає істинним в даний момент. Функція є частиною протоколу, що визначає, що, в результаті транзакції в мережі, насправді буде робити блокчейн.

Основні блокчейн- протоколи представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні блокчейн-протоколи

Назва	Запуск	Мета	Консенсусний алгоритм	Особливості
1	2	3	4	5
Bitcoin (BTC)	2009	Децентралізована цифрова валюта	Proof of Work (PoW)	Сильна безпека, велика підтримка, обмежена кількість (21 мільйон BTC), обмежена функціональність смарт-контрактів
Ethereum (ETH)	2015	Платформа для децентралізованих застосунків (Dapps) і смарт-контрактів	Спочатку Proof of Work (PoW), поступовий перехід на Proof of Stake (PoS) з Ethereum 2.0	Підтримка смарт-контрактів, велика екосистема Dapps, ERC-20 токени, активна спільнота розробників.
Binance Smart Chain (BSC)	2020	Швидкі і дешеві транзакції, сумісність з Ethereum	Proof of Staked Authority (PoSA)	Низькі комісії, швидкі транзакції, сумісність з Ethereum Virtual Machine (EVM), велика кількість DeFi-застосунків.
Polkadot (DOT):	2020	Мульти-ланцюгова платформа, яка об'єднує різні блокчейни	Nominated Proof of Stake (NpoS)	Інтероперабельність між різними блокчейнами, парачейни, можливість створення спеціалізованих блокчейнів.

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
Cardano (ADA)	2017	Надійна платформа для смарт-контрактів з науковим підходом до розробки	Proof of Stake (PoS) (Ouroboros)	Акцент на безпеку і масштабованість, модульна архітектура, науково обґрунтований розвиток.
Solana (SOL)	2020	Високопродуктивна платформа для децентралізованих застосунків	Proof of History (PoH) в поєднанні з Proof of Stake (PoS)	Дуже висока пропускну здатність, низькі комісії, орієнтація на масштабованість.
Tezos (XTZ)	2018	Самооновлювана блокчейн-платформа для смарт-контрактів	Liquid Proof of Stake (LpoS)	Самооновлення через механізм оновлень, акцент на безпеку, активна спільнота розробників.
Avalanche (AVAX)	2020	Платформа для запуску децентралізованих застосунків і блокчейн-мереж	Avalanche Consensus	Висока швидкість транзакцій, можливість створення кастомних блокчейнів (сабнетів), висока масштабованість
Cosmos (ATOM)	2019	Інтероперабельність між блокчейнами	Tendermint BFT	Інтероперабельність через IBC (Inter-Blockchain Communication), Cosmos SDK для створення блокчейнів.

Вибір блокчейн-протоколу залежить від конкретних вимог проєкту, таких як:

- безпека: для фінансових застосунків і систем, де безпека є критично важливою, вибираються блокчейни з добре перевіреними алгоритмами консенсусу, такі як Bitcoin і Ethereum [21];
- масштабованість: для застосунків з високими вимогами до пропускної здатності (наприклад, децентралізовані фінансові застосунки або ігри) можуть використовуватися протоколи, що забезпечують високу продуктивність, такі як Solana і Avalanche;
- інтероперабельність: для проєктів, що вимагають взаємодії з іншими блокчейнами, підходять протоколи, які підтримують інтероперабельність, такі як Polkadot і Cosmos;
- комісії за транзакції: для проєктів, де важливі низькі комісії, можуть бути кращими платформи, такі як Binance Smart Chain або Tezos.

Таким чином, існує безліч блокчейн-протоколів, кожен з яких має свої унікальні особливості та сфери застосування, що дозволяє розробникам вибирати оптимальні рішення для своїх проєктів.

2.2.5 Монети та токени

Монета у криптовалютному ринку – це цифрова валюта, яка працює на власному блокчейні, які і є основною складовою криптовалютного світу. Найбільш відомими монетами є Bitcoin та Ethereum. Найчастіше монети створюються розробниками з нуля, разом із монетою може створюватися окремий блокчейн. Також одним із способів створення нової монети є зміна коду, оптимізація та впровадження нових функцій у код наявного блокчейну. Такий вид монет називають форками від англійського слова fork.

Залежно від призначення та характеристик коїни можна розділити на наступні види:

- для платежів та зберігання;
- для смарт-контрактів;
- з фокусом на конфіденційність;
- біржові.

Розглянемо найбільш відомі монети, якими є Bitcoin та Ethereum.

Для платежів і зберігання основною монетою являється Bitcoin. Це перша та найбільш відома криптовалюта у світі, використовується як цифровий аналог фіатних валют для платежів або зберігання.

Для смарт-контрактів сучаснішою та популярною монетою є Ethereum [22], на базі його блокчейну завдяки смарт-контрактам створюються децентралізовані застосунки, що робить цей блокчейн передовим у цій області.

Монети в блокчейні мають широкий спектр застосувань, які виходять далеко за межі простих фінансових транзакцій [23]. Вони можуть служити засобом обміну, збереження вартості, оплатою комісій, стейкінгом, управлінням, забезпеченням стабільності, наданням ліквідності, кредитуванням та позиками, а також токенизацією активів. Цей багатофункціональний підхід робить криптовалюти ключовими елементами у розвитку децентралізованих економік і технологій.

Токени – це цифрові активи, які були створені на базі вже існуючого блокчейну. Вони працюють у екосистемі іншої монети і, зазвичай прив’язані до якогось проєкту або платформи.

Види токенів:

- токени активів (asset tokens);
- служебні токени (utility tokens);
- токени безпеки (security tokens);
- стейблкоїни.

Токени безпеки діють як цифровий аналог традиційних фінансових інструментів, таких як акції та облігації. Вони являють собою інвестиції, зроблені в проєкт або компанію в надії на отримання прибутку і тому

підлягають регулюванню фінансовими органами. Ці типи tokenів є можливістю для залучення капіталу за допомогою tokenізованих пропозицій цінних паперів.

Токени активів є, по суті, реальним активами, таких як нерухомість або товари. Вони пропонують високу ліквідність та доступність і можуть використовуватися для придбання з ціллю інвестування або торгівлі на криптовалютних ринках.

Стейблкоїни – монети, які умовно прив’язані до ціни іншого реального фіатного активу у співвідношенні один к одному. Популярнішим прикладом такого типу монет є USDT, це token, який прив’язаний до державної валюти Сполучених штатів Америки. Один token USDT є фактично одним доларом США, але у цифровому форматі. Інвестори та трейдери використовують такі типи tokenів для торгівлі та диверсифікації свого капіталу, оскільки активи, завдяки своїм співвідношенням до реальних фіатних коштів, є захищеними від коливань ринку та їх ціни.

В контексті криптовалют, терміни «токени» (tokens) і «монети» (coins) мають різні значення та функції.

Монети та токени є важливими елементами криптовалютної екосистеми, але вони відрізняються за своєю інфраструктурою, функціональністю та призначенням (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Порівняння tokenів і монет

Параметр	Токени (Tokens)	Монети (Coins)
1	2	3
Блокчейн	Працює на базі існуючого блокчейну	Працює на своєму блокчейні
Використання	Можуть виконувати різноманітні функції в межах конкретних платформ та застосунків	Як засіб збереження вартості або обміну

Продовження таблиці 2.2

1	2	3
Функції	Представляють активи чи права (наприклад, токени безпеки або utility токени), можуть надавати доступ до певних послуг або продуктів у межах конкретної платформи чи екосистеми, використовуються в децентралізованих застосунках (Dapps) та смарт-контрактах для різних цілей, таких як голосування, стимулювання або як валюта в іграх	Використовуються як цифрові гроші або засіб збереження вартості, застосовуються для сплати транзакційних комісій в межах їхнього блокчейну, виконують функції обміну між користувачами
Призначення	Створюється проєктами у рамках блокчейну та призначений для різних функцій усередині цієї платформи	Незалежна цифрова валюта, призначена в основному для здійснення транзакцій, нагород для майнерів або валідаторів та зберігання вартості.
Створення	Створюються проєктом. Не здобуваються.	Нові монети вводяться в обіг як нагороди для майнерів чи валідаторів мережі.
Приклади	Chainlink (LINK), Uniswap (UNI), Tether (USDT)	Bitcoin (BTC), Ether (ETH), Litecoin (LTC)

2.3 Сучасні технології клієнтської частини

Next.js – це популярний фреймворк [24] React для розробки вебзастосунків. Він надає зручні можливості для створення універсальних React-застосунків, які можуть працювати як на стороні клієнта, так і на стороні сервера. Next.js надає багато корисних функцій, таких як рендеринг на стороні сервера (SSR), статичне побудова, маршрутизація, API маршрути, інтеграція зі статичними генераторами, зручність роботи з метаданими та багато іншого [25]. Його популярність визначається зручним використанням, великою кількістю інструментів та широкою спільнотою розробників.

Основні характеристики Next.js:

- серверний рендеринг (SSR): Next.js підтримує рендеринг на сервері, що дозволяє створювати сторінки, які рендеряться на сервері та потім відправляються на клієнт, це покращує SEO та швидкість завантаження сторінок;
- статичний рендеринг (SSG): Next.js дозволяє попередньо рендерити сторінки під час побудови (build time), що робить їх статичними та дуже швидкими, що є особливо корисним для контентних сайтів і блогів;
- API Routes: Next.js надає можливість створення API маршрутів (API Routes), що дозволяє створювати серверні функції прямо в застосунку Next.js без необхідності налаштовувати окремий сервер;
- автоматичне розділення коду: Next.js автоматично розділяє код застосунка на окремі частини (chunks), що дозволяє завантажувати тільки ті частини коду, які потрібні для конкретної сторінки;
- підтримка CSS та інших стилів: Next.js підтримує використання CSS, SASS, CSS-in-JS, Styled Components та інших методів для стилізації компонентів;
- Hot Reloading: під час розробки Next.js підтримує гаряче перезавантаження (hot reloading), що дозволяє миттєво бачити зміни без повного перезавантаження сторінки;

- оптимізація зображень: вбудована оптимізація зображень через компонент Image, що дозволяє автоматично оптимізувати розміри та якість зображень;
- інтернаціоналізація (i18n), що дозволяє створювати багатомовні сайти.

Binance Smart Chain (BSC) – це блокчейн, який був запущений командою Binance з метою надання швидкої і ефективної інфраструктури для створення децентралізованих фінансових (DeFi) застосунків та інших застосунків на основі блокчейну. BSC використовує покращену версію алгоритму Proof of Stake, що дозволяє досягнути високої швидкості та ефективності транзакцій, а також зменшення комісій. Він є популярним вибором для розробників DeFi застосунків [26] через свою швидкість, низькі комісії та широкий розповсюджений багатим екосистеми.

Основні характеристики Binance Smart Chain:

- сумісність з Ethereum: BSC повністю сумісна з Ethereum Virtual Machine (EVM), що дозволяє легко переносити застосунки з Ethereum на BSC, підтримка стандартів токенів, таких як ERC-20 та ERC-721;
- консенсусний алгоритм: BSC використовує консенсусний алгоритм Proof of Staked Authority (PoSA), який поєднує елементи Proof of Stake (PoS) і Proof of Authority (PoA), який забезпечує високу продуктивність і низькі комісії за транзакції;
- двохланцюгова архітектура: BSC працює паралельно з Binance Chain, дозволяючи користувачам легко переміщати активи між обома блокчейнами, Binance Chain залишається швидким блокчейном для торгівлі, тоді як BSC підтримує складні смарт-контракти;
- висока швидкість і низькі комісії: BSC може обробляти набагато більше транзакцій за секунду (TPS) порівняно з Ethereum, комісії за транзакції значно нижчі, що робить BSC привабливою для розробників і користувачів Dapps.

Але Binance Smart Chain має й недоліки, які потрібно враховувати:

- централізація: використання PoSA означає, що мережа залежить від обмеженої кількості валідаторів, що може знижувати рівень децентралізації в порівнянні з іншими блокчейнами;

- ризики безпеки: швидке зростання популярності BSC привернуло увагу хакерів, і деякі проекти на BSC зазнали атак. Тому важливо бути обережним і перевіряти надійність проектів перед використанням.

Таким чином, Binance Smart Chain (BSC) пропонує ефективну альтернативу Ethereum з низькими комісіями і високою швидкістю транзакцій, що робить її привабливою для розробників та користувачів децентралізованих застосунків. Однак, варто враховувати можливі недоліки, такі як відносна централізація та ризики безпеки.

BSC Testnet – це тестова мережа Binance Smart Chain, яка призначена для тестування та розробки застосунків перед релізом у виробниче середовище. Вона надає розробникам можливість випробувати свої застосунки без реальних коштів, що дозволяє виявити та виправити помилки та недоліки перед випуском у реальну мережу. Використання тестової мережі допомагає забезпечити безпеку та надійність застосунків, що працюють на BSC.

Основні особливості BSC Testnet:

- безкоштовні тестові токени: розробники можуть отримати тестові токени (наприклад, BNB) безкоштовно через спеціальні крани (faucets), що дозволяє проводити тестування без фінансових витрат;

- повна функціональність: Testnet надає всю функціональність основної мережі, включаючи підтримку смарт-контрактів, інтеграцію з іншими Dapps та виконання транзакцій;

- безпека: використання Testnet дозволяє уникнути ризиків, пов'язаних з тестуванням на Mainnet, таких як втрата реальних коштів через помилки в коді.

Перевагами використання BSC Testnet є відсутність ризику втрати реальних коштів: розробники можуть експериментувати з новими функціями без фінансових ризиків; можливість відлагодження коду: використання Testnet

допомагає виявляти і виправляти помилки перед розгортанням на Mainnet; економічна ефективність: безкоштовні тестові токени дозволяють розробникам проводити тестування без додаткових витрат.

Таким чином, Binance Smart Chain Testnet є важливим інструментом для розробників, що дозволяє безпечно та економічно ефективно тестувати децентралізовані застосунки і смарт-контракти перед їх впровадженням на основну мережу. Це сприяє покращенню якості коду і загальної стабільності проєктів, які запускаються на BSC.

Solidity – це мова програмування для розробки смарт-контрактів на блокчейні Ethereum та інших блокчейнах, які підтримують віртуальну машину Ethereum. Вона є високорівневою мовою, що дозволяє розробникам створювати складні смарт-контракти з легкістю. Solidity [27] має синтаксис, схожий на JavaScript, що полегшує її вивчення та використання для розробки застосунків на блокчейні.

Синтаксис Solidity нагадує такі мови програмування, як JavaScript, C++ та Python, що робить його доступним для розробників, які знайомі з цими мовами. Основною будівельною одиницею в Solidity є контракт. Контракти містять стан (змінні) та поведінку (функції). Solidity є строго типізованою мовою, що означає, що типи даних змінних повинні бути визначені при їхньому оголошенні, підтримує множинне спадкування, що дозволяє контрактам успадковувати властивості та методи від інших контрактів.

Solidity дозволяє використовувати бібліотеки для збереження та повторного використання коду. Контракти можуть генерувати події, які можуть бути прослухані клієнтськими застосунками (Dapps) для отримання інформації про зміни стану контракту. Контракти в Solidity мають Application Binary Interface (ABI), який визначає, як викликати функції та взаємодіяти з контрактами.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1 Смарт-контракт частина

Реалізація смарт-контракту відбулась за допомогою мови програмування Solidity.

Файл смарт-контракту з назвою «RealEstate.sol» містить в собі всі функції, методи, змінні та події, які використовуються в застосунку.

Метод listProperty (рис. 3.1) відповідає за додавання нового оголошення нерухомості в змінну properties, яка зберігається в смарт-контракті. Функція приймає наступні аргументи: адресу гаманця власника, ціну, назву, категорію, картинку у вигляді посилання [28], адресу та опис нерухомості. Після чого формується новий об'єкт з даними, який записується та зберігається у блокчейн.

```
function listProperty(  
    address owner,  
    uint256 price,  
    string memory _propertyTitle,  
    string memory _category,  
    string memory _images,  
    string memory _propertyAddress,  
    string memory _description  
) external returns (uint256) {  
    uint256 productId = propertyIndex++;  
    Property storage property = properties[productId];  
  
    property.productId = productId;  
    property.owner = owner;  
    property.price = price;  
    property.propertyTitle = _propertyTitle;  
    property.category = _category;  
    property.images = _images;  
    property.propertyAddress = _propertyAddress;  
    property.description = _description;  
  
    emit PropertyListed(productId, owner, price);  
  
    return productId;  
}
```

Рисунок 3.1 – Лістинг коду методу listProperty

Метод `getAllProperties` (рис. 3.2) надає можливість отримати весь список оголошень, збережених в смарт-контракті. Дані за допомогою цього метода можуть бути отримані без реєстрації, бо функція не приймає в себе ніяких аргументів, а тільки перебирає збережені оголошення та віддає їх.

```
function getAllProperties() public view returns (Property[] memory) {
    uint256 itemCount = propertyIndex;
    uint256 currentIndex = 0;

    Property[] memory items = new Property[](itemCount);

    for (uint256 i = 0; i < itemCount; i++) {
        uint256 currentId = i + 1;

        Property storage currentItem = properties[currentId];
        items[currentIndex] = currentItem;
        currentIndex += 1;
    }

    return items;
}
```

Рисунок 3.2 – Лістинг коду методу `getAllProperties`

Кожне оголошення має свою унікальну змінну `id`, на рисунку 3.1 можна побачити лістинг коду методу `listProperty`, який і зберігає змінну в об'єкті оголошення. Метод `getProperty`, лістинг якого зображений на рисунку 3.3, приймаючи аргумент `id`, перебирає всі оголошення та повертає потрібне за вказаним аргументом.

```
function getProperty(uint256 id) external view returns (Property memory) {
    Property memory property = properties[id];
    return property;
}
```

Рисунок 3.3 – Лістинг коду методу `getProperty`

Метод під назвою `getUserProperties`, зображений на рисунку 3.4, приймає, як аргумент, адресу гаманця користувача та повертає всі оголошення, які належать користувачеві.

```
function getUserProperties(  
    address user  
) external view returns (Property[] memory) {  
    uint256 totalItemCount = propertyIndex;  
    uint256 itemCount = 0;  
    uint256 currentIndex = 0;  
  
    for (uint256 i = 0; i < totalItemCount; i++) {  
        if (properties[i + 1].owner == user) {  
            itemCount += 1;  
        }  
    }  
  
    Property[] memory items = new Property[](itemCount);  
    for (uint256 i = 0; i < totalItemCount; i++) {  
        if (properties[i + 1].owner == user) {  
            uint256 currentId = i + 1;  
            Property storage currentItem = properties[currentId];  
  
            items[currentIndex] = currentItem;  
  
            currentIndex += 1;  
        }  
    }  
  
    return items;  
}
```

Рисунок 3.4 – Лістинг коду методу `getUserProperties`

Метод `buyProperty` (рис. 3.5) дозволяє виконати транзакцію з покупки нерухомості, приймаючи два аргументи: `id`, яке є унікальним кодом оголошення та адресою покупця. Метод створює транзакцію з потрібною сумою від покупця до власника майна, одразу змінюючи власника в об'єкті нерухомості.

```

function buyProperty(uint256 id, address buyer) external payable {
    uint256 amount = msg.value;

    require(amount >= properties[id].price, "Insufficient funds");

    Property storage property = properties[id];

    (bool sent, ) = payable(property.owner).call{value: amount}("");

    if (sent) {
        property.owner = buyer;
        emit PropertySold(id, property.owner, buyer, amount);
    }
}

```

Рисунок 3.5 – Лістинг коду методу buyProperty

Для організованості, читабельності, зручного управління та використання даних у смарт-контракті використовують структури (struct). Вони є типом даних, який дозволяє групувати декілька різних типів змінних під одним іменем. Це зручний спосіб організувати дані, що логічно пов'язані між собою. На рисунку 3.6 можна побачити лістинг коду структури Property, що уявляє собою об'єкт нерухомості.

Після визначення структури можна створювати змінні цього типу та використовувати їх у смарт-контракті. Структури надають гнучкість та зручність при роботі з даними.

```

struct Property {
    uint256 productId;
    address owner;
    uint256 price;
    string propertyTitle;
    string category;
    string images;
    string propertyAddress;
    string description;
}

mapping(uint256 => Property) private properties;

```

Рисунок 3.6 – Лістинг коду структури Property

3.2 Клієнтська частина

Клієнтська частина була розроблена за допомогою Next.js. Для підключення смарт-контракту, який є ключовою логікою застосунку, була використана спеціальна бібліотека Wagmi. Застосунок повинен підтримувати підключення гаманців, дозволяти робити унікальний підпис користувача, відправляти транзакції, прослуховувати події і зміни стану, оновлювати застарілі дані блокчейну та записувати нові. Бібліотека є вирішенням специфічних задач для конкретних застосунків та забезпечення бездоганного користувацького досвіду.

Екосистема блокчейну кожного дня розвивається, з'являються нові гаманці, сіті, протоколи та багато іншого. Бібліотека дозволяє розробникам застосунків зосередитися на створенні якісного і продуктивного застосунку, об'єднуючи в себе всі необхідні функції для взаємодії з блокчейном.

При переході в застосунок першим, що побачить користувач – це початкову інформацію, зображеної на рисунку 3.7, і кнопку «Connect Wallet» у «шапці» застосунку, за допомогою якої він може зареєструватися, підключивши гаманець.

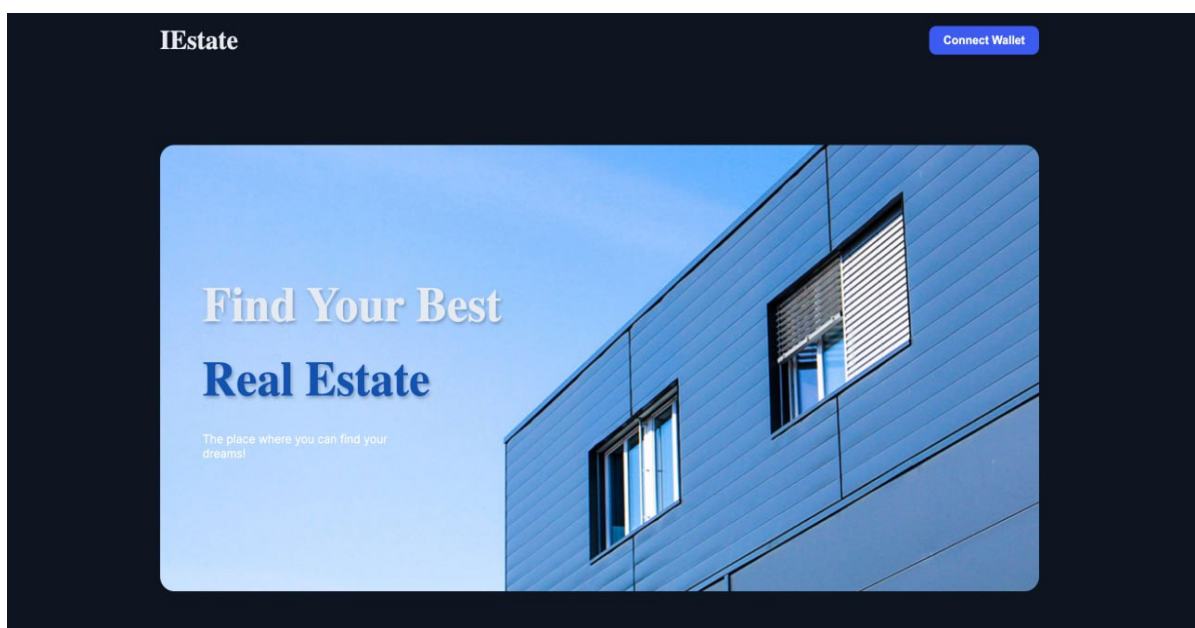


Рисунок 3.7 – Головна сторінка

Користувач, якщо він не аутентифікований у застосунку, може побачити список оголошень, зображених на рисунку 3.8. Кожне оголошення містить в собі інформацію про нерухомість, яку воно відображає. А точніше – назву, адресу, короткий опис, ціну. Оголошення мають кнопку «View», за допомогою якої користувач може перейти до детального опису нерухомості, що представлена в оголошенні.

У web3 застосунках під час здійснення криптовалютних транзакцій, як і в традиційних фінансових методах, теж стягуються комісії, які отримує використовуваний блокчейн. У випадку з блокчейном Ethereum стягується комісія за газ. Що таке газ у вигляді комісій та чи повинен користувач платити за кожну взаємодію з блокчейном?

Газ – це одиниця виміру обчислювальних зусиль, необхідних для виконання транзакції. Кожна операція в мережі Ethereum, наприклад, додавання двох чисел або виклик функції смарт-контракту, має певну вартість в газі. Тобто чим складніша операція – тим більше газу доведеться заплатити користувачеві будь-якого застосунку зробленого на основі технології Ethereum. Якщо операція потребує тільки читання даних з блокчейну, то комісія не сплачується, бо це не рахується транзакцією.

Ліміт газу – це максимальна кількість газу, яку користувач готовий витратити на виконання певної транзакції. Якщо транзакція вимагає більше газу, ніж вказано в ліміті, вона не буде виконана і все спожите до цього газ не буде повернуто.

Майнер отримує нагороду у вигляді зборів за газ, що сплачує користувач, який ініціює транзакцію. Це стимулює майнерів включати транзакції з вищими цінами на газ у блоки, які вони обробляють, збільшуючи їхні доходи.

Код першої сторінки містить в собі два компоненти: Hero та Categories. Другий компонент уявляє собою список усіх оголошень (рис. 3.8) нерухомості, які є в застосунку. Для отримання цих даних зі смарт-контракту компонент використовує хук `useReadContract` бібліотеки Wagmi. Цей хук

створений тільки для читання смарт-контракту та не може вносити жодних змін, і цей метод не є транзакцією та, отже, комісійні, а точніше плата за газ, не стягується.

Функція приймає аргументи такі як `abi`, що є ключем від байткоду смарт-контракту, його адресу та назву функції, яка повинна бути викликана. В цьому випадку на основній сторінці нашого застосунку ми викликаємо метод `getAllProperties`. Функція повертає дві змінні: `isLoading` – змінна, яка символізує в якому статусі знаходиться запит, та `data`, яка є результатом виконання методу у вигляді даних.

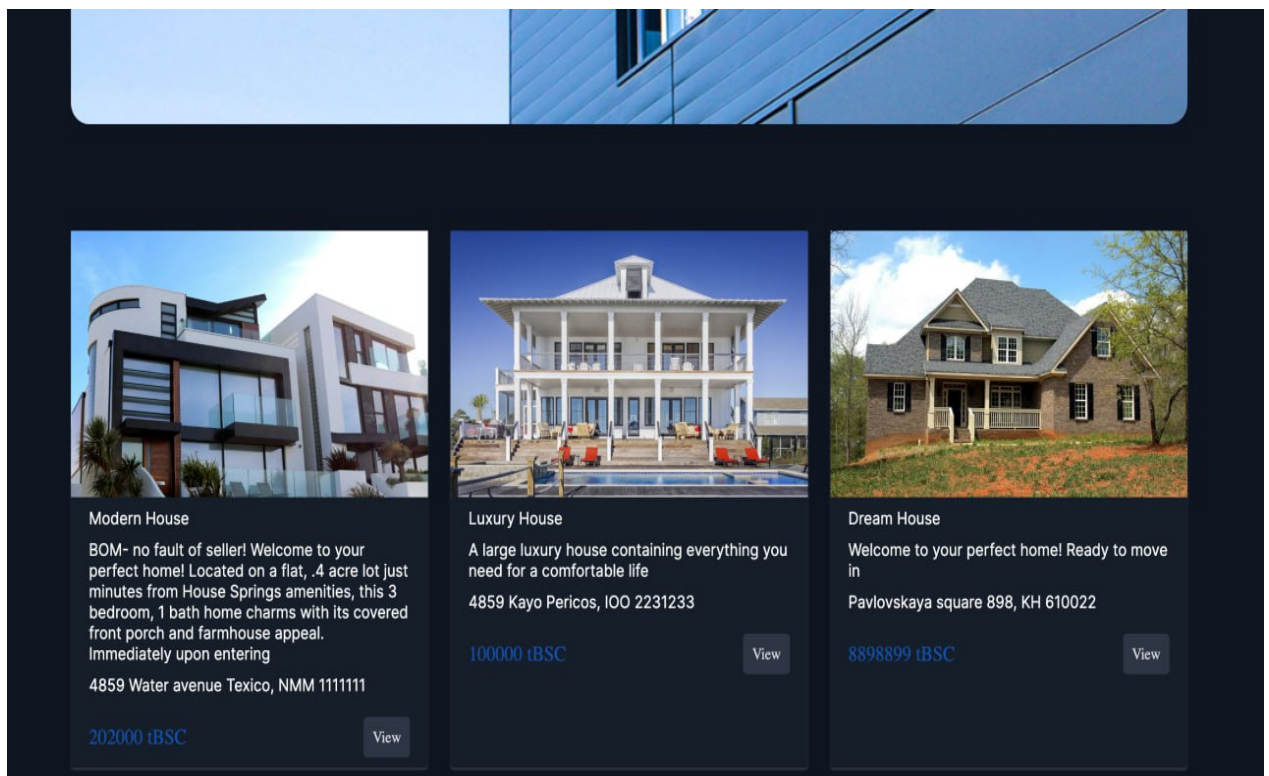


Рисунок 3.8 – Список оголошень головної сторінки

Сторінка оголошення, зображена на рисунку 3.9, містить в собі більш розширений опис нерухомості, яку вона представляє. Користувач може побачити детальний опис, адресу, ціну, категорію, а також власника цієї нерухомості.

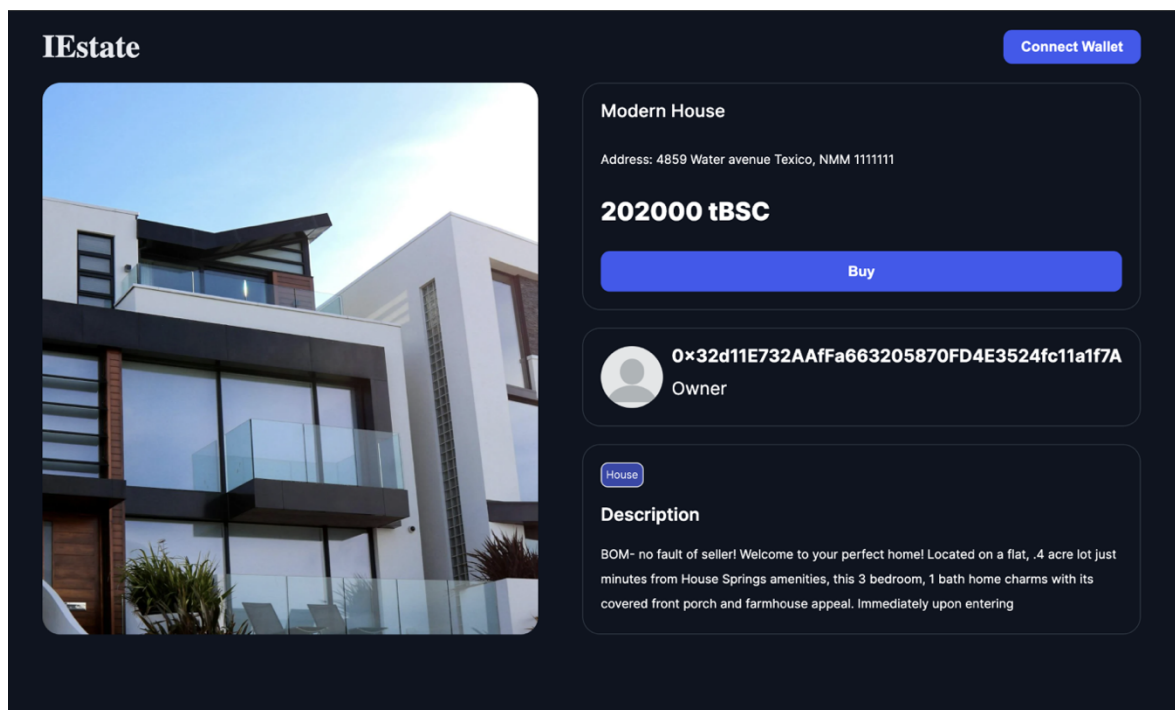


Рисунок 3.9 – Сторінка оголошення

Основною складовою окремої сторінки оголошення являється компонент `Product`. Тут також використовується метод `useReadContract`, за допомогою якого можна отримати дані про окреме оголошення, передавши його `id`, як аргумент, та назву функції `getProperty`.

Кожна окрема сторінка оголошення має в URL-адресі свій унікальний ключ, за допомогою якого можна отримати дані про окреме оголошення, використовуючи функцію `getProperty`.

Сторінка оголошення також доступна для всіх користувачів, навіть якщо користувач не приєднав ще гаманець, тобто не увійшли в застосунок під своїм записом. На сторінці є кнопка “Buy”, яка не є доступною для тих користувачів хто ще не приєднав гаманець, бо без цього не вдасться виконати транзакцію для купівлі нерухомості.

Кожен користувач, відкривши модальне вікно (рис. 3.10), може зареєструватися в застосунку, підключивши будь-який гаманець, який він побачить у модальному вікні.

Криптогаманець Metamask, який підтримує зберігання, переводу криптовалют та NFT, випущених в Ethereum або сумісних йому модулях. Найбільш популярною перевагою MetaMask є розширення для браузера: завдяки цьому гаманець взаємодіє зі смарт-контрактами децентралізованих програм на рівні вебзастосунків.

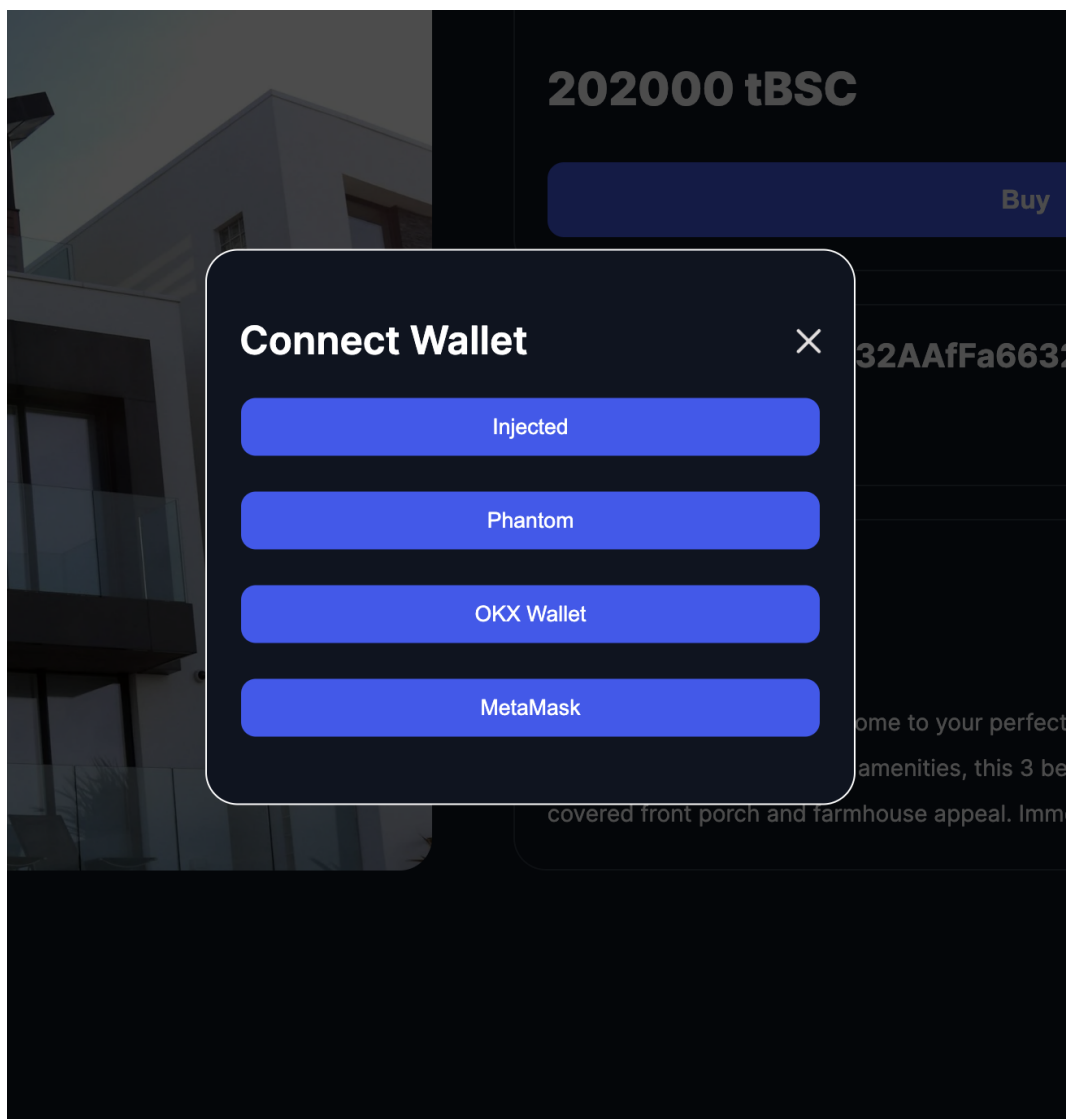


Рисунок 3.10 – Модальне вікно «Connect Wallet»

На рисунку 3.11 зображене підключення гаманця Metamask. Користувач має змогу вибрати один зі своїх акаунтів, який він хоче підключити до застосунку. Якщо користувач не хоче реєструватися, він завжди може відмінити це за допомогою кнопки «Cancel».

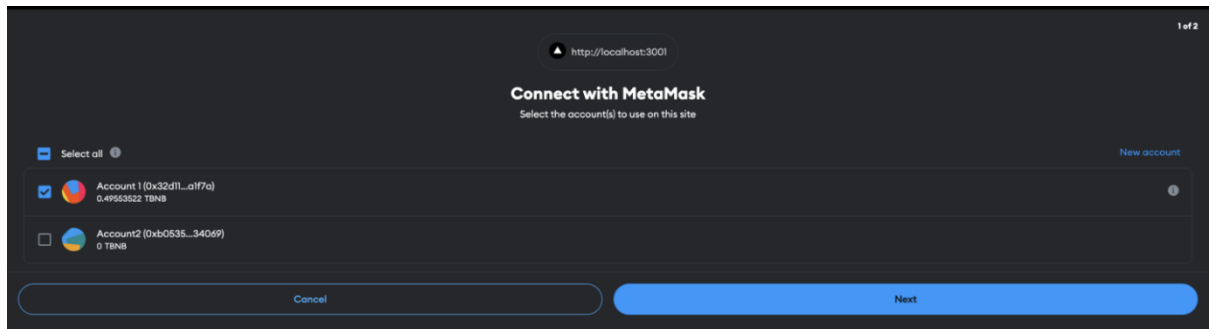


Рисунок 3.11 – Підключення гаманцю Metamask

Підключення гаманців в різних розширеннях дуже схоже між собою (рис. 3.12, 3.13).

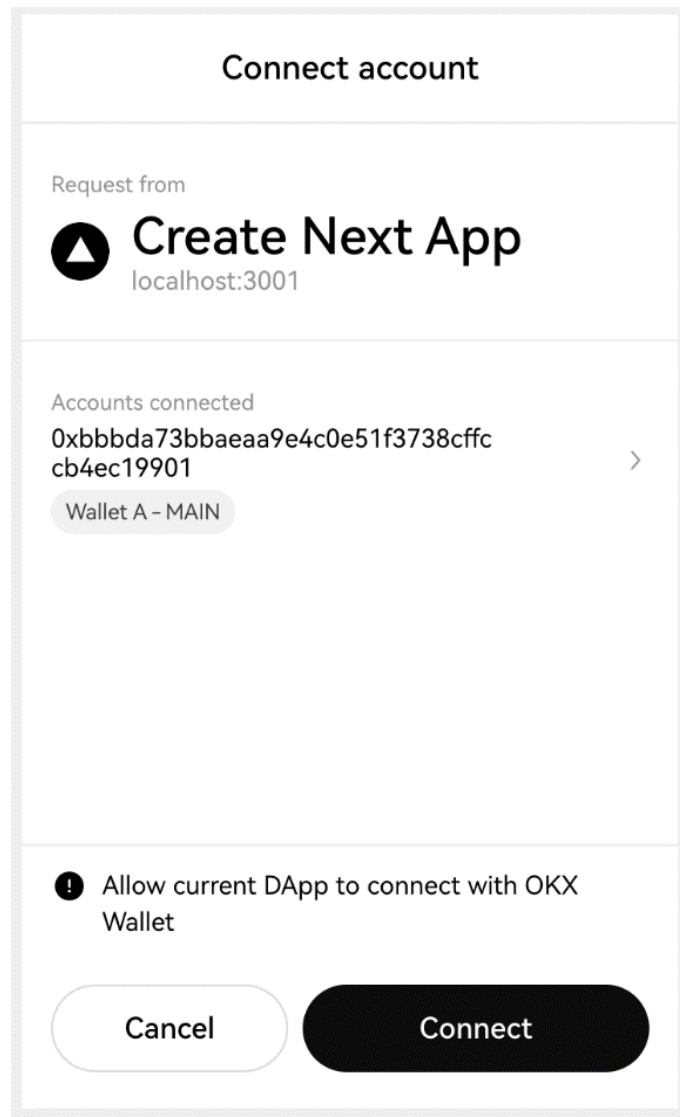


Рисунок 3.12 – Підключення гаманця OKX Wallet

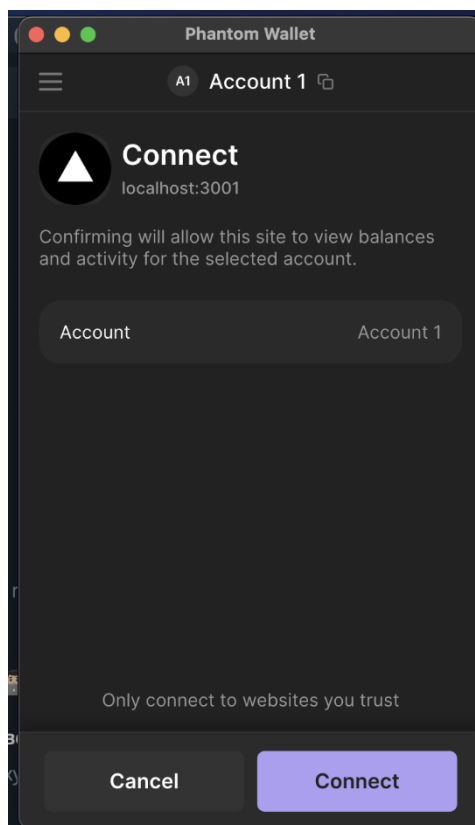


Рисунок 3.13 – Підключення гаманця Phantom

Гаманці за логікою дуже схожі, але відрізняються між собою підтримуваними блокчейнами та можливістю управління активами та взаємодії з різними застосунками.

Гаманці для криптовалют мають спільні базові функції, такі як зберігання приватних ключів, проведення транзакцій та перевірка балансу. Однак, вони можуть відрізнятися між собою за кількома важливими параметрами:

- різні гаманці підтримують різні блокчейни, наприклад, одні гаманці можуть бути призначені виключно для Bitcoin, інші підтримують Ethereum та токени ERC-20, а треті працюють з безліччю блокчейнів одночасно;
- за можливостями управління активами: деякі гаманці підтримують лише зберігання та відправку основних криптовалют, тоді як інші дозволяють користувачам взаємодіяти з децентралізованими застосунками (Dapps), здійснювати стейкінг, брати участь у голосуванні та інших активностях.

Типи гаманців:

- хардварні гаманці: фізичні пристрої, які забезпечують високий рівень безпеки. Вони зберігають приватні ключі офлайн і підключаються до комп'ютера лише для підписання транзакцій. Приклади: Ledger, Trezor;

- програмні гаманці: програми, які можуть бути встановлені на комп'ютери або мобільні пристрої. Вони можуть бути гарячими (постійно підключеними до інтернету) або холодними (відключеними від інтернету після ініціалізації). Приклади: Exodus, Atomic Wallet;

- вебгаманці: доступні через веббраузери та зберігаються онлайн. Вони надають зручний доступ з будь-якого пристрою, але менш безпечні через потенційні загрози хакерів. Приклади: MetaMask, MyEtherWallet;

- паперові гаманці: Фізичні копії приватних і публічних ключів, зазвичай у вигляді QR-кодів. Вони безпечні від онлайн-атак, але можуть бути втрачені або пошкоджені фізично.

Деякі гаманці мають вбудовані функції для взаємодії з децентралізованими застосунками. Наприклад, MetaMask дозволяє користувачам підключатися до Dapps безпосередньо з браузера, забезпечуючи доступ до DeFi-сервісів, NFT-платформ та інших застосунків на блокчейні Ethereum.

Гаманці з підтримкою мультипідписів (multisig) дозволяють встановлювати додаткові рівні безпеки, де для підтвердження транзакції потрібно кілька підписів. Це особливо корисно для корпоративних рахунків або спільних гаманців.

Вибір гаманця залежить від потреб користувача: для зберігання великих сум рекомендуються хардварні гаманці через їхню високу безпеку, для активної торгівлі і взаємодії з Dapps підходять вебгаманці з підтримкою інтеграції з застосунками, для зберігання багатьох видів активів найчастіше використовуються програмні гаманці з підтримкою мультиактивів.

Таким чином, вибір криптовалютного гаманця залежить від конкретних потреб, рівня необхідної безпеки та зручності використання.

Користувач, який під'єднав гаманець на першій сторінці, може побачити адресу свого гаманця (рис. 3.14). Натиснувши на свій акаунт, застосунок направляє користувача на сторінку профіля (рис. 3.15).

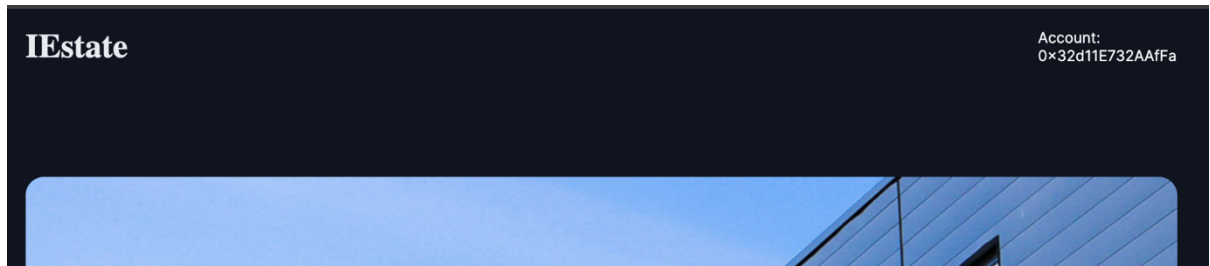


Рисунок 3.14 – Вигляд першої сторінки після успішної реєстрації

Користувач на сторінці профіля (рис. 3.15) має можливість побачити всі свої оголошення, адресу та кнопку «Add», яка дає можливість перейти на сторінку створення оголошення (рис. 3.16). Щоб отримати дані про оголошення юзера була використана функція `getUserProperties` зі смарт-контракту.

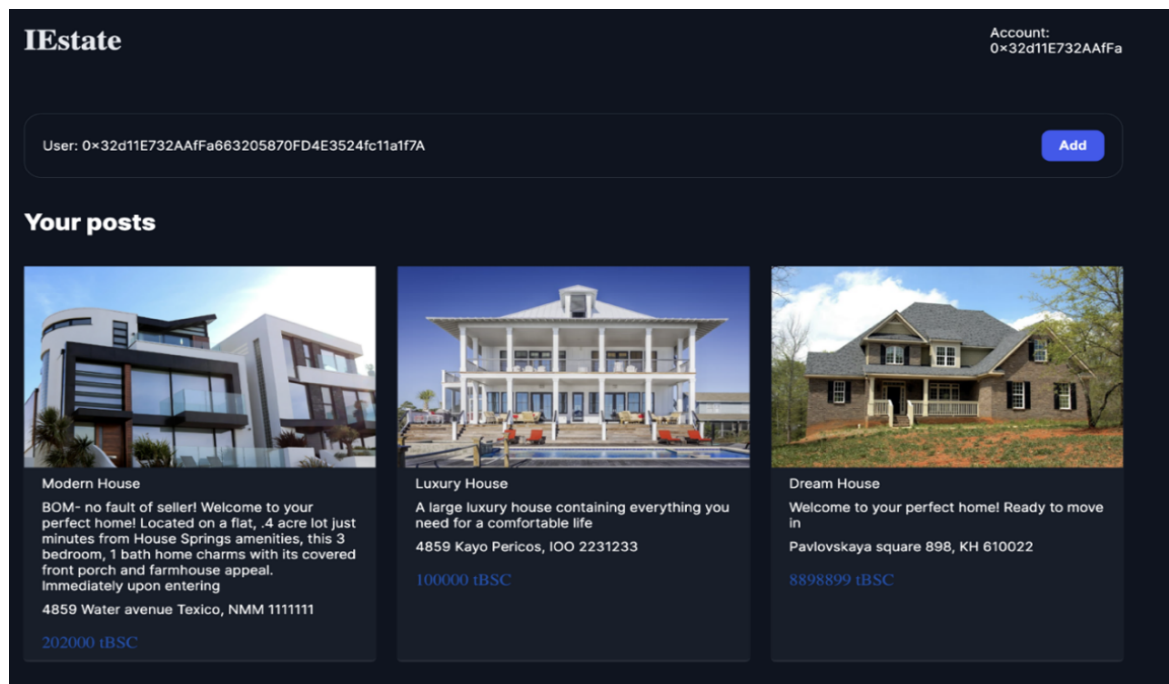


Рисунок 3.15 – Сторінка профіля

На прикладі попередніх сторінок, на сторінці профіля використовується хук `useReadContract`, де в коді вказана функція `getUserProperties`. Щоб отримати дані за допомогою цих методів, треба передати адресу гаманця користувача.

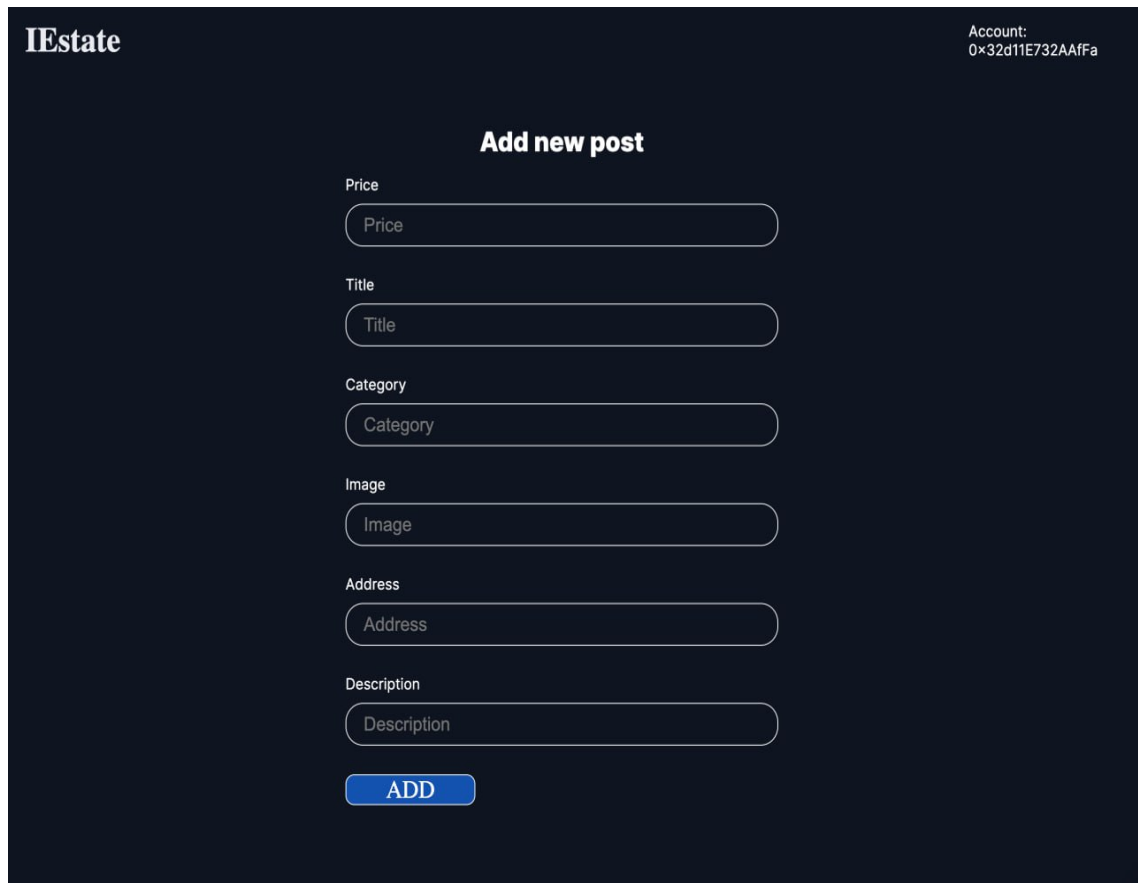
The image shows a dark-themed user interface for a real estate application. At the top left is the logo 'IEstate'. At the top right, it says 'Account: 0x32d11E732AAfFa'. The main heading is 'Add new post'. Below this, there are several input fields, each with a label and a placeholder: 'Price' (placeholder: 'Price'), 'Title' (placeholder: 'Title'), 'Category' (placeholder: 'Category'), 'Image' (placeholder: 'Image'), 'Address' (placeholder: 'Address'), and 'Description' (placeholder: 'Description'). At the bottom of the form is a blue button labeled 'ADD'.

Рисунок 3.16 – Сторінка створення оголошення

Сторінка створення оголошення уявляє собою форму, де користувач може створити оголошення на сторінці «Add», додавши у форму дані про своє майно. В коді реалізація створення оголошення виповнена за допомогою хука бібліотеки Wagmi. Ця функція створена для запису даних у смарт-контракт. Метод `writeContract`, як аргументи, приймає в себе всі змінні з об'єкту оголошення, які представлені на сторінці. Для того, щоб відправити дані за допомогою методу смарт-контракта, користувач повинен натиснути кнопку після того, як ввів усі данні нерухомості (рис. 3.17).

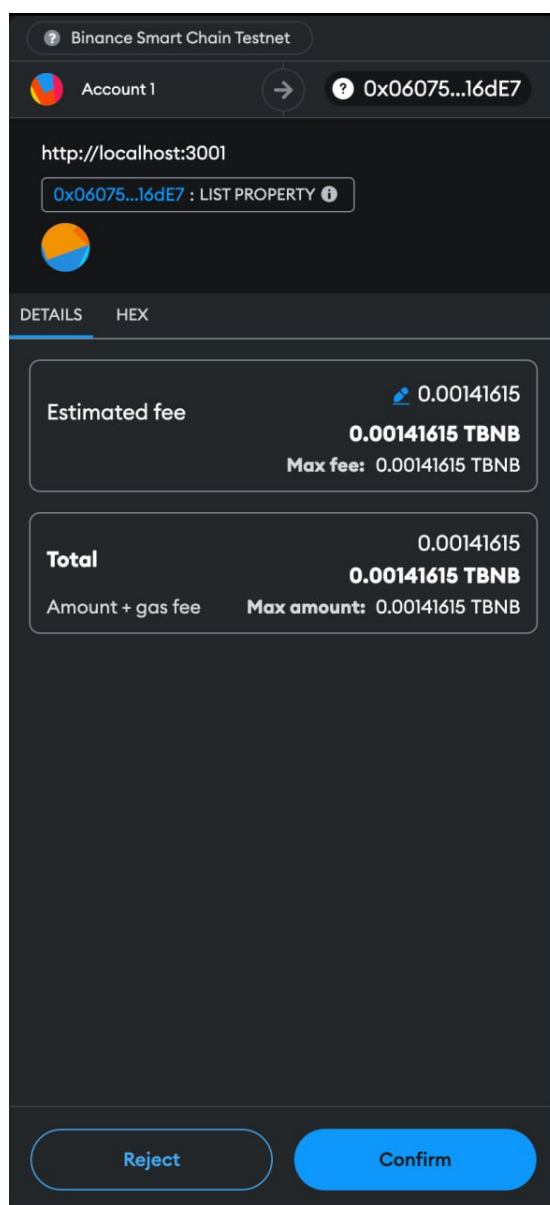


Рисунок 3.17 – Розширення Metamask при створенні оголошення

При кожному запису в смарт-контракт користувачеві потрібно заплатити комісію за газ. Для цього під час створення транзакції застосунок гаманця питає у користувача, чи хоче він заплатити комісію для створення.

Після того, як клієнт прибав нерухомість, провівши транзакцію, вона буде доступна у нього в профілі як підтвердження його власності (рис. 3.18) [29]. Смарт-контракт автоматично обробляє методи та події [30], наприклад, транзакція з купівлі майна і автоматично проводиться заміна власника після успішної транзакції.

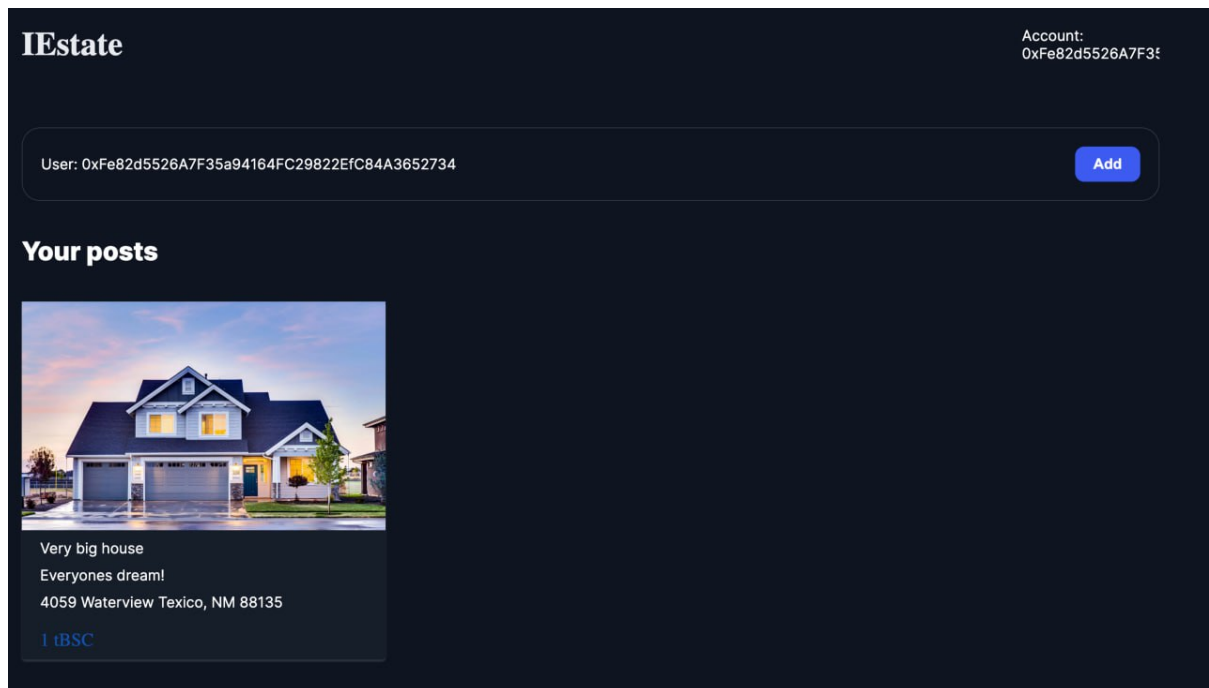


Рисунок 3.18 – Сторінка профілю клієнта з придбаною нерухомістю

ВИСНОВКИ

У рамках кваліфікаційної роботи був розроблений і реалізований вебзастосунок для купівлі та продажу нерухомості.

В ході роботи було досліджено технологію блокчейн та основні поняття сфери нерухомості. Результатом кваліфікаційної роботи є вебзастосунок, що використовує сучасні методи технології блокчейн із залученням сучасних рішень сфери нерухомості для розробки сайту продажу та купівлі нерухомості з використанням блокчейн технології.

В ході виконання кваліфікаційної роботи було отримано наступні результати:

- проведено аналіз проблематики сфери нерухомості;
- проведено аналіз сучасних рішень сфери нерухомості;
- досліджено технологію блокчейн;
- розроблено вебзастосунок для продажу та купівлі нерухомості з використанням блокчейн технології.

В ході розробки залучено наступний стек технологій: NextJS, Solidity, BSC, Wagmi. Розроблювана програмна система призначена для використання в Україні та за кордоном.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ling, D. C., & Archer, W. R. (2018). Real estate principles: A value approach. McGraw-Hill.
2. Гресь, Ю., Самойленко, О., & Торбас, О. (2023). РИНОК НЕРУХОМОСТІ ЯК СФЕРА ІНТЕРЕСУ ЗЛОЧИННОСТІ В УКРАЇНІ. Наукові перспективи (Naukovì perspektivi), (11 (41)).
3. Science and innovation of modern world. Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. London, United Kingdom. 2022. Pp. 233-237. URL: <https://sci-conf.com.ua/ii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-science-and-innovation-of-modern-world-26-28-10-2022-london-velikobritaniya-arhiv/> (дата звернення 09.05.2024).
4. Modern research in world science. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. SPC “Sci-conf.com.ua”. Lviv, Ukraine. 2022. Pp. 393-400. URL: <https://sci-conf.com.ua/viii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-modern-research-in-world-science-29-31-10-2022-lviv-ukrayina-arhiv/> (дата звернення 09.05.2024).
5. V.Baranova, H.Kots, D.Rudenko, V.Lyashenko. (2022) Phase Portrait Models as a Tool for Analyzing Banking Activities.
6. Руденко, Д. О. (2017). Метод семантичної інтеграції локально незалежних даних.
7. Zheng, Z., Xie, S., Dai, H. N., Chen, X., & Wang, H. (2018). Blockchain challenges and opportunities: A survey. International journal of web and grid services.
8. Rudenko D., Serhiienko O., Zeleniy O., Lyashenko V. (2022) Model for Predictive Analysis of International Trade Based on the Dynamics of Stock Indices. International Journal of Academic and Applied Research (IJAAR). – 2022. – Vol. 6(4). – pp. 337-344.

9. Некіт, К. Г. (2020). Переваги та недоліки смарт-контрактів як підстав виникнення права власності.
10. Freni, P., Ferro, E., & Moncada, R. (2020). Tokenization and Blockchain Tokens Classification: a morphological framework. In 2020 IEEE symposium on computers and communications (ISCC) (pp. 1-6).
11. Андрєєва, А. Ю., & Руденко, Д. О. (2022, October). ЯК БЛОКЧЕЙН ТОКЕНІЗАЦІЯ ЗМІНЮЄ СВІТ. In The 2 nd International scientific and practical conference “Science and innovation of modern world”.
12. Gupta, A., Rathod, J., Patel, D., Bothra, J., Shanbhag, S., & Bhalerao, T. (2020). Tokenization of real estate using blockchain technology. In Applied Cryptography and Network Security Workshops: ACNS 2020 Satellite Workshops, aiblock, AIHWS, aiots, Cloud S&P, SCI, secmt, and simla, Rome, Italy, October 19–22, 2020, Proceedings 18 (pp. 77-90).
13. Руденко Д.О., Бондар В.О. (2020). Огляд можливостей використання стратегій об’єктно-орієнтованого маппінгу для зіставлення сутностей при розробці web застосунків.
14. В.А. Радченко, Д.А. Руденко, В.Н. Ткачев, В.В. Токарев (2017) Мобильная подсистема «Мультикоптер – сенсорная сеть» в компьютерной системе хранения Big Data.
15. Oliva, G. A., Hassan, A. E., & Jiang, Z. M. (2020). An exploratory study of smart contracts in the Ethereum blockchain platform. Empirical Software Engineering, 25, 1864-1904.
16. Руденко Д.О. (2014) Управління інтегрованою системою на основі моделі поведінки автоматів.
17. Руденко Д. О., Кухарчук В. А. (2022) Сучасні напрямки застосування методів супер роздільності зображення.
18. V. Lyashenko, D. Rudenko, (2021) Modeling Deformation of Spur Gear. International Journal of Recent Technology and Applied Science, vol. 3, no. 2, pp. 81-91, Sep. 2021.

19. Горелов Ю.П., Руденко Д.О. (2017) Системи виявлення вторгнень на основі правил.
20. В.О. Гороховатський, Д.О. Руденко, Т.О. Сірик. (2019) Дослідження системи ієрархічних ознак при блочному поданні опису у складі множини ключових точок зображення.
21. Gorokhovatskyi V., Tvoroshenko I., Yakovleva O., Hudáková M., and Gorokhovatskyi O. (2024) Application a committee of Kohonen neural networks to training of image classifier based on description of descriptors set, IEEE Access, vol. 12, pp. 73376-73385.
22. Samreen, N. F., & Alalfi, M. H. (2021). A survey of security vulnerabilities in ethereum smart contracts.
23. Luque, S., Rivera, V., & Huarcaya, N. (2023, November). Cryptocurrency Payment System Model for B2C E-Commerce Platforms Using Blockchain Technology (ICECET) (pp. 1-6). IEEE.
24. Gizas, A., Christodoulou, S., & Papatheodorou, T. (2012). Comparative evaluation of javascript frameworks. In Proceedings of the 21st International Conference on World Wide Web (pp. 513-514).
25. Руденко Д.О., Танянський О.С. (2021) Принципи передобробки даних для машинного навчання.
26. Harvey, C. R., Ramachandran, A., & Santoro, J. (2021). DeFi and the Future of Finance. John Wiley & Sons.
27. Solorio, K., Kanna, R., & Hoover, D. H. (2019). Hands-on smart contract development with Solidity and Ethereum: From fundamentals to deployment. O'Reilly Media.
28. Pexels – free stock photos service. URL: <https://www.pexels.com/> (дата звернення 27.04.2024).
29. Zeleniy O., Rudenko D., Lyubchenko V., Lyashenko V. (2022) Image Processing as an Analysis Tool in Medical Research.
30. Руденко Д.О., Постніков А.В. (2021) Аналіз загальної класифікації та структури в event-індустрії.