

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин  
(повна назва)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Метод розробки децентралізованих автономних  
організацій у корпоративному управлінні

(тема)

Виконав:

здобувач 2 року навчання,  
групи СПм-23-5

Нікіта ХРОМОВ

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системне програмування

(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Віталій ТКАЧОВ

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Завідувач кафедри ЕОМ

(підпис)

Андрій КОВАЛЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ комп'ютерної інженерії та управління \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ електронних обчислювальних машин \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 «Комп'ютерна інженерія» \_\_\_\_\_  
(код і повна назва)

Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-наукова \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Системне програмування \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

здобувачеві \_\_\_\_\_ Хромову Нікіті Олексійовичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод розробки децентралізованих автономних організацій у корпоративному управлінні

затверджена наказом по університету від “ 21 ” квітня 2025 р. № 296Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 16 червня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи 1) децентралізовані мережі: види, компоненти, технології;

2) блокчейн: технології, методи, архітектура; 3) смарт-контракти;

4) експериментальне тестування; 5) методи оцінки функціональності та ефективності

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі \_\_\_\_\_

1) огляд децентралізованих автономних організацій;

2) вибір та обґрунтування методики та засобів дослідження;

3) програмна реалізація моделі вебзастосунку на основі моделі управління ДАО;

4) проведення експериментальних досліджень;

5) висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій \_\_\_\_\_

Слайд-презентація – 9 слайдів \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється 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

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд систем моніторингу корпоративних комп'ютерних мереж	22.04.25-29.04.25	
2	Вибір та обґрунтування методики дослідження	30.04.25-05.05.25	
3	Вибір інструментальних засобів	06.05.25-09.05.25	
4	Розробка моделі системи моніторингу	10.05.25-21.05.25	
5	Проведення експериментів	22.05.25-02.06.25	
6	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	03.06.25-07.06.25	
7	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	08.06.25-10.06.25	

Дата видачі завдання “ 21 ” квітня 2025 р.

Здобувач

  
(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

доц. Віталій ТКАЧОВ

(посада, власне ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 72 с., 24 рис., 3 табл., 4 дод., 31 джерело.

### ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНІ АВТОНОМНІ ОРГАНІЗАЦІЇ, МЕНЕДЖМЕНТ, БЛОКЧЕЙН, РОЗУМНІ КОНТРАКТИ, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз технологій і методів впровадження децентралізованих автономних організацій у систему корпоративного управління з метою підвищення прозорості, ефективності та стійкості управлінських процесів на основі використання блокчейн-архітектур, смарт-контрактів і цифрових токенів.

Для забезпечення ефективного децентралізованого прийняття рішень особлива увага приділяється дослідженню механізмів автоматизації на основі смарт-контрактів, формуванню економіки участі за допомогою електронних токенів та досягненню надійного консенсусу в середовищах без централізованих структур управління.

Результати тестування веб-додатку на основі DAO, розгорнутого в екосистемі блокчейну CoreChain, демонструють життєздатність децентралізованих організаційних форм як основи для прозорих та стійких цифрових спільнот.

## ABSTRACT

Master`s thesis: 72 pages, 24 figures, 3 tables, 4 appendices, 31 sources.

DECENTRALIZED AUTONOMOUS ORGANIZATIONS,  
MANAGEMENT, BLOCKCHAIN, SMART CONTRACTS, DECISION-  
MAKING.

The major goal of this thesis is to analyze the technologies and methods for implementing Decentralized Autonomous Organizations (DAOs) within corporate governance systems with the aim of enhancing transparency, efficiency, and resilience of management processes based on the use of blockchain architectures, smart contracts, and digital tokens.

In order to ensure effective decentralized decision-making, particular attention is given to the study of automation mechanisms based on smart contracts, the formation of a participation economy through electronic tokens, and the achievement of reliable consensus in environments without centralized governance structures.

The results of testing a DAO-based web application deployed within the CoreChain blockchain ecosystem demonstrate the viability of decentralized organizational forms as a foundation for transparent and resilient digital communities.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	7
ВСТУП .....	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ .....	9
1.1 Основні типи децентралізованих автономних організацій .....	9
1.2 Вразливості основних компонентів ДАО .....	13
1.3 Постановка задачі.....	18
2 ТЕХНОЛОГІЇ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ.....	19
2.1 Технологія блокчейну.....	19
2.2 Механізм автоматизації блокчейну .....	23
2.3 Механізми децентралізованого управління .....	26
3 АНАЛІЗ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ АВТОНОМНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ У КОРПОРАТИВНОМУ УПРАВЛІННІ .....	29
4 РОЗРОБКА ВЕБЗАСТОСУНКУ НА ОСНОВІ АРХІТЕКТУРИ ДАО .....	34
4.1 Розробка архітектури вебзастосунку .....	34
4.2 Тестування та оцінка ефективності реалізації вебзастосунка .....	52
ВИСНОВКИ.....	55
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	56
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	60
ДОДАТОК Б Апробація результатів кваліфікаційної роботи .....	66
ДОДАТОК В Лістинг коду файлу MasterDAOFactoryInstance.ts.....	68
ДОДАТОК Г Лістинг коду файлу DAOInstance.ts.....	70

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ДАО – децентралізована автономна організація

API – інтерфейс програмування додатків (англ., Application Programming Interface)

DeFi – децентралізовані фінанси (англ., Decentralized Finance)

DPoS – делегований доказ частки участі (англ., Delegated Proof of Stake)

ETC – ефіріум класик (англ., Ethereum Classic)

ETH – етер (англ., Ether)

GUI – графічний інтерфейс користувача (англ., Graphical User Interface)

HTTP – протокол передачі гіпертексту (англ., Hypertext Transfer Protocol)

HTTPS – безпечний протокол передачі гіпертексту (англ., Hypertext Transfer Protocol Secure)

JS – джаваскрипт (англ., JavaScript)

JSON – нотація об'єктів JavaScript (англ., JavaScript Object Notation)

JSX – розширення синтаксису JavaScript для XML (англ., JavaScript XML)

PBFT – практична візантійська стійкість до відмов (англ., Practical Byzantine Fault Tolerance)

PoS – доказ частки участі (англ., Proof of Stake)

PoW – доказ виконаної роботи (англ., Proof of Work)

RPC – віддалений виклик процедур (англ., Remote Procedure Call)

TS – тайпскрипт (англ., TypeScript)

TX – транзакція (англ., Transaction)

## ВСТУП

В сучасних умовах стрімкого розвитку цифрових технологій та глобальної цифровізації особливої актуальності набуває трансформація традиційних підходів до корпоративного управління. Зростання складності бізнес-процесів, необхідність забезпечення гнучкості, оперативності та прозорості в ухваленні управлінських рішень висувають нові вимоги до організаційних моделей, що мають забезпечити сталий розвиток підприємств та адаптивність до змін в глобальному середовищі.

Традиційні централізовані системи управління, незважаючи на багаторічну практику застосування, дедалі частіше демонструють обмежену ефективність. Це проявляється у високих адміністративних витратах, надмірній бюрократії, ризиках корупційних дій та низькому рівні прозорості.

Децентралізовані автономні організації (ДАО), що базуються на технології блокчейн та смарт-контрактах, дозволяють реалізувати принципи прозорості, відкритості та колективного прийняття рішень через механізми децентралізованого голосування, алгоритмічного контролю та програмно визначених правил. Смарт-контракти, як складова технології блокчейн, забезпечують автоматичне виконання управлінських рішень без залучення посередників, зменшують вплив людського чинника, підвищують надійність та запобігають можливості несанкціонованих втручань. Такий підхід сприяє зменшенню витрат на адміністрування, мінімізації ризиків витоку інформації та підвищенню довіри з боку зацікавлених сторін.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз механізмів впровадження децентралізованих автономних організацій у систему корпоративного управління, що забезпечує підвищення прозорості, ефективності та стійкості управлінських процесів за рахунок автоматизації, децентралізації прийняття рішень та зниження ризиків несанкціонованого доступу до даних.

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Основні типи децентралізованих автономних організацій

В сучасних умовах корпоративне управління стикається з численними викликами, пов'язаними з надмірною централізацією повноважень, непрозорістю процесу ухвалення рішень, неефективним використанням ресурсів та високими корупційними ризиками [1-3]. Традиційні організаційні моделі значною мірою залежать від людського фактору, що нерідко спричиняє затримки, конфлікти інтересів та зростання транзакційних витрат. Децентралізовані автономні організації (ДАО), що функціонують на основі блокчейн-технологій та смарт-контрактів, пропонують інноваційний підхід до автоматизованого та прозорого управління корпоративними процесами. Однією з ключових переваг ДАО є усунення посередників та централізованих структур шляхом запровадження алгоритмічних механізмів голосування та розподілу ресурсів, що надає кожному учаснику реальні можливості впливу на управлінські рішення.

ДАО забезпечують високий рівень довіри завдяки незмінності та публічності даних в блокчейні, де зберігаються всі транзакції, голосування та управлінські дії. Така модель усуває залежність від особистісного фактору та гарантує дотримання попередньо встановлених процедур, що істотно підвищує прозорість та справедливість процесів. Запровадження ДАО дозволяє уникнути проблем, пов'язаних з концентрацією влади у вузькому колі осіб, що часто є причиною хибних стратегічних рішень або корпоративних конфліктів [4].

Зростаючий інтерес до інтеграції ДАО в правові системи різних держав, зокрема США та країн Європейського Союзу, свідчить про перспективність цієї моделі у сфері реального бізнесу. Попри поточні виклики, зокрема правову невизначеність, децентралізовані механізми

управління продовжують активно розвиватися, демонструючи значний потенціал трансформації сучасного корпоративного середовища. Розробка та впровадження ДАО в систему корпоративного управління відкриває нові можливості для підвищення ефективності бізнес-процесів, посилення прозорості та забезпечення відповідності новим викликам цифрової економіки [5, 6].

ДАО вже сьогодні демонструють значні досягнення в управлінні спільнотами та активами, пропонуючи інноваційні альтернативи класичним корпоративним структурам. Протягом останніх років наукова та технологічна спільнота активно розробляє концепції децентралізованого управління, які потенційно здатні замінити централізовані моделі. Те, що спочатку здавалося простою автоматизацією на основі смарт-контрактів, еволюціонувало у складні багаторівневі екосистеми [7].

В наукових роботах підкреслюється, що ефективність ДАО значною мірою визначається системою управління, зокрема механізмами голосування, способами стимулювання учасників та рівнем довіри до інфраструктури. Значна увага приділяється пошуку таких моделей ухвалення рішень, які дозволяють досягти балансу між децентралізацією та контролем [8].

Однією з важливих проблем для ДАО залишається питання правового статусу. Більшість країн поки що не мають чітко встановленої нормативної бази для цих структур, що ускладнює їх інтеграцію в традиційну економіку. Однак окремі держави вже розглядають можливість надання ДАО офіційного визнання як юридичних осіб. На цьому тлі інвестори активно підтримують розвиток нових проєктів, вкладаючи ресурси в інноваційні блокчейн-ініціативи. Платформи, зокрема Ethereum та Solana, засвідчують, що ДАО здатні успішно функціонувати в середовищі децентралізованих фінансів, цифрового мистецтва й венчурного капіталу [9, 10]. Це підштовхує до подальших досліджень і вдосконалення моделей управління.

Однак, незважаючи на потенційні переваги, широкомасштабне впровадження ДАО стикається з низкою проблем. Серед основних перешкод

можна виділити відсутність єдиних стандартів для створення та управління такими організаціями, складність аудиту та верифікації смарт-контрактів, правову невизначеність в більшості юрисдикцій, а також необхідність адаптації традиційних бізнес-моделей до нових умов децентралізованого управління. В дослідженнях [11, 12] наголошується про необхідність детального аналізу та вивченні потенційного впливу ДАО на бізнес-процеси, розробку практичних рекомендацій для їх впровадження, а також пошук рішень, що допоможуть усунути поточні недоліки та забезпечити стабільне функціонування таких організацій.

На сьогоднішній день існує велика кількість різноманітних ДАО, кожна з яких має власну модель управління та функціональні особливості. Основним принципом ухвалення рішень в ДАО є децентралізоване голосування, що базується на тому, що будь-який учасник може запропонувати зміни або покращення для організації за підтримки більшості спільноти, вони будуть прийняті. Важливою особливістю є те, що розробники та адміністрація не можуть самотійно змінювати протокол без згоди користувачів. Вони лише додають новий код або оновлення після схвалення спільнотою. Це суттєво відрізняється від традиційних систем управління, наприклад, виборів у державних органах, де громадяни голосують за представників, які потім ухвалюють закони. У ДАО рішення приймаються безпосередньо, без делегування повноважень окремим особам чи групам [13].

Головним координатором роботи ДАО є смарт-контракти які виконують закладені алгоритми без можливості стороннього втручання [14]. Програма не може ухвалювати рішення самотійно, а лише реалізує ті дії, які затверджує спільнота. Всі операції та рішення фіксуються в блокчейні, що забезпечує прозорість та можливість аудиту для будь-якого учасника. Ще однією ключовою відмінністю ДАО є його архітектура. Традиційні компанії мають ієрархічну структуру управління, де на вищих рівнях знаходяться керівники, які ухвалюють рішення, які реалізують підлеглі. В деяких ДАО

використовується однорівнева peer-to-peer модель, де всі учасники мають рівні права та можливості. Це забезпечує більш демократичний підхід до управління та виключає концентрацію влади в руках окремих осіб чи груп.

Децентралізовані автономні організації розвиваються в різних напрямках, пропонуючи унікальні підходи до управління, фінансування та взаємодії між учасниками. За своєю функціональністю та призначенням ДАО поділяються на кілька основних типів:

- грантові, які були найпершими в світі децентралізованими організаціями. Вони функціонували як платформи для збору та розподілу фінансових ресурсів. Учасники ДАО вносили свої активи для голосування та ухвалення рішень щодо розподілу коштів. Однією з особливостей ранніх грантових ДАО було те, що управлінські токени не передавалися іншим користувачам, що забезпечувало контроль за системою лише серед первинних учасників;

- протокольні, що засновані на децентралізованих фінансових протоколах. За допомогою смарт-контрактів вони допомагають користувачам вільно обмінювати криптовалюти, а також допомагають іншим платформам запускати нові токени;

- інвестиційні, які стали першими комерційними проєктами, метою яких є отримання прибутку. Вони надають можливість приватним інвесторам об'єднуватися в колективні спільноти для здійснення спільного фінансування масштабних проєктів з високим порогом входу;

- сервісні, основу яких становлять спеціалізовані організації, що займаються пошуком та розподілом трудових ресурсів для різних криптовалютних проєктів. Вони допомагають залучати нових співробітників та розподіляти завдання між учасниками, забезпечуючи оплату в цифрових активах;

- операційні, які за своєю суттю є операційними системами на блокчейні, що дають змогу створювати ДАО та керувати ними за допомогою шаблонів та смарт-контрактів, а також запуснути власну ДАО;

- соціальні та медійні, які відокремлюють в окремий клас організацій, що з'явився у відповідь на потребу в децентралізованих спільнотах та контент-платформах. Такі ДАО можуть керувати соціальними мережами, організувати спільноти навколо певних тем або займатися виробництвом медіаконтенту на основі колективних рішень;

Таким чином, провадження ДАО відкриває широкі можливості для автоматизації управлінських процесів, створення прозорих та ефективних організацій, що працюють без централізованого контролю.

## 1.2 Вразливості основних компонентів ДАО

Одним з перших та найбільш відомих прикладів реалізації децентралізованої автономної організації став проєкт The DAO, створений у травні 2016 року на платформі Ethereum. Його мета полягала в формуванні децентралізованого венчурного фонду, який функціонував би виключно на основі смарт-контрактів без централізованого контролю. Управління здійснювалося через механізм голосування за принципом «один токен – один голос», що мало гарантувати прозорість та демократичність процесів.

Проте в червні 2016 року вразливість в коді смарт-контракту була використана для несанкціонованого виведення значної кількості токенів Ethereum з фонду [16]. Вразливість дозволяла зловмиснику багаторазово викликати функцію переказу коштів до оновлення балансу, що призвело до суттєвих втрат (рисунок 1.1).

Попри формальну відповідність діям умовам контракту, інцидент виявив фундаментальну проблему, що полягала в тому, що смарт-контракти можуть містити критичні помилки, які складно виправити після розгортання.

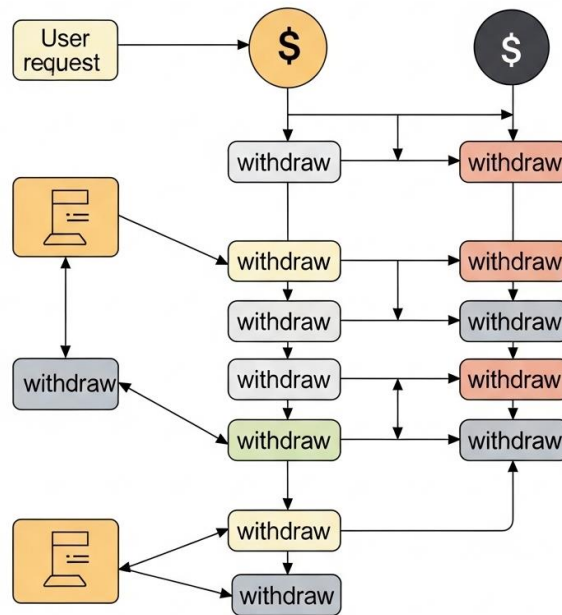


Рисунок 1.1 – Алгоритм атаки на проєкт «The DAO»

У відповідь на цю кризу спільнота Ethereum ухвалила рішення про хардфорк – зміну історії блокчейну для повернення викрадених коштів. Це рішення викликало суперечності щодо відповідності принципам децентралізації та спричинило розкол мережі на Ethereum (ETH) та Ethereum Classic (ETC). Інцидент з The DAO став переломним моментом для всієї спільноти та виявив критичну необхідність ретельного аудиту смарт-контрактів до їх впровадження, наявності механізмів реагування на непередбачувані ситуації та гнучких інструментів оновлення коду в децентралізованому середовищі.

Незважаючи на провал, проєкт The DAO значно вплинув на подальшу еволюцію систем децентралізованого управління, акцентуючи увагу на питаннях безпеки, надійності та правової природи «коду як закону».

Децентралізована автономна організація Gnosis DAO була створена на основі блокчейна Ethereum та орієнтована на розробку інструментів для прогнозування та взаємодії через смарт-контракти. Управління організацією реалізовано через голосування токенами GNO, з можливістю делегування прав голосу для підвищення ефективності прийняття рішень [17].

Однією з головних проблем Gnosis DAO є низький рівень залученості власників токенів, що полягає у пасивності більшості учасників в голосуваннях, та створює ризик централізації впливу. Для вирішення цієї проблеми впроваджено механізми стимулювання, зокрема надання голосувальної сили обраним делегатам за умови їх активності, що має на меті підвищення ефективності управління (рисунок 1.2).

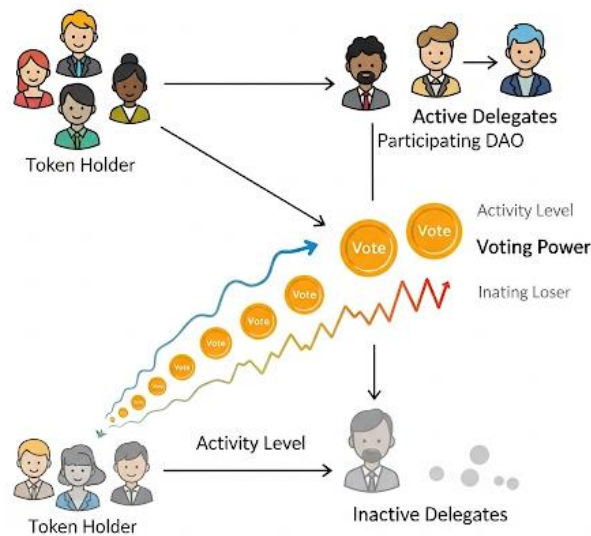


Рисунок 1.2 – Алгоритм запровадження голосувальної сили без передачі

Іншою проблемою проекту є повільність процесів прийняття рішень, що обумовлено процедурою обговорення, голосування та досягнення кворуму, особливо в умовах, що потребують швидкої реакції. Також залишається відкритим питання юридичного статусу DAO, що ускладнює взаємодію з регуляторними структурами та традиційними інституціями, зокрема в аспектах відповідальності та оподаткування.

Незважаючи на те, що Gnosis DAO безпосередньо не постраждав від критичних атак, пов'язаних з кодом смарт-контрактів, інциденти в сторонніх протоколах, які використовували Gnosis Safe, свідчать про потенційні загрози, що можуть виникати через людський фактор, фішингові атаки або вразливості в інтегрованих компонентах, що підкреслює необхідність постійного аудиту, багаторівневої безпеки та освіти користувачів.

Uniswap DAO здійснює управління розвитком одного з провідних DeFi-протоколів – Uniswap. Цей протокол забезпечує автоматизовану ліквідність для обміну токенів на платформі Ethereum [18]. Організаційна структура Uniswap DAO базується на механізмах токенізованого голосування, зокрема володіння токенами UNI надає користувачам право подавати пропозиції щодо змін в протоколі та брати участь в голосуваннях за принципом «один токен – один голос» з можливістю делегування повноважень більш компетентним учасникам.

Управління в Uniswap DAO характеризується прагненням до децентралізації, прозорості та інклюзивності. Всі пропозиції, обговорення та результати голосувань є публічно доступними, що сприяє підвищенню довіри з боку спільноти та активізації участі нових членів. Проте, попри задекларовану відкритість, DAO стикається з типовими проблемами, властивими багатьом децентралізованим організаціям, зокрема з низькою залученістю власників токенів, затягнутими процесами ухвалення рішень та складнощами делегування повноважень [19].

Одним з напрямів подолання цих проблем стало впровадження експериментальних управлінських моделей, зокрема формування робочих груп або спеціалізованих рад, які отримують обмежені делеговані повноваження для оперативного вирішення профільних питань. Такий підхід дозволяє зменшити навантаження на загальний механізм голосування та прискорити процес ухвалення рішень.

Крім того, Uniswap DAO досліджує нові моделі стимулювання участі та альтернативні методи голосування. Одним з інноваційних напрямів є запровадження квадратичного голосування, що сприяє більш рівномірному розподілу впливу серед менш капіталізованих учасників, надаючи перевагу чисельності підтримки, а не її фінансовій вагомості (рисунок 1.3). Також розглядаються механізми заохочення активних учасників через винагороди за подання якісних пропозицій або регулярну участь у голосуваннях.

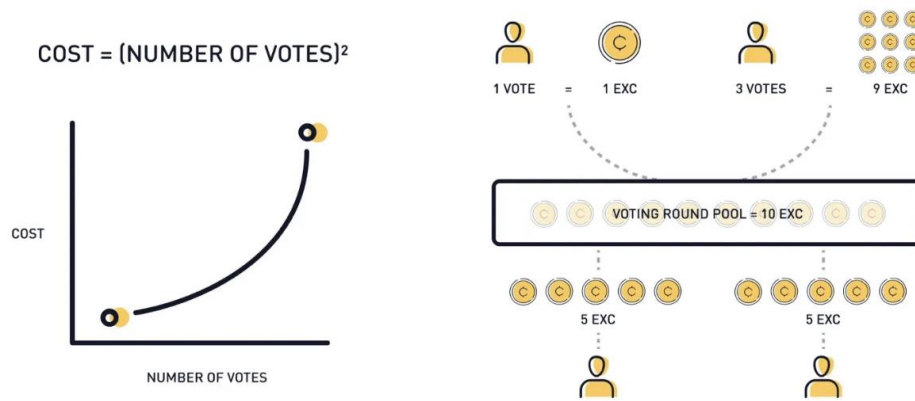


Рисунок 1.3 – Алгоритм квадратичного голосування

Додатково, Uniswap DAO вивчає можливість делегування не лише права голосу, а також функціональних повноважень спеціалізованим учасникам екосистеми. Такий підхід спрямований на підвищення ефективності управління та покращення якості рішень через залучення експертного потенціалу. За оцінками дослідників, така багаторівнева модель прийняття рішень може суттєво покращити функціонування DAO в умовах зростаючої складності DeFi-простору [20].

Таким чином, децентралізовані автономні організації становлять інноваційну форму організації управління в сфері блокчейн-технологій та децентралізованих фінансів. Основні типи DAO функціонують як платформи для колективного прийняття рішень через токенизовані системи голосування.

Серед ключових проблем DAO варто виокремити низьку активність власників токенів в голосуванні, що часто призводить до концентрації влади в руках нечисленної активної меншості. Це ставить під сумнів принципи децентралізації та рівноправності, на яких базуються DAO. Для подолання цієї проблеми застосовуються різноманітні механізми стимулювання участі, зокрема делегування голосів, непередавана голосувальна сила та квадратичне голосування, що спрямовані на залучення більшої кількості активних учасників та підвищення якості ухвалених рішень.

Іншою суттєвою проблемою DAO є повільність процесу прийняття рішень через необхідність досягнення кворуму та тривалі обговорення, що

може знижувати ефективність функціонування організації. Для підвищення оперативності та експертності управління впроваджуються робочі групи та спеціалізовані ради з делегованими повноваженнями.

Юридична невизначеність статусу DAO в багатьох юрисдикціях створює правові ризики, пов'язані з відповідальністю, оподаткуванням та регулюванням та обмежує потенціал розвитку і масштабування цих організацій. Водночас безпека смарт-контрактів залишається актуальною проблемою, оскільки вразливості в коді або інтегрованих системах можуть призвести до втрати активів.

Отже, DAO, як нова модель децентралізованого управління, демонструють значний потенціал для створення відкритих, прозорих та демократичних систем прийняття рішень в цифровому середовищі.

### 1.3 Постановка задачі

На основі проведеного аналізу наукових досліджень за тематикою роботи та існуючих підходів до управління в централізованих та децентралізованих системах встановлено, що традиційні централізовані моделі виявляються недостатньо ефективними в контексті забезпечення прозорості, участі спільноти та гнучкості прийняття рішень. Таки доцільним є використання децентралізованих автономних організацій як перспективної моделі управління, що поєднує відкритість, інклюзивність та безпечне управління ресурсами за допомогою смарт-контрактів.

Метою дослідження є комплексний аналіз існуючих методів впровадження децентралізованих автономних організацій у корпоративне управління з метою забезпечення колективного прийняття рішень через токенизовані системи голосування, що сприяє підвищенню ефективності управлінських процесів, оптимізації прийняття рішень та гарантуванню прозорості діяльності організацій.

## 2 ТЕХНОЛОГІЇ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ

В сучасних умовах цифрової трансформації зростає потреба в системах, що забезпечують високу ефективність, безпеку, автономність, прозорість та довіру між учасниками без залучення централізованих посередників. Зокрема, технології блокчейн, смарт-контракти та децентралізовані автономні організації відіграють визначальну роль в формуванні нових парадигм взаємодії між учасниками цифрових екосистем в різних галузях суспільної, економічної та технологічної діяльності. Впровадження децентралізованих систем сприяє зменшенню операційних ризиків, підвищенню прозорості процесів, а також відкриває нові можливості для автоматизації через програмовану логіку смарт-контрактів.

### 2.1 Технологія блокчейну

Блокчейн забезпечує функціонування децентралізованих цифрових систем, які не потребують централізованого управління чи довіри до посередника. Він представляє собою розподілений реєстр, який зберігає дані про транзакції у вигляді ланцюга блоків, що криптографічно зв'язані між собою. Завдяки цій структурі забезпечується незмінність, автентичність та прозорість інформації. Такі властивості блокчейну дозволяють застосовувати його для функціонування систем з високим ступенем довіри [21].

Кожен блок в блокчейні містить набір транзакцій, мітку часу та криптографічний хеш попереднього блоку, що створює математичний зв'язок між елементами ланцюга. Така послідовність унеможливорює зміну вмісту окремого блоку без порушення цілісності всього ланцюга, що робить фальсифікацію даних надзвичайно складною або технічно неможливою [22]. Цей механізм забезпечує цілісність даних в децентралізованому середовищі, де всі вузли мережі мають однакову копію реєстру (рисунок 2.1).

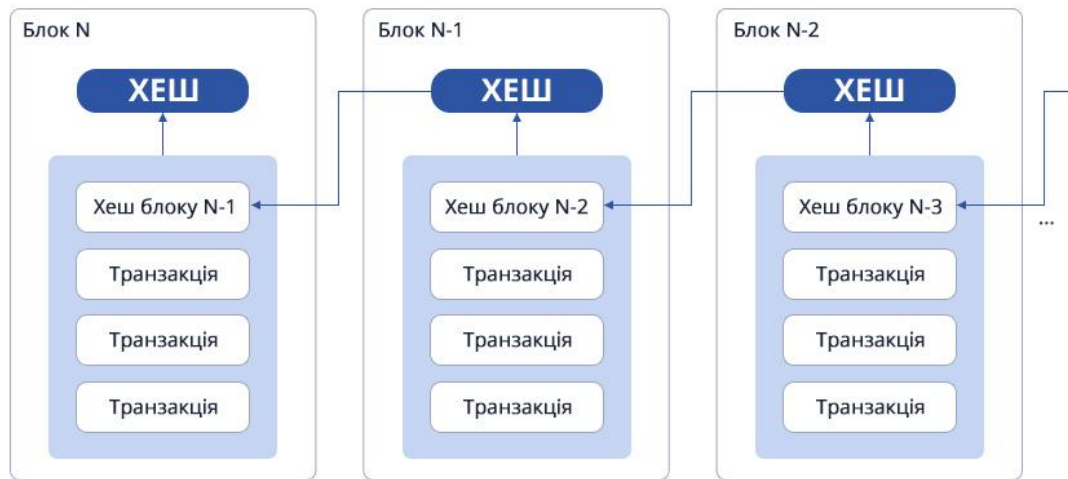


Рисунок 2.1 – Схема блоків блокчейну

Однією з базових та унікальних характеристик блокчейн-систем є відсутність централізованого контролера. На відміну від традиційних інформаційних систем, в яких верифікація транзакцій, підтримка актуальності даних та управління мережею здійснюються централізовано через сервер або адміністраторську інстанцію, блокчейн використовує механізми децентралізованої верифікації та узгодження – алгоритми консенсусу (рисунок 2.2) [23, 24]. Ці механізми забезпечують спільне прийняття рішень в мережі з множиною незалежних учасників, які можуть не мати довіри один до одного.

Алгоритми консенсусу визначають правила, за якими мережа приходить до згоди щодо того, який блок є дійсним і має бути доданий до ланцюга. До найбільш поширених та концептуально важливих алгоритмів відносять:

- доказу виконаної роботи (PoW), який був першим широко впровадженим алгоритмом консенсусу в системі Bitcoin [25]. Він ґрунтується на вирішенні складної обчислювальної задачі, що потребує значних обчислювальних ресурсів, так званого майнінгу. Вузол, який першим знаходить розв'язок у вигляді відповідного хешу, отримує право додати блок до ланцюга. Основною перевагою PoW є висока безпека, проте недоліками

залишаються високе енергоспоживання, низька пропускна здатність та обмежена масштабованість;

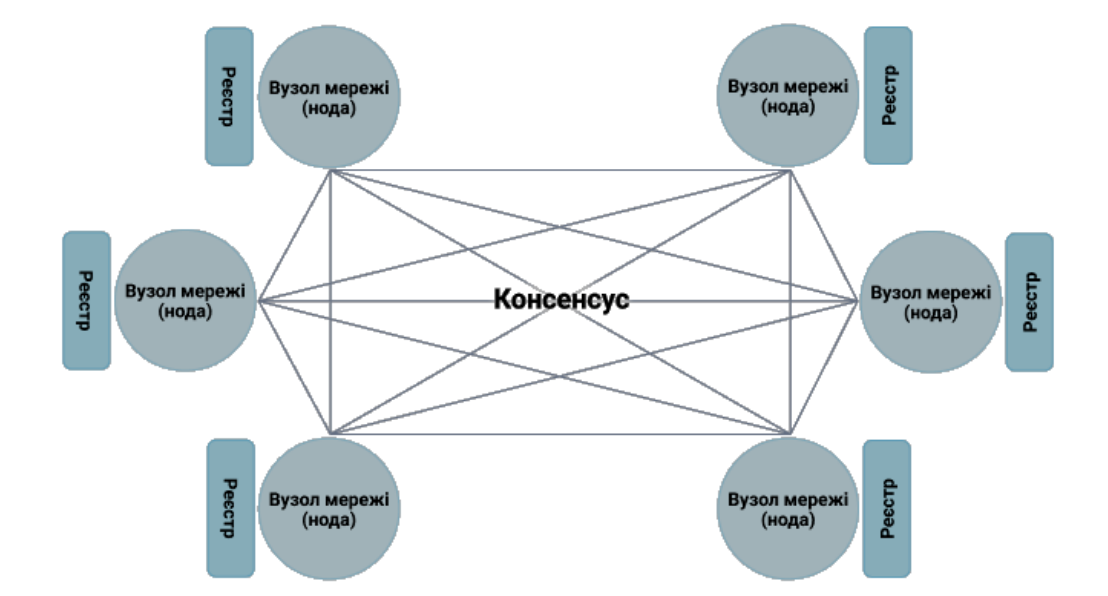


Рисунок 2.2 – Схема консенсусу в блокчейні

- доказу частки участі (PoS) є альтернативним алгоритмом, що базується на принципі володіння криптовалютами активами. Право додавання блоку отримує вузол з вищим «ставленням», тобто з більшою кількістю токенів, заблокованих як гарантія чесної поведінки. PoS має значно менше енергоспоживання та є більш ефективним в порівнянні з PoW, але обмежений в принципах децентралізації, оскільки багатші учасники можуть домінувати в прийнятті рішень [26];

- делегованого доказу частки участі (DPoS) є варіацією PoS, в якій власники токенів голосують за делегатів, які здійснюють додавання нових блоків. Така модель забезпечує високу швидкість обробки транзакцій та гнучке управління, проте є менш децентралізованою та більш вразливою до олігополізації [27];

- практичної візантійської стійкості (PBFT), який орієнтовано на досягнення консенсусу за наявності до третини недобросовісних або скомпрометованих вузлів. Цей алгоритм ефективний в приватних

блокчейнах, де кількість учасників обмежена та відома наперед. PBFT забезпечує низьку затримку та високу надійність, проте погано масштабується у великих відкритих мережах через складність координації між численними вузлами [28]. В таблиці 2.1 наведено порівняльні характеристики алгоритмів консенсусу.

Таблиця 2.1 – Характеристики алгоритмів консенсусу

Характеристика	PoW	PoS	DPoS	PBFT
Енергоспоживання	Високе	Низьке	Дуже низьке	Низьке
Швидкість обробки	Низька	Середня	Висока	Висока
Рівень децентралізації	Високий	Середній/ високий	Середній	Низький (для приватних)
Стійкість до атак	Дуже висока	Висока	Середня	Висока
Масштабованість	Обмежена	Помірна	Висока	Низька

В сучасній практиці спостерігається активний розвиток гібридних моделей консенсусу, що поєднують переваги існуючих рішень щодо масштабованості. Блокчейн поєднує в собі елементи криптографії, теорії розподілених систем, комп'ютерної безпеки та економіки. Зокрема, хеш-функції, цифрові підписи та механізми шифрування забезпечують захист даних від несанкціонованого доступу та модифікацій, а мережеві протоколи координують синхронізацію інформації між вузлами.

Інтеграція блокчейну в цифрові платформи відкрила нові можливості для створення децентралізованих фінансових систем, платформ для управління ідентичністю, реєстрів земельної власності, медичних баз даних та систем голосування. Його застосування дозволяє знизити операційні витрати, підвищити рівень довіри між сторонами, автоматизувати процеси за

допомогою смарт-контрактів, а також забезпечити високу стійкість до атак та збоїв завдяки розподіленій архітектурі мережі.

Проте використання блокчейну стикається з низкою технологічних та регуляторних проблем, зокрема масштабованість, енергетична неефективність, складність оновлення протоколів, а також правова невизначеність щодо зберігання та обробки даних в різних юрисдикціях.

## 2.2 Механізм автоматизації блокчейну

Смарт-контракти становлять один з ключових інструментів децентралізованих систем, що забезпечує можливість програмованого виконання умов взаємодії між учасниками без потреби у централізованому посереднику. Вперше концепцію смарт-контрактів було запропоновано Ніком Сабо в 1990-х роках, як засіб для цифрового відтворення юридичних угод, які самостійно забезпечують виконання передбачених зобов'язань. З поширенням блокчейн-технологій, особливо з появою платформи Ethereum, смарт-контракти отримали практичну реалізацію.

Смарт-контракт є комп'ютерною програмою, що зберігається в розподіленому реєстрі та виконується автоматично у відповідь на визначені події або умови. Такі контракти діють за принципом «if-then», тобто «якщо-то», що дозволяє автоматизувати логіку транзакцій, контроль доступу, нарахування винагород, керування активами тощо. Смарт-контракт, як частина блокчейн-мережі, є публічним, незмінним після розгортання та доступним для верифікації всіма учасниками, що забезпечує високий рівень прозорості та довіри [29].

В контексті смарт-контрактів особливої актуальності набуває концепція електронної платіжної системи, що не потребує довіри до центрального посередника. Така система має бути побудована на криптографічних засадах та передбачати можливість прямого обміну цінностями між сторонами без участі третіх осіб. Смарт-контракти, вбудовані

в блокчейн-інфраструктуру, створюють середовище, в якому виконання транзакцій є автоматизованим, прозорим та незворотним.

Ключовою проблемою, яка довгий час стримувала розвиток повністю децентралізованих платіжних механізмів, була загроза подвійного витрачання, коли один і той самий цифровий актив використовується в кількох транзакціях одночасно. В традиційних централізованих системах перевірка подвійного витрачання активів покладено на довіреного емітента або банк, який веде реєстр всіх операцій. На децентралізованих платформах, які використовують смарт-контракти, ця функція реалізується за допомогою розподіленого механізму верифікації транзакцій та системи часових міток.

В такій системі транзакції організовуються в блоки, де кожен блок містить криптографічний хеш попереднього, а також обчислюване підтвердження послідовності операцій. Цей механізм дозволяє встановити хронологічний порядок транзакцій та забезпечити їх незмінність та верифікацію, без необхідності звернення до центрального органу. Смарт-контракт виступає як автоматизований виконавець, що слідкує за дотриманням умов угоди, фіксує хід виконання зобов'язань та забезпечує запуск запрограмованих дій лише в разі виконання заданих критеріїв.

Окрім цього, завдяки використанню цифрових підписів, що вбудовуються в кожен транзакцію, забезпечується простежуваність та підтвердження правочинності передавання цифрових активів. Електронна монета або токен представляє собою ланцюг цифрових підписів, кожна з яких підтверджує право власності нового отримувача на основі перевірки попередньої транзакції (рисунок 2.3). Такий підхід мінімізує ризики шахрайства та забезпечує незаперечність транзакцій в умовах децентралізованого середовища.



Рисунок 2.3 – Схема транзакцій в блокчейні

Однією з переваг смарт-контрактів є автоматизація процесів. Вони виключають необхідність у посередниках, знижуючи транзакційні витрати та ймовірність людської помилки або шахрайства. Крім того, виконання смарт-контракту є детермінованим та передбачуваним, тобто всі вузли мережі незалежно приходять до одного результату при ідентичних вхідних даних.

Функціональність смарт-контрактів значною мірою залежить від віртуальної машини та мови програмування, що підтримується обраною блокчейн-платформою.

Попри численні переваги, смарт-контракти мають низку обмежень. Зокрема, недоліки в коді можуть призвести до фінансових втрат, їх незмінність в блокчейні ускладнює виправлення помилок після розгортання. Також актуальним є питання юридичної легітимності смарт-контрактів, оскільки в більшості юрисдикцій вони ще не мають повного правового статусу.

Застосування смарт-контрактів охоплює широкий спектр сфер, зокрема децентралізовані фінанси, цифрова ідентифікація, керування

ланцюгами постачань, виборчі системи, страхування, торгівля токенизованими активами тощо.

### 2.3 Механізми децентралізованого управління

Децентралізовані автономні організації є інноваційною формою цифрового самоврядного утворення, що функціонує на основі блокчейн-технологій та смарт-контрактів. Вони реалізують концепцію повністю прозорого, автоматизованого управління без централізованої влади або зовнішнього адміністративного контролю. DAO поєднує в собі механізми цифрової демократії, економічної координації та управління активами за допомогою коду, що виконується в децентралізованому середовищі.

Основу функціонування DAO становить блокчейн як незмінний розподілений реєстр, в якому зберігається повна історія рішень, транзакцій та структур управління. Смарт-контракти виступають в ролі виконавчих модулів. Вони автоматизують процес прийняття рішень, розподілу ресурсів та реалізації управлінських функцій згідно з попередньо визначеними правилами, які неможливо змінити без колективного схвалення учасників мережі. Таким чином смарт-контракти слугують програмною «конституцією» DAO, формалізуючи права, обов'язки та процедури, за якими функціонує організація.

Фінансова інфраструктура DAO базується на токенах, що виконують платіжну та управлінську функції. Токени DAO можуть бути використані для внесення пропозицій, голосування, винагородження учасників або доступу до певних ресурсів. Власники токенів набувають часткових прав власності на DAO та можливість брати участь в управлінні організацією через децентралізовані механізми голосування. Здебільшого голоси учасників мають вагу, пропорційну кількості токенів, що забезпечує економічну мотивацію до активної участі в житті організації.

Функціонування децентралізованих автономних організацій ґрунтується на інтеграції кількох ключових компонентів, кожен з яких виконує визначену роль в забезпеченні автоматизованого, прозорого та безпечного управління в розподіленому цифровому середовищі.

Смарт-контракти є центральним компонентом DAO, що реалізує логіку управління, ухвалення рішень та виконання дій без потреби в ручному втручанні з боку учасників або централізованих адміністративних органів. Ці Смарт-контракти є програмним кодом, що зберігаються та виконуються в блокчейн-мережі, та які автоматично ініціюють певні дії за виконання визначених умов. Завдяки цьому забезпечується передбачуваність, прозорість та незмінність процесів в організації.

Іншим базовим компонентом є блокчейн-платформа, яка виконує функцію децентралізованого сховища даних. Всі транзакції, голосування, зміни правил або стану DAO фіксуються в блоках, що хронологічно впорядковані та криптографічно зв'язані. Це гарантує незмінність, доступність та публічність інформації, що забезпечує довіру в системі без централізованого контролю.

Цифрові токени в DAO виконують декілька функцій. Вони можуть виступати як засіб розрахунку або інструмент стимулювання економічної участі користувачів та використовуються як механізм делегування прав, зокрема для голосування, ініціювання пропозицій чи доступу до ресурсів DAO.

Для забезпечення зручної та ефективної взаємодії учасників з DAO створюються спеціальні інтерфейси участі, у вигляді децентралізованих додатків або вебпорталів. Через ці інтерфейси користувачі можуть подавати пропозиції, здійснювати голосування, відслідковувати результати рішень та брати участь в процесах управління. Така взаємодія забезпечується безпосереднім підключенням до блокчейн-мережі через криптографічно захищені гаманці та вебкласнти.

Механізми досягнення консенсусу в DAO забезпечують узгодженість дій між усіма учасниками системи. В залежності від обраної блокчейн-

платформи та моделі управління, алгоритми досягнення консенсусу дозволяють колективно приймати рішення та реалізовувати їх без конфліктів та дублювання транзакцій.

Сукупна дія цих компонентів створює інфраструктуру децентралізованого самоврядування, що дозволяє організаціям функціонувати автономно, підвищуючи рівень довіри, прозорості та ефективності в умовах цифрової економіки.

DAO втілює ідеї токенизованого управління, цифрової відповідальності та необмеженого доступу до участі, що робить їх надзвичайно перспективними для організації спільнот, фондів, платформ краудфандингу, децентралізованих фінансів, наукових ініціатив, мистецьких колективів та інших типів колективної діяльності.

Таким чином, DAO є результатом еволюції концепції управління в цифрову епоху, де код замість суб'єкта виконує функції контролю, а довіра покладається на криптографічні гарантії та публічність блокчейну. Це відкриває шлях до побудови нових форм колективної відповідальності, прозорої участі та безпечної координації в умовах глобальної децентралізації.

### 3 АНАЛІЗ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ АВТОНОМНИХ ОРГАНІЗАЦІЙ У КОРПОРАТИВНОМУ УПРАВЛІННІ

В сучасних корпоративних системах управління все частіше виявляються недоліки, що пов'язані з надмірною централізацією, обмеженою прозорістю, високими витратами на функціонування та браком участі працівників в процесі ухвалення рішень. Переважна більшість традиційних моделей керується ієрархічною структурою, в якій основні повноваження сконцентровані в руках вузького кола осіб. Такий підхід може спричинити конфлікт інтересів, нераціональний розподіл ресурсів та поступове падіння довіри до управлінської системи.

Поява блокчейн-технологій відкрила нові можливості для розробки альтернативних форматів корпоративного управління, зокрема на базі децентралізованих автономних організацій (ДАО). Такі організації усувають потребу в посередниках, запроваджують автоматизацію процесів через смарт-контракти та забезпечують прозорість у фінансовій звітності. Водночас масове впровадження ДАО гальмується рядом проблем, зокрема відсутність уніфікованих стандартів побудови організацій, складнощі аудиту смарт-контрактів, правову невизначеність та необхідність адаптації існуючих бізнес-моделей до нових умов.

В зв'язку з цим виникає потреба у глибокому аналізі існуючих практик впровадження ДАО, оцінці їх результативності та розробці шляхів подолання виявлених проблем. Метою дослідження є ідентифікація найефективніших підходів до побудови та експлуатації ДАО, а також визначення їх потенціалу впливу на трансформацію управлінських процесів.

ДАО є організаціями, що функціонують на базі блокчейну, в яких всі управлінські процеси автоматизовані смарт-контрактами. Учасники приймають рішення через голосування, реалізація яких забезпечується

програмним кодом. Усі транзакції та рішення зберігаються в блокчейні, що робить підробку інформації практично неможливою.

Механізми управління в ДАО бувають різноманітними та мають власні переваги та недоліки. Найбільш розповсюджений механізм ДАО – голосування, що виступає центральним елементом управлінської моделі (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Модель організації ДАО

Існують різні підходи до голосування. Наприклад, голосування за кількістю токенів забезпечує оперативне ухвалення рішень та створює стимули до участі. Проте така система може спричинити централізацію влади в руках великих власників токенів.

Інший варіант – делеговане голосування. Учасники передають свої голоси обраним представникам, що підвищує якість рішень, проте це може створити впливові групи, які домінують в процесах.

Квадратичне голосування передбачає, що вартість кожного додаткового голосу зростає експоненційно, що дозволяє захистити інтереси меншості. Однак така модель складніша для реалізації та потребує додаткових заходів контролю.

Також важливою складовою ДАО є автоматизоване управління фінансами через смарт–казначейства, що забезпечує максимальну прозорість в розпорядженні коштами.

Відомі приклади ефективних ДАО:

- MakerDAO – управління параметрами криптовалюти DAI;
- FlamingoDAO – голосування щодо купівлі NFT–активів;
- MetaCartel DAO – фінансування проєктів у Web3;
- Uniswap DAO – голосування за зміни в протоколі децентралізованої біржі;
- Aave DAO – делегування повноважень для управління ризиками;
- PleasrDAO – прийняття рішень щодо купівлі цифрового мистецтва;
- Compound DAO – голосування за оновлення смарт–контрактів;
- Bitcoin DAO – реалізація квадратичного голосування.

Для підвищення ефективності ДАО доцільно впровадити комбіновані системи голосування. Запропонована ідея – створення незалежної «Експертної групи», яка може блокувати підозрілі рішення та виступати гарантом неупередженості. Таку групу може бути переобрано, якщо вона втратить довіру спільноти (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Оновлена модель організації ДАО з «Експертною групою»

ДАО здатні докорінно змінити традиційне корпоративне управління, проте важливо враховувати обмеження децентралізації. Успішний розвиток таких структур залежатиме від правових механізмів, технічної безпеки та ефективних алгоритмів ухвалення рішень.

Таким чином, в роботі розглянуто концепцію децентралізованих автономних організацій, які представляють нову парадигму в управлінні бізнесом. Завдяки алгоритмічному прийняттю рішень та автоматизованим механізмам, ДАО мінімізують вплив людського фактору, знижують ризики корупції та підвищують прозорість. Однак масштабування таких структур залежить від здатності адаптуватися до нових умов, вирішуючи технічні, правові й організаційні проблеми.

Найважливішими чинниками успіху є безпека смарт-контрактів, нормативна підтримка з боку держав, а також активна участь та компетентність користувачів. Загалом ДАО мають значний потенціал до трансформації корпоративної моделі, однак потребують подальшої оптимізації та всебічної підтримки з боку спільноти.

## 4 РОЗРОБКА ВЕБЗАСТОСУНКУ НА ОСНОВІ АРХІТЕКТУРИ ДАО

### 4.1 Розробка архітектури вебзастосунку

Для розробки застосунку, що реалізує модель управління на основі архітектури ДАО, основна увага приділяється архітектурним особливостям, які забезпечують ефективну інтеграцію смарт-контрактів та графічного інтерфейсу користувача. В застосунку особливу увагу приділено структурі компонентів та їх функціональному призначенні, реалізації взаємодії між учасниками організації та експертною групою, яка відіграє роль умовного регулятора або аудитора в межах алгоритмічного управління.

Вебзастосунок реалізує модульну архітектуру, поділену на дві ключові частини, зокрема Frontend та смарт-контракти, що забезпечує чітке розмежування функціональності, полегшує тестування та підтримку, а також забезпечує можливість подальшого масштабування системи.

На етапі проектування було створено діаграму компонентів, яка відображає логічну структуру системи, включно з основними модулями та їх взаємозв'язками (рисунок 4.1).

Діаграма є базовим інструментом для організації роботи над проектом, оскільки дозволяє чітко визначити функціональні зони відповідальності, полегшити інтеграцію між клієнтською частиною та смарт-контрактами, а також спростити майбутні модифікації.

Блок «Смарт-контракти» реалізує бізнес-логіку системи та забезпечує взаємодію з блокчейн-мережею. Він складається з наступних компонентів:

- contracts – основна логіка взаємодії та управління блокчейном;
- deploy – модуль для автоматичного розгортання контрактів з типовими параметрами;
- tests – набір тестів для перевірки функціональності та надійності реалізації;

- `scripts` – допоміжні функції для обробки даних і логіки калькуляції;
- `node_modules` – набір зовнішніх бібліотек і залежностей для забезпечення коректної роботи серверної частини.

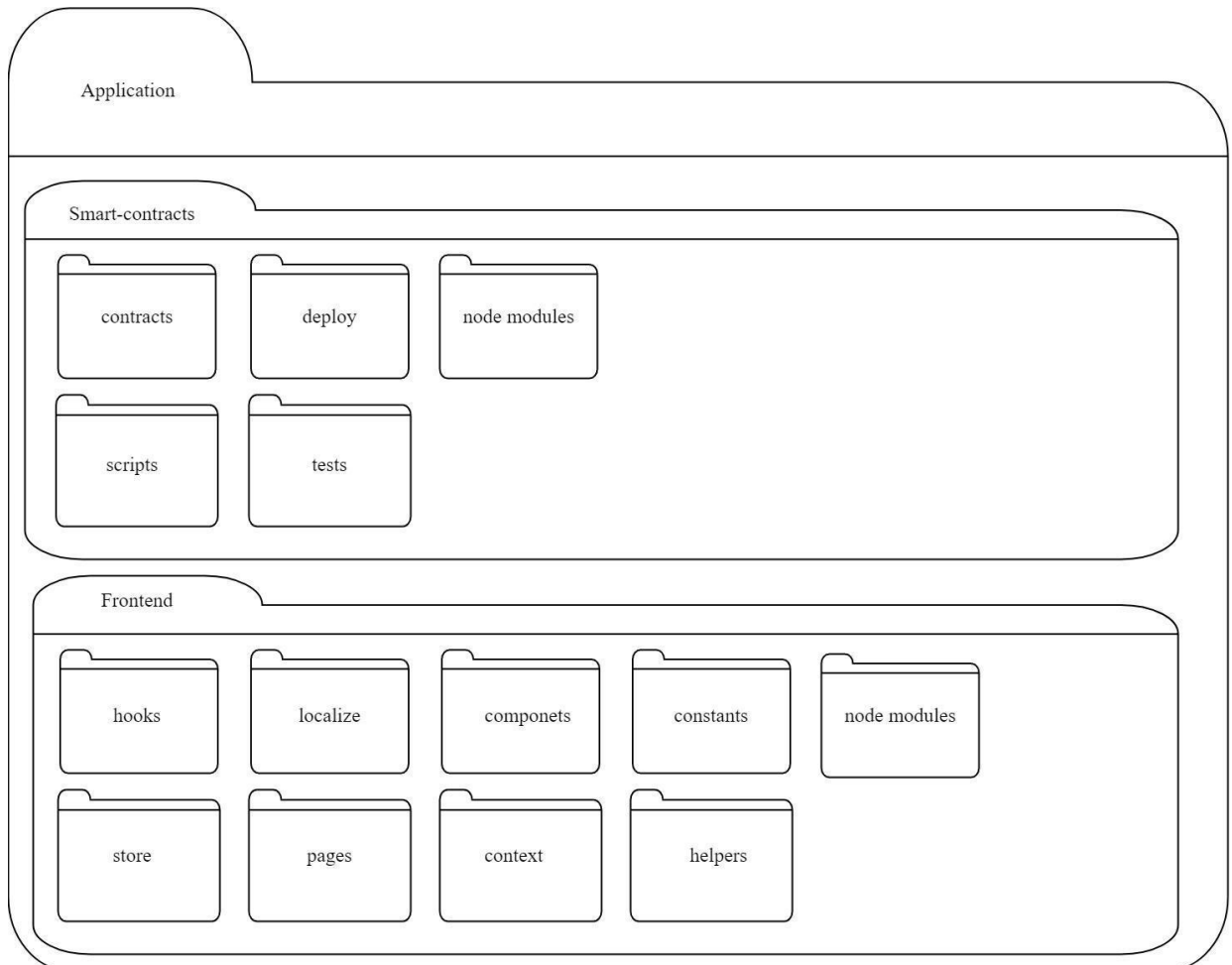


Рисунок 4.1 – Діаграми компонентів

Блок «Frontend» відповідає за інтерфейс користувача та взаємодію з логікою смарт-контрактів. Цей блок включає наступні модулі:

- `componets` – багаторазово використовувані інтерфейсні елементи;
- `localize` – ресурси для локалізації всього текстового наповнення;
- `pages` – шаблони сторінок веб-додатку;
- `hooks` – спеціалізовані функції React для управління станом і логікою;
- `store` – сховище даних та механізми управління станом;

- constants – фіксовані значення, що використовуються по всьому застосунку;
- helpers – допоміжні функції для обчислень та обробки даних;
- context – реалізація контекстного зберігання даних React;
- node\_modules – сторонні бібліотеки для забезпечення роботи інтерфейсу.

Об'єднання цих блоків в єдину систему дозволяє досягти високого рівня автоматизації процесів, забезпечити прозорість кожного етапу взаємодії та гарантувати захищеність усіх дій користувачів, що важливо в умовах реалізації децентралізованої моделі управління.

Клієнтський компонент вебзастосунку реалізовано з використанням бібліотеки React, яка забезпечує ефективну побудову компонентно-орієнтованого графічного інтерфейсу користувача (GUI). Основне завдання фронтенду полягає в забезпеченні зручної взаємодії кінцевого користувача з системою, формуванні відповідного інтерфейсу та організації передачі даних до смарт-контрактів, що функціонують в мережі блокчейн.

Під час розробки інтерфейсу було приділено увагу принципам юзабіліті, інклюзивності та адаптивності, з урахуванням потреб різних категорій користувачів. Було впроваджено низку інтерактивних елементів, зокрема форм введення, кнопок, спливаючих повідомлень, динамічних панелей, які забезпечують інтуїтивно зрозумілу навігацію та спрощують виконання типових дій, зокрема формування запитів, перегляд результатів взаємодії зі смарт-контрактами, підтвердження транзакцій тощо.

Для забезпечення реактивної поведінки та синхронізації даних між компонентами інтерфейсу та бекендом було застосовано JSX, RESTful API, React Hooks, а також бібліотеки керування станом, зокрема Redux, для забезпечення реактивної поведінки та синхронізації даних між компонентами інтерфейсу та бекендом. Реалізація фронтенд-архітектури була спрямована на забезпечення високої продуктивності, повторного використання коду та масштабованості застосунку.

Всі функції системи реалізовані з використанням механізму віддалених викликів процедур (RPC), що забезпечує інтерактивну взаємодію з блокчейн-мережею через серверний інтерфейс. Для організації викликів застосовується протокол JSON–RPC, який є легковаговим форматом обміну повідомленнями, що базується на JSON та дозволяє стандартизовано передавати запити та отримувати відповіді.

Запити, сформовані у форматі JSON-RPC, надсилаються через протокол HTTP, використовуючи відповідні HTTP-методи, зокрема GET та POST. Найчастіше для передачі складних параметрів застосовують метод POST, де дані передаються в тілі HTTP-запиту у вигляді об'єкта або масиву JSON. Інтерфейс взаємодії клієнтської частини з сервером реалізовано на основі Web4, що забезпечує абстрагування технічних деталей передачі даних та уніфікує процес комунікації між фронтендом та бекендом.

В таблиці 4.1 наведено перелік ключових функцій смарт–контрактів, які є основою функціонування системи. Для кожної функції описано її призначення, сигнатура, очікувані вхідні параметри та формат вихідних даних, що дозволяє забезпечити однозначність інтерпретації викликів та їх результатів.

Таблиця 4.1 – Перелік ключових функцій смарт–контрактів

Сигнатура	Метод	Призначення	Призначення вхідних та вихідних параметрів
1	2	3	4
addPanel	POST	Обробка запиту на додавання панелі	Приймає параметр name типу string та повертає тип void. Призначена для додавання нових панелей.
addMember	POST	Обробка запиту на додавання користувача у групу	Приймає параметр address типу string та повертає тип void. Призначена для додавання нових користувачів у групу.

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
addVetoGroup	POST	Обробка запиту на додавання панелі вето групи	Приймає параметри: target типу string, name типу string, address типу string та повертає тип void. Призначена для додавання вето групи для панелі, повинно отримати таргет, назву панелі та адресу панелі.
addVetoGroups	POST	Обробка запиту на додавання панелей вето груп	Приймає параметри: target типу string[], name типу string, address типу string та повертає тип void. Призначена для додавання вето групи для панелі, повинно отримати таргет, назву панелі та адресу панелі.
removePanel	POST	Обробка запиту на видалення панелі	Приймає параметр name типу string та повертає тип void. Призначена для видалення старих панелей.
removeVetoGroup	POST	Обробка запиту на видалення вето групи	Приймає параметри: target типу string та повертає тип void. Призначена для видалення вето групи панелі, повинно отримати таргет вето групи.
addPermissionsToRole	POST	Обробка запиту на додавання дозволів до ролі в системі	Приймає параметри: role типу string, addresses типу string[] та повертає тип void.
grantRoles	POST	Обробка запиту на додавання дозволів до ролі в системі	Приймає: role типу string, addresses типу string[] та повертає тип void.

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
deployDao	POST	Обробка запиту на деплой нового ДАО	Приймає параметр типу DAOConstructorParameters Використовується для розгортання нового ДАО
deployDAOPanel	POST	Обробка запиту на деплой експертної панелі	Приймає параметри: address типу string, daoPanelParams типу DAOPanelConstructorParameters та повертає тип void.
getExpertsDAOVoting	GET	Запит на отримання адреси для голосування	Приймає параметр panelName типу string та повертає адресу типу string. Повертає адресу контракту голосування для вказаної панелі ДАО.
getVetoMembersCount	GET	Запит на отримання кількості учасників у групі вето	Приймає параметр target типу string та повертає число типу uint256. Повертає кількість учасників в вето групи.
getVetoGroupMembers	GET	Запит на отримання учасників у групі вето	Приймає параметр target типу string та повертає address[]. Повертає адреси учасників в вето групи.
checkPermission	GET	Запит на отримання підтвердження доступу	Приймає параметри: address типу string, type типу string. Повертає значення типу bool.
isMember	GET	Запит на отримання підтвердження чи є користувач у обраній панелі	Приймає параметри: address типу string, panelName типу string. Повертає значення типу bool.

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
depositNative	POST	Обробка запиту на депозит нативних токенів до сховища.	Приймає параметр: amount типу string. Повертає тип void.
depositERC20	POST	Обробка запиту на депозит ERC20 токенів до сховища.	Приймає параметри: amount типу string та address типу string. Повертає тип void.
depositNFT	POST	Обробка запиту на депозит ERC721 токенів до сховища.	Приймає параметри: id типу string та address типу string. Повертає тип void.
authorizeBySBT	POST	Обробка запиту для надання статусу Token Holder користувачу.	Приймає параметри: address типу string. Повертає тип void.
withdrawERC20	POST	Обробка запиту на повернення ERC20 токенів з сховища.	Приймає параметри: amount типу string та address типу string. Повертає тип void.
withdrawNative	POST	Обробка запиту на повернення нативних токенів з сховища.	Приймає параметри: amount типу string. Повертає тип void.
withdrawNFT	POST	Обробка запиту на повернення ERC721 токенів з сховища.	Приймає параметри: amount типу string та address типу string. Повертає тип void.
revokeSBT	POST	Обробка запиту для повернення Token Holder.	Приймає параметр: address типу string. Повертає тип void.

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
lock	POST	Обробка запиту на блокування токенів	Приймає параметри: sender типу string, tokenAddress типу string, amount типу uint256, timeToLock типу uint256. Повертає тип void.
getVotingPow	GET	Запит на отримання ваги голосу користувача	Приймає параметри: sender типу string, tokenAddress типу string. Повертає тип uint256 з кількістю токенів.
userTokens	GET	Запит на отримання балансу користувача у сховищі	Приймає параметри: sender типу string, tokenAddress типу string. Повертає тип uint256 з кількістю токенів.
getUserGroups	GET	Запит на отримання назв груп до яких входить користувач	Приймає параметри: sender типу string. Повертає тип масив назв панелей.
getTimeLock	GET	Запит на отримання часу та кількості заблокованих токенів	Приймає параметри: sender типу string, tokenAddress типу string. Повертає тип TimeLockInfo.
getSituations	GET	Запит на отримання ситуацій	Повертає масив усіх ситуацій голосування в ДАО
getSituationInfo	GET	Запит на отримання детальної інформації ситуації	Приймає параметр: situation типу string Повертає тип DAOVotingValues
getProposal	GET	Запит на отримання інформації голосування	Приймає параметр: proposalId типу uint256. Повертає DAOProposal
getProposalList	GET	Запит на отримання листу існуючих голосувань	Приймає параметри: offset_ типу uint256 та limit типу uint256. Повертає тип DAOProposal []

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4
getVotingStats	GET	Запит на отримання результатів голосування	Приймає параметр: proposalId типу uint256. Повертає тип VotingStats
getPropStatus	GET	Запит на отримання статусу голосування	Приймає параметр: proposalId типу uint256. Повертає тип ProposalStatus
voteFor	POST	Обробка запиту на голосування «Так»	Приймає параметр: proposalId типу uint256. Повертає тип void.
veto	POST	Обробка запиту на вето	Приймає параметр: proposalId типу uint256. Повертає тип void.
createProposal	POST	Обробка запиту на створення голосування	Приймає параметри: situation типу string, remark_ типу string та callData типу bytes. Повертає тип uint256 ID нового голосування.
voteAgainst	POST	Обробка запиту на голосування «Ні»	Приймає параметр: proposalId типу uint256. Повертає тип void.
executeProposal	POST	Обробка запиту на виконання результатів голосування	Приймає параметр: proposalId типу uint256. Повертає тип void.
addUserGroups	POST	Обробка запиту на додавання користувача до експертної групи	Приймає параметри: address типу string та group типу string []. Повертає тип void.

На основі побудованих діаграм варіантів використання та послідовності було створено карту навігації вебзастосунку, яка відображає

логічні зв'язки між сторінками та структуру їх переходів (рисунок 4.2).

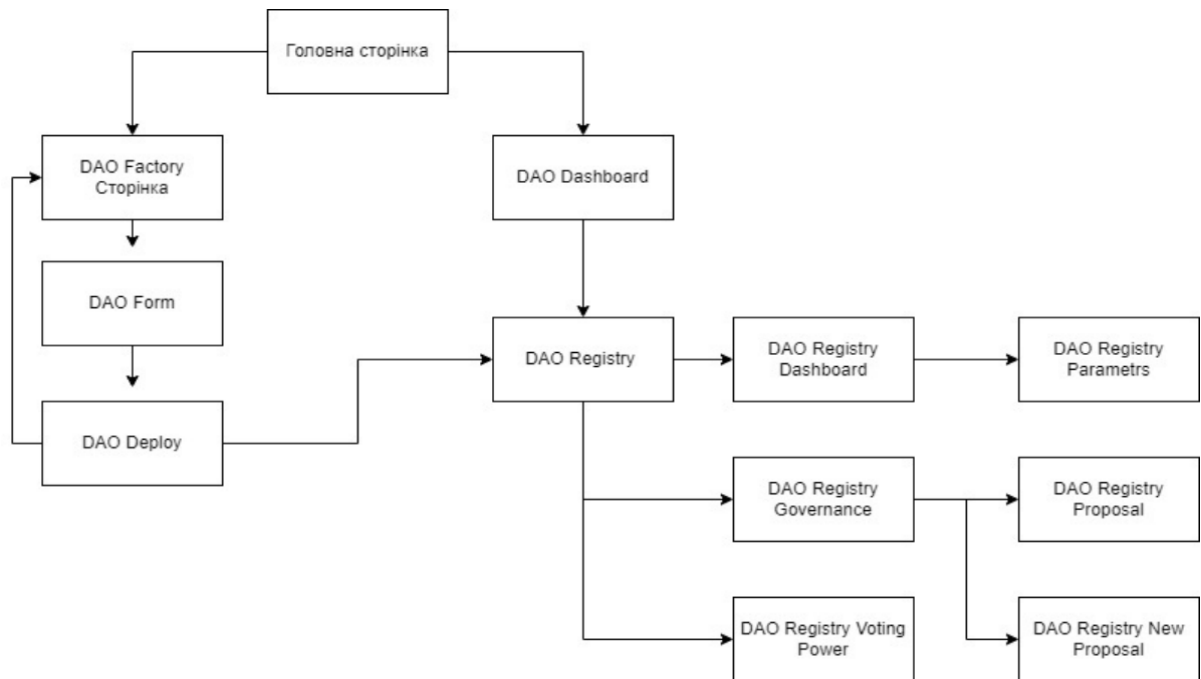


Рисунок 4.2 – Карта навігації для сайту

Графічний інтерфейс користувача було побудовано на основі навігаційної карти навігації для сайту, що відповідає вимогам запропонованої методології.

Першим елементом, з яким взаємодіє користувач при відкритті додатку, є головна сторінка, що містить вибір дій, зокрема створення нової децентралізованої автономної організації або перегляд наявних. Подальшим кроком є підключення гаманця до платформи за допомогою кнопки «Connect Wallet», розміщеної в шапці сайту. Ця кнопка відкриває модальне вікно з переліком підтримуваних гаманців, що дозволяє здійснити авторизацію (рисунок 4.3).

Процес створення нової ДАО реалізується через багатокрокову форму, що складається з наступних етапів. Цей процес не є жорстко фіксованим, оскільки деякі кроки можуть бути пропущені або змінені відповідно до потреб користувача, завдяки модульній архітектурі системи.

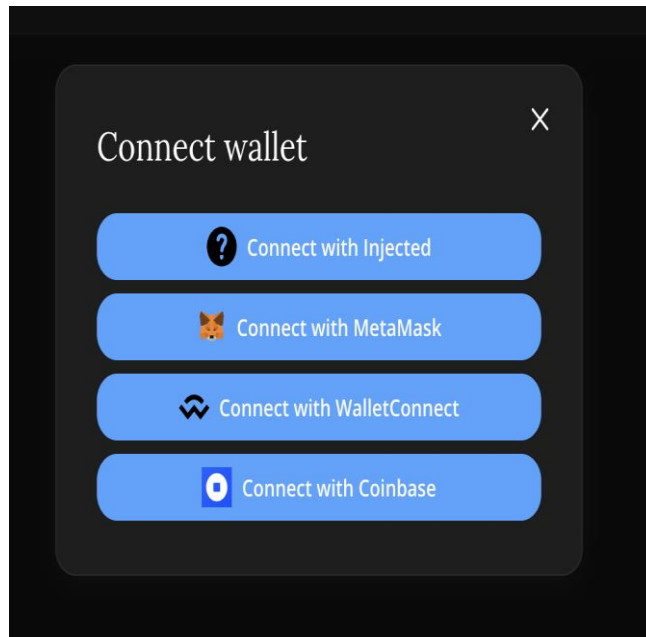


Рисунок 4.3 – Модальне вікно для підключення гаманця

Перший етап включає введення назви та опису організації. На другому етапі визначаються члени ДАО шляхом вибору типу токєну членства, використовуючи новий токен або існуючий. У випадку ERC20 кожен токен еквівалентний одному голосу, тоді як NFT або SBT забезпечують один голос на адресу незалежно від кількості токенів (рисунок 4.4).

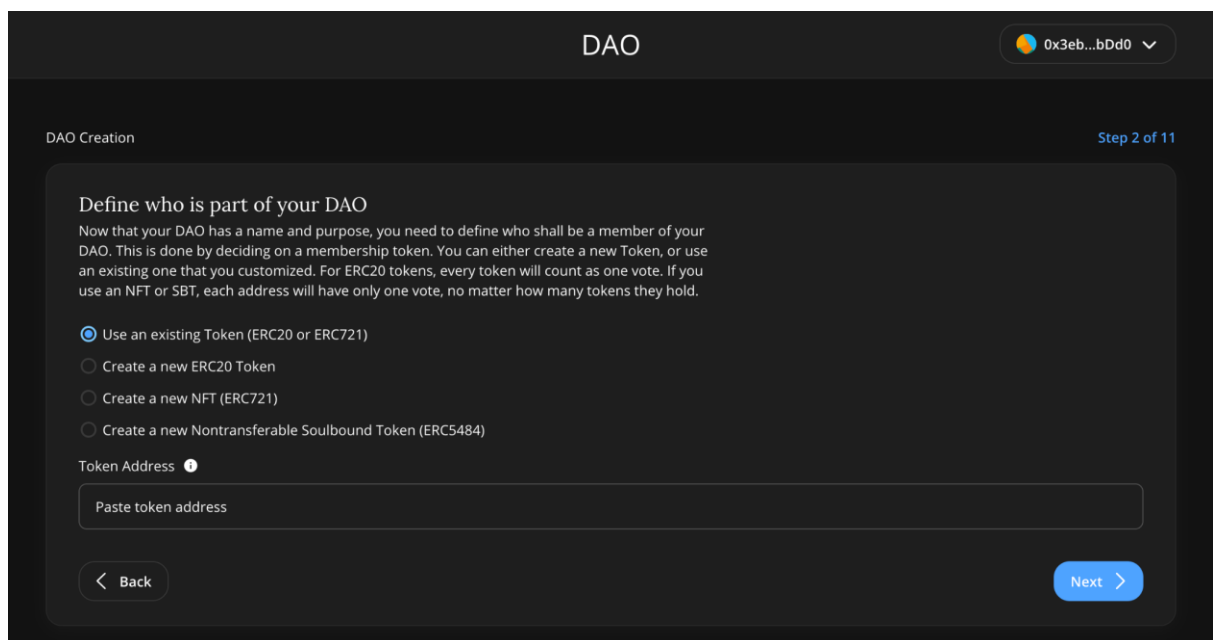


Рисунок 4.4 – Вибір типу токєну членства

Третій етап дозволяє налаштувати організацію за замовчуванням або вручну змінити кожен параметр. Четвертий етап передбачає створення експертних панелей для модерації, ініціації голосувань або інших цілей (рисунок 4.5).

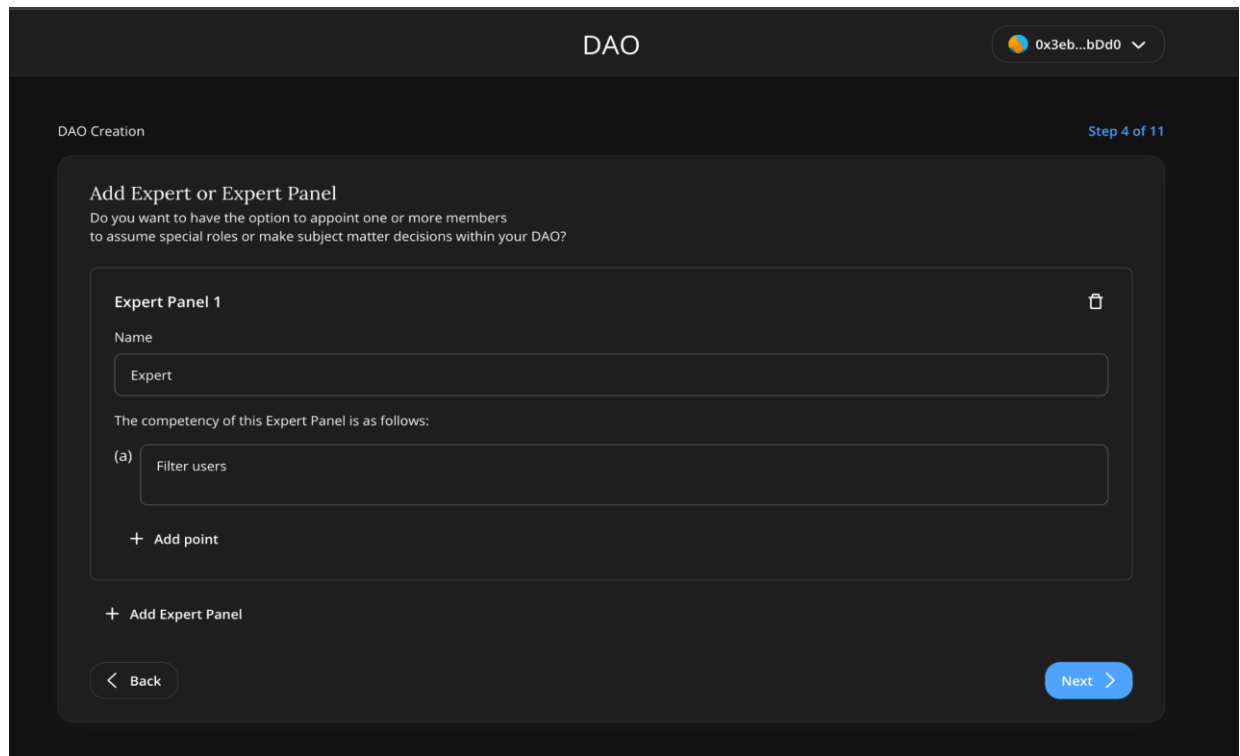


Рисунок 4.5 – Створення експертних панелей

П'ятий етап дозволяє інтегрувати юридичну взаємодію через визначених осіб, які обираються голосуванням (рисунок 4.8).

На шостому етапі створюється експертна панель з правом вето для блокування підозрілого голосування. Важливим аспектом є скасування її повноваження через голосування членів ДАО. На сьомому етапі виконано налаштування індивідуальних прав вето для різних типів голосувань, що підвищує гнучкість, але ускладнює управління (рисунок 4.6).

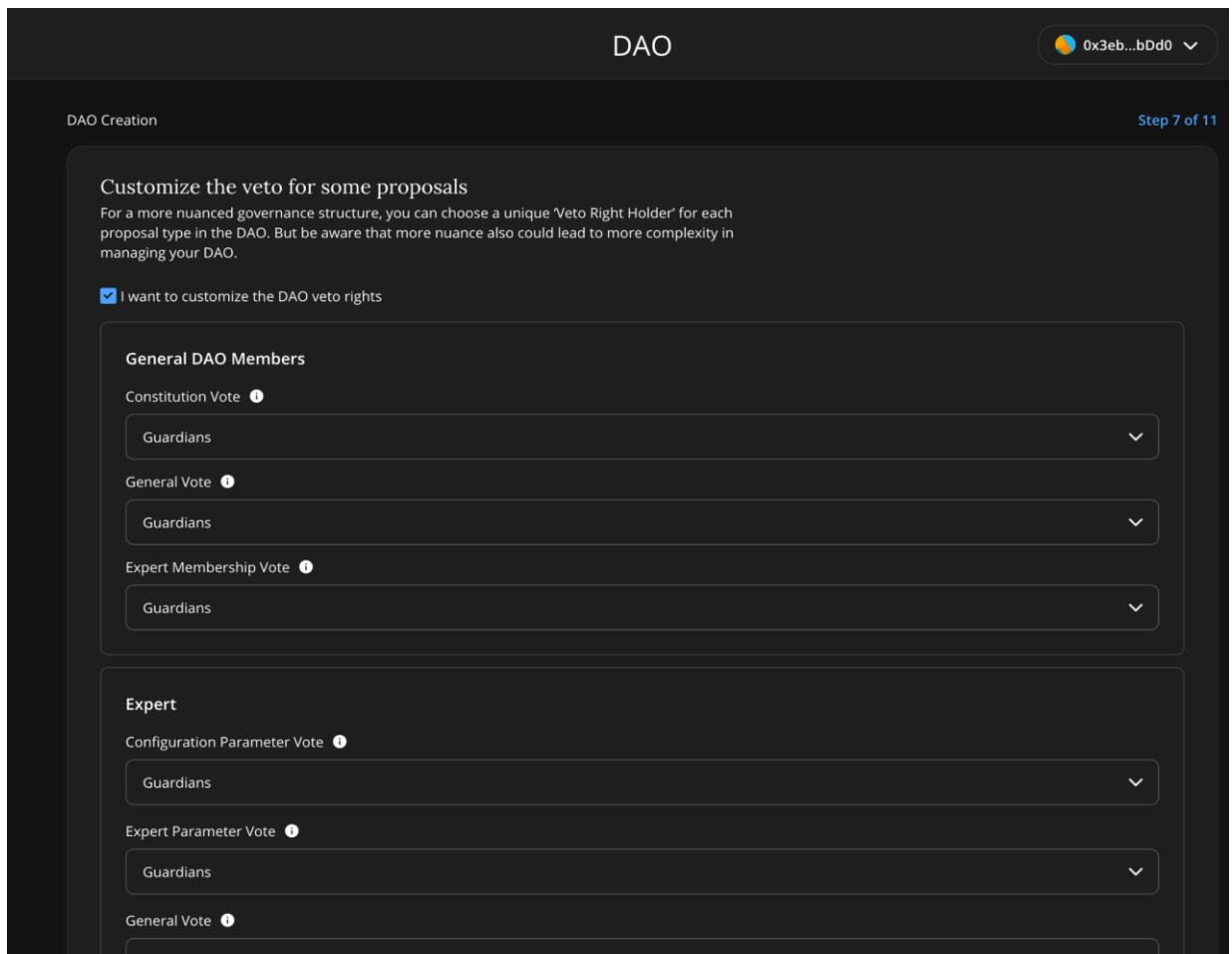


Рисунок 4.6 – Налаштування індивідуальних прав вето для різних типів  
голосувань

Восьмий етап передбачає інтеграцію додаткових модулів управління, які можуть бути обрані зі списку або створені користувачем. Вони функціонують автономно та можуть додаватися пізніше через голосування (рисунок 4.7).

На дев'ятому етапі виконується призначення адреси для зберігання винагород та активів організації (рисунок 4.8).

На десятому етапі користувач створює або обирає статут ДАО, що визначає правила прийняття рішень, ролі учасників та порядок врегулювання суперечок. Статут може включати положення про приватний арбітраж та бути зміненим шляхом голосування (рисунок 4.9).

DAO 0x3eb...bDd0

Add Modules to your DAO  
Modules extend the capabilities of your DAO. You can choose from the existing list of modules or deploy your own. Modules can also be added later to an existing DAO through proposals.

**Module 1** 🗑️

Module Type ⓘ  
Treasury

Module Control Panel ⓘ  
Guardians

Module Name ⓘ  
Treasury

Voting Situation Name ⓘ  
Treasury Voting

Veto Right Holder ⓘ  
Guardians

I want to enable a governance integration with Q ⓘ

Appeal Right Holder ⓘ  
No Appeal

External link ⓘ  
<https://dao.org/governance/modules/treasury.html>

Customize the initial voting parameters ⓘ

Voting Type ⓘ  
Community Voting

Voting Period ⓘ 300 seconds

Veto Period ⓘ 300 seconds

Proposal Execution Period ⓘ 1209600 seconds

Required Quorum ⓘ % 5

Required Majority ⓘ % 50

Required Veto Quorum ⓘ % 50

Рисунок 4.7 – Додаткові модулі управління ДАО

DAO 0x3eb...bDd0

DAO Creation Step 9 of 11

Add a DAO Treasury

I already have a treasury address for my DAO ⓘ

Treasury Address ⓘ  
0x3ebb1285D7cd1F82a87a8208A192d2144928bDd0

← Back Next →

Рисунок 4.8 – Призначення адреси для зберігання винагород та активів організації

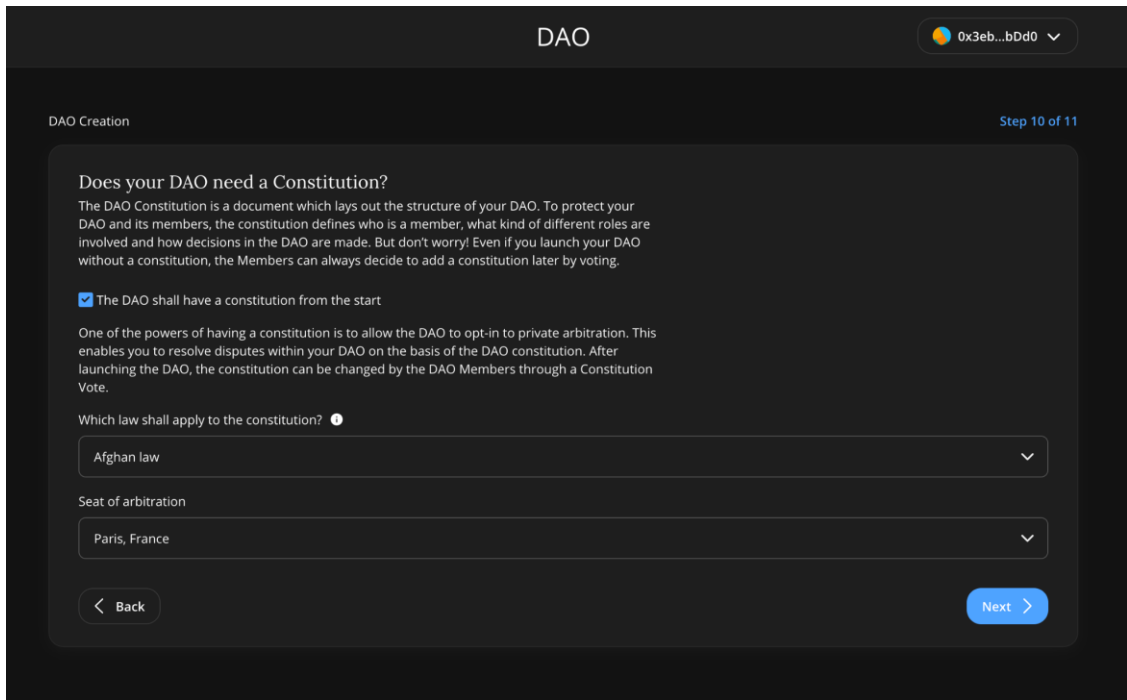


Рисунок 4.9 – Вибір статуту ДАО

Останній етап дозволяє перевірити всі введені дані перед створенням організації та за необхідності повернутись до попередніх етапів для внесення змін. Після цього система формує необхідні транзакції для запуску організації у блокчейн-мережі (рисунок 4.10).

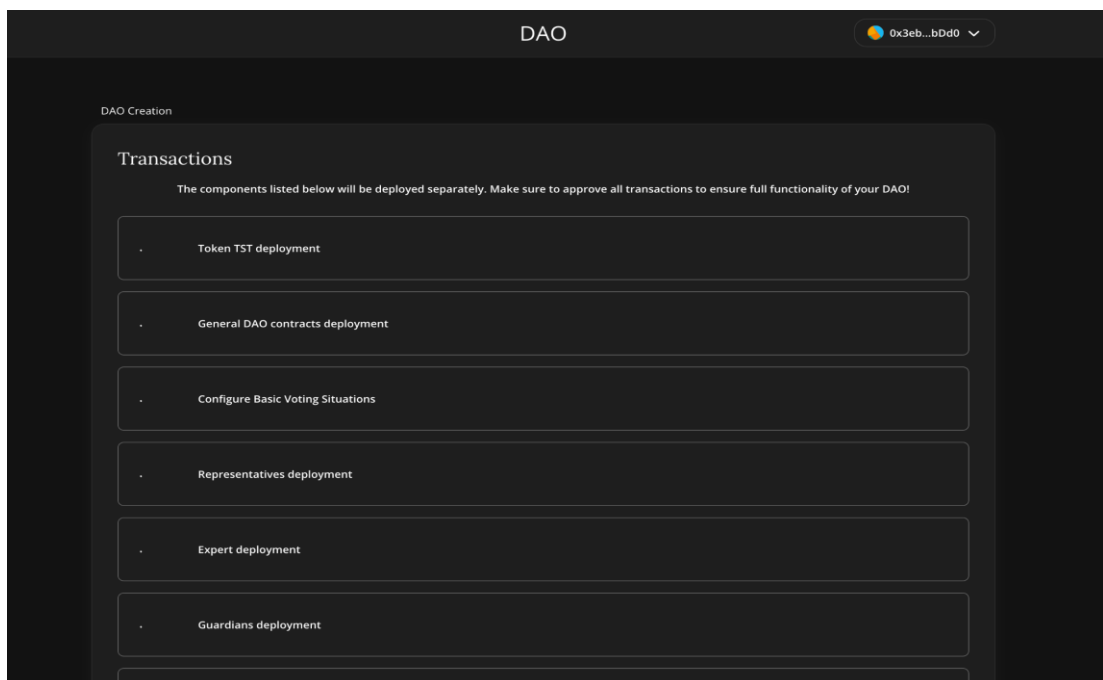


Рисунок 4.10 – Формування транзакції для запуску організації

На головній сторінці керування DAO Dashboard представлено доступні організації або можливість пошуку за адресою. Детальна інформація про обрану ДАО включає перелік панелей, токени, навігацію та інші ключові елементи (рисунок 4.11).

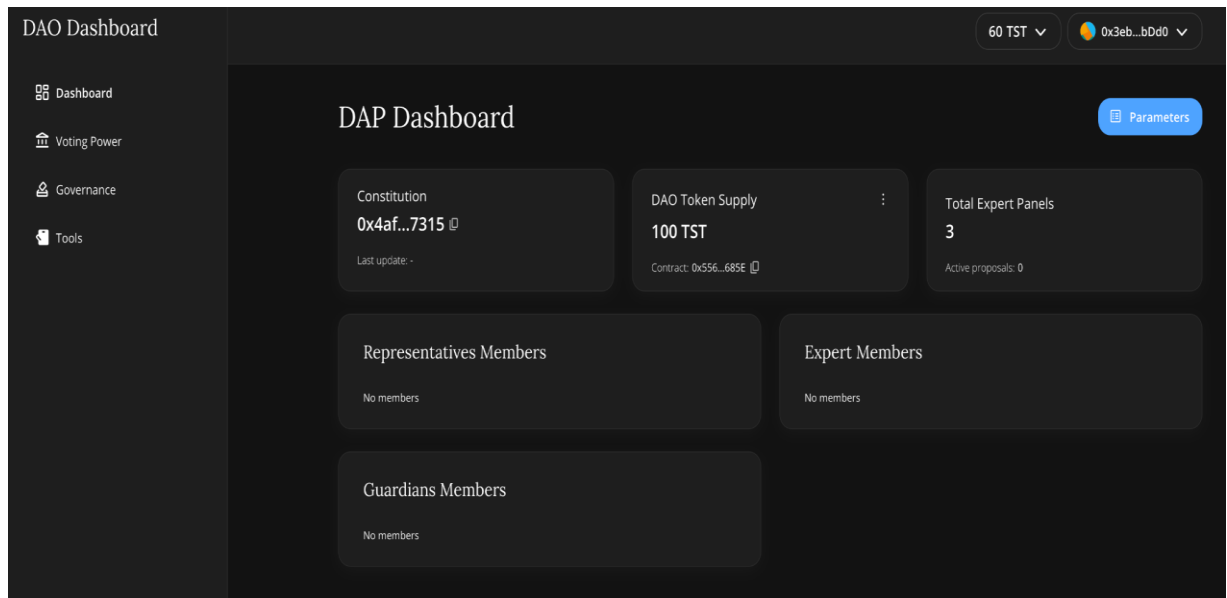


Рисунок 4.11 – Головна сторінка керування DAO Dashboard

На сторінці Parameters відображаються параметри організації в форматі «ключ – значення» з класифікацією за категоріями. Для участі в голосуваннях користувач повинен мати токени управління, які можна внести або вивести зі сторінки Voting Power. Інформаційна панель відображає стан токенів, зокрема наявні, задепоновані, заблоковані тощо (рисунок 4.12).

На сторінці Governance користувач доступно перелік активних опитувань, розділених за панелями та категоріями. Також подано інформацію про вагу голосу, статус учасника та стан токенів (рисунок 4.13).

Для створення нового опитування на сторінці New Proposal необхідно перейти до сторінки Proposal Details, яка містить деталі опитування, його статус, результати голосування, інформацію про вето та дії, доступні користувачу (рисунок 4.14).

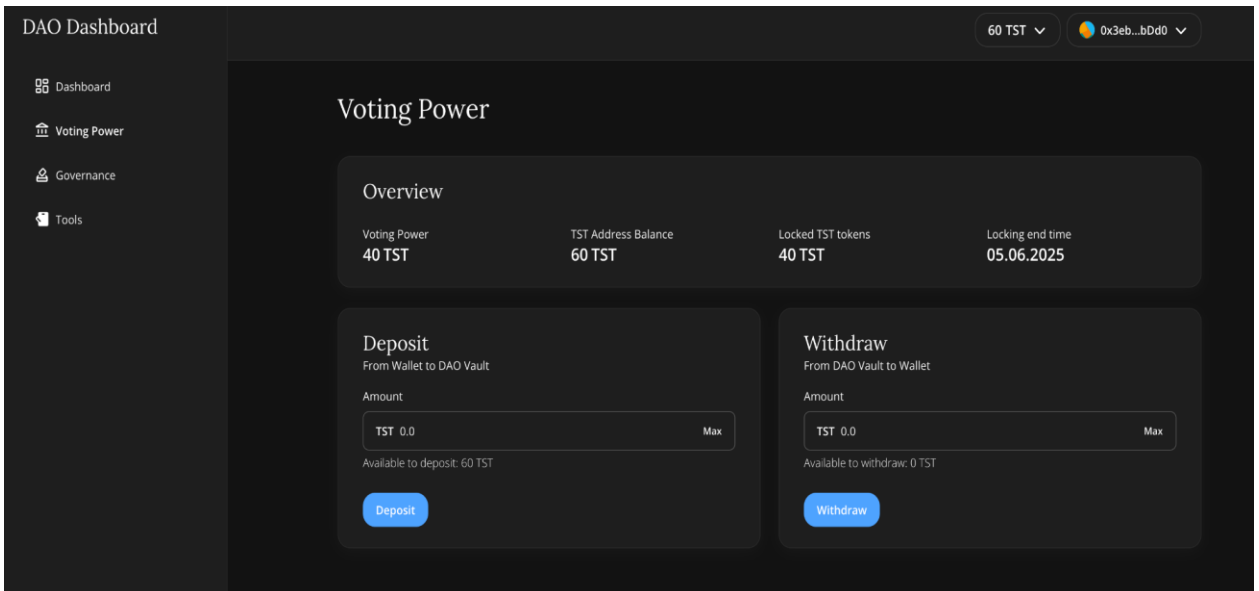


Рисунок 4.12 – Інформаційна панель про стан токенів на сторінці Voting Power

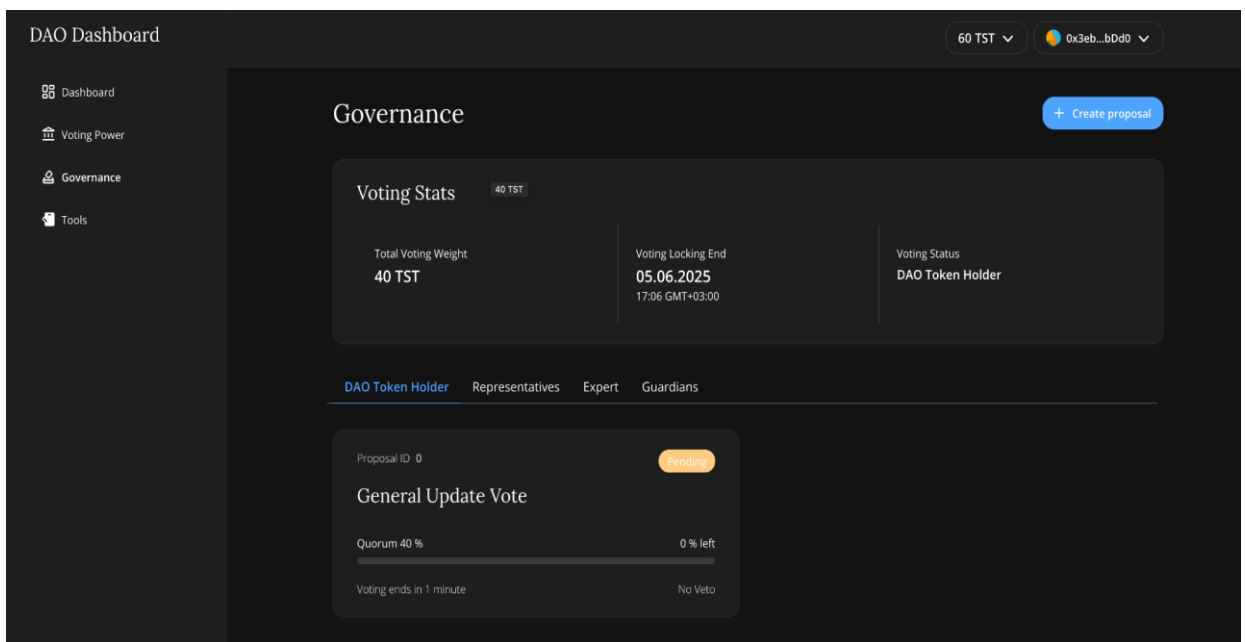


Рисунок 4.13 – Сторінка Governance

На сторінці Tools реалізовано функціональність додавання нових модулів або експертних панелей. Для додавання нового модуля необхідно створити опитування, отримати підтримку спільноти, після чого модуль буде впроваджено (рисунок 4.15).

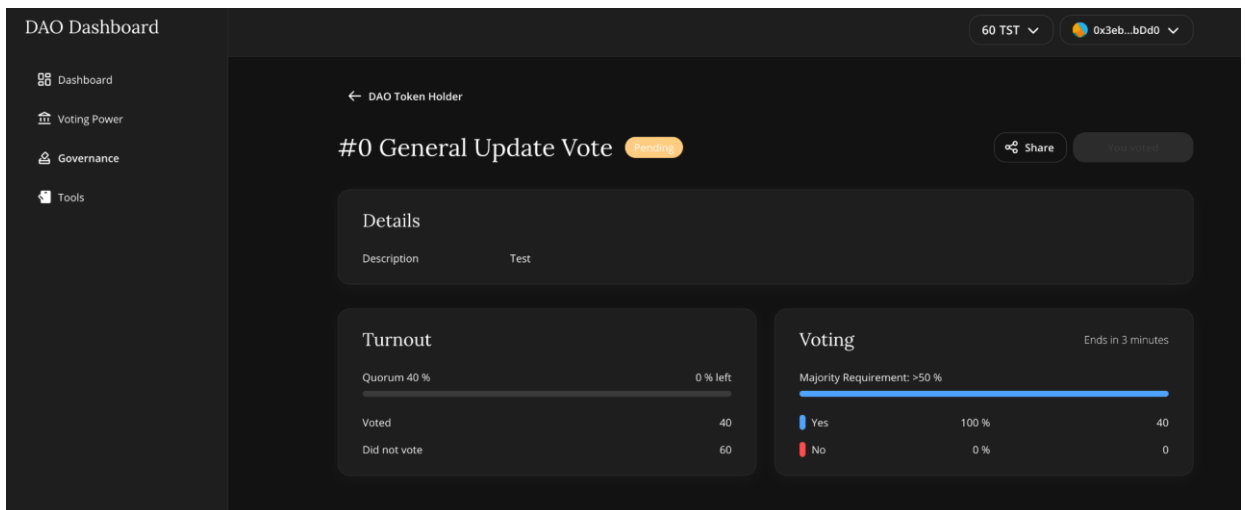


Рисунок 4.14 – Сторінка Proposal Details

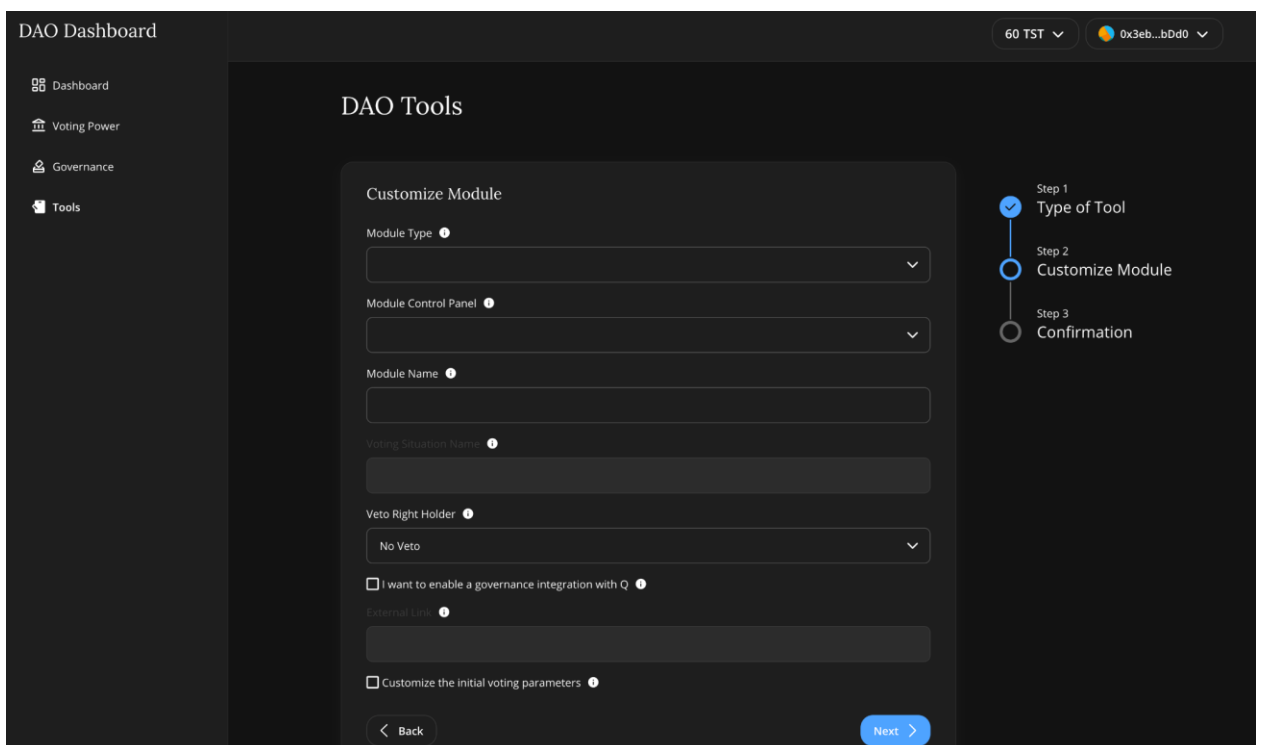


Рисунок 4.15 – Форма додавання модуля на сторінці Tools

Для створення експертної панелі необхідно ініціювати голосування, погодити його з учасниками, після чого експертна панель стає активною та доступною для користування.

Таким чином, блок Frontend забезпечує інтерактивну взаємодію з користувачем, реалізує графічний інтерфейс вебзастосунку та обробку даних

у взаємодії з блокчейн-компонентом. Графічний інтерфейс розроблено відповідно до принципів зручності, доступності й інтуїтивності. Реалізовано інтерактивні елементи, що забезпечують повноцінну функціональність вебзастосунку.

#### 4.2 Тестування та оцінка ефективності реалізації вебзастосунка

З метою комплексного аналізу ефективності функціонування децентралізованої автономної організації, побудованої на основі блокчейн-інфраструктури CoreChain, було здійснено тестування, спрямоване на оцінку технічних та соціальних метрик. В межах тестування проводився безперервний моніторинг функціонування вебзастосунку ДАО, який реалізує модель децентралізованого управління. Для збору емпіричних даних використовувалися відкриті аналітичні ресурси публічного моніторингового порталу CoreChain за період останніх трьох місяців [30].

Технічна ефективність оцінювалася через ключові показники, зокрема середній час генерації блоків, частота пропущених блоків, пропускна здатність мережі (TPS) та середня затримка транзакцій. Ці метрики дозволили визначити рівень надійності, стабільності та продуктивності дії валідаторів, а також здатність ДАО забезпечувати оперативне виконання управлінських дій.

Фінансова ефективність оцінювалася за середнім розміром комісій за транзакції, що свідчить про доступність участі в ДАО для користувачів. Показник децентралізації та рівень довіри до механізмів управління досліджувалися через коефіцієнт делегування стейкінгових токенів. Соціальні аспекти функціонування ДАО розглядалися через індекси голосувальної активності та частоту успішно реалізованих пропозицій. Додатково було проведено оцінку рівня безпеки та надійності системи, яка включала аналіз кількості зареєстрованих інцидентів та середнього часу відновлення мережної інфраструктури після збоїв.

Результати проведеного тестування, наведеного в таблиці 5.2, дають можливість здійснити всебічну оцінку ефективності ДАО в середовищі CoreChain, а також рівня соціальної взаємодії користувачів із децентралізованими інструментами управління. Систематизовані результати подано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Метрики тестування вебзастосунку для управління ДАО

№	Метрика	Значення
1	Середній час генерації блоку, с	3.2
2	Відсоток пропущених блоків (за останній місяць)	0.15%
3	Середня затримка транзакцій, с	0.8 секунди
4	Пропускна здатність, с	1500 транзакцій
5	Коефіцієнт делегування (від загальної кількості токенів)	70%
6	Середня вартість транзакції, \$	0.05
7	Активність голосування (середнє значення за 3 місяці)	45%
8	Частка успішно реалізованих пропозицій	85%
9	Кількість значних інцидентів безпеки	0
10	Середній час відновлення після збою, хв	< 10

Показник середнього часу генерації блоку свідчить про високу швидкодію системи та стабільну продуктивність валідаторів. Низький відсоток пропущених блоків показує високу надійність та доступність інфраструктури, а також ефективність механізмів контролю та мотивації учасників. Середня затримка транзакцій вказує на оперативне опрацювання дій ДАО та швидке оновлення стану мережі, що забезпечує безперебійне функціонування децентралізованого управління. Пропускна здатність, що

складає 1500 транзакцій на секунду, демонструє значний потенціал масштабованості та стійкість до пікових навантажень, що забезпечує стабільну та надійну роботу блокчейну в разі зростання кількості користувачів та транзакцій.

Коефіцієнт делегування відображає високий рівень довіри до валідаторів з боку користувачів, а також стійкість механізму делегування, що є основним елементом децентралізованого голосування. Середня вартість транзакції забезпечує фінансову доступність участі в DAO для широкого кола користувачів. Рівень активності голосування свідчить про зацікавленість спільноти в управлінні DAO, а високий відсоток реалізованих пропозицій про ефективність процедури ухвалення рішень та впровадження ініціатив.

Відсутність значних інцидентів безпеки протягом періода тестування підтверджує надійність обраної архітектури, а короткий середній час відновлення, що становить менше 10 хвилин, після локальних збоїв демонструє здатність мережі до швидкої адаптації та підтримки безперервної роботи.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що DAO, реалізована на базі CoreChain, є технічно ефективною, надійною, доступною для учасників та має високий потенціал масштабованості в умовах зростання навантаження та кількості учасників.

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі досягнуто основної мети – здійснено всебічний аналіз технологій та методів побудови та функціонування децентралізованих автономних організацій, реалізованих на основі блокчейн-архітектур. Особливу увагу приділено механізмам автоматизації управлінських процесів за допомогою смарт-контрактів, ролі електронних токенів у формуванні економіки участі, а також механізмам консенсусу, які забезпечують узгоджене прийняття рішень у децентралізованому середовищі.

Проведене тестування вебзастосунку, що реалізує модель управління ДАО в екосистемі CoreChain, дозволило підтвердити ефективність децентралізованих моделей управління. Аналіз технічних метрик ефективності функціонування вебзастосунку засвідчив високий рівень стабільності, надійності, безпеки та залучення спільноти до процесів прийняття рішень.

Отримані результати підтверджують доцільність впровадження ДАО як інструменту для створення нових моделей самоврядних цифрових спільнот та організацій, здатних ефективно функціонувати на основі прозорості, з орієнтацією на соціальну відповідальність в надійних інформаційних системах. Перспективними напрямками подальших досліджень є оптимізація механізмів голосування, аналіз правових аспектів впровадження ДАО та дослідження моделей міжмережної взаємодії децентралізованих систем.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Babaiev, V., & Kravchenko, O. (2025). Blockchain technologies in agricultural sector transformation: ESG-oriented public management model for post-war recovery. *Pressing Problems of Public Administration*, 1(66), 88–110.
2. Сержанов, В. В., Андришин, В. П., & Кочан, Я. Л. (2023). Децентралізовані автономні організації (дао), як блокчейн допомагає людям працювати над спільною метою та інвестувати, недовіряючи один одному. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Економіка»*, (2 (62)), 129-134.
3. Іщук М. О. Можливості застосування технології блокчейн для проведення електронних голосувань / М.О. Іщук, С.М. Шевченко // *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Стратегії кіберстійкості: управління ризиками та безперервність бізнесу» 27 лютого 2025 року. Київ. 2025. С. 200-204.*
4. Гусаревич, Н. (2023). Тенденції застосування технології блокчейн у забезпеченні волевиявлення громадян. *Голова оргкомітету.*
5. . Птащенко О.В. Financial inclusion in the modern digital space. *Актуальні проблеми економіки, управління та маркетингу в аграрному бізнесі: Матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, м. Дніпро, 05-06 жовтня 2023 р. Дніпро, ДДАЕУ, 2023. 342 с. (С.250-251)*
6. Chen, Y., & Bellavitis, C. (2020). Blockchain disruption and decentralized finance: The rise of decentralized business models. *Journal of Business Venturing Insights*, 13, e00151. <https://doi.org/10.1016/j.jbvi.2019.e00151>
7. КриптоПанда. Ethereum та смарт-контракти. Друкарня. URL: <https://drukarnia.com.ua/articles/ethereum-ta-smart-kontrakti-W4dC6> (дата звернення: 16.06.2025).

8. Сергій, К., & Гусаревич, Н. (2022). Застосування технології виборчого блокчейну в системі цифрового голосування. *Аспекти публічного управління*, 10(2), 23-30.
9. Яланецький, В. А., & Лашин, Л. І. (2022). Веб-сервіс таємного голосування на блокчейні. *Збірник тез доповідей підготовлено за матеріалами Міжнародної наукової інтернет-конференції (випуск 71) 18-19 жовтня 2022 р. на сайті [www.konferenciaonline.org.ua](http://www.konferenciaonline.org.ua)*, 47.
10. Volkovskiy, O., Pachevskiy, M., & Obydennyj, E. (2021). Concept of digital voting based on the Blockchain technology. *Системні технології*, 6(137), 14-23.
11. Пуцентейло, О. (2021). Перспективи використання технології blockchain в бізнесі.
12. Гаврилова, М., Гриньова, С., Закоморної, К., Жаровської, І., Камардіної, Ю., & Полякової, А. (2023). Практика нормативно-правового забезпечення системи електронного голосування на Blockchain: окремі аспекти міжнародного досвіду. *Правові новели*, 276.
13. Щербаков, С., & Хрипко, С. (2024, February). Аналіз технології blockchain. In IX International scientific and practical conference «Scientific Problems and Options for Their Solution»(February 7-9, 2024) Bucharest, Romania, International Scientific Unity. 2024. 310 p. (p. 68).
14. Теремецький, В. І., & Дуліба, Є. В. (2024). Переваги та ризики впровадження електронного голосування: досвід для України.
15. Yalanetskyi, V. Системи електронного голосування на блокчейні. *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, 29(2), 67-72.
16. Ткаченко А. Смарт-контракти. Блоги про бізнес, політику, юридичну систему | LIGA.net. URL: <https://blog.liga.net/user/antkachenko/article/51685> (дата звернення: 16.06.2025).
17. Ji, Mingtao & Liang, GuangJun & Li, Meng & Zhang, Haoyan & He, Jiacheng. (2021). Security Analysis of Blockchain Smart Contract: Taking Reentrancy Vulnerability as an Example. 10.1007/978-3-030-78621-2\_41.

18. Samreen, N. F., & Alalfi, M. H. (2020, February). Reentrancy vulnerability identification in ethereum smart contracts. In 2020 IEEE International Workshop on Blockchain Oriented Software Engineering (IWBOSE) (pp. 22-29). IEEE.
19. Eshghie, M., Artho, C., & Gurov, D. (2021, June). Dynamic vulnerability detection on smart contracts using machine learning. In Proceedings of the 25th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (pp. 305-312).
20. Reentrancy Attacks and The DAO Hack Explained | Chainlink. Chainlink Blog. URL: [https://blog.chain.link/reentrancy-attacks-and-the-dao-hack/?utm\\_source=chatgpt.com](https://blog.chain.link/reentrancy-attacks-and-the-dao-hack/?utm_source=chatgpt.com) (date of access: 16.06.2025).
21. Samreen, Noama & Alalfi, Manar. (2021). A Survey of Security Vulnerabilities in Ethereum Smart Contracts. 10.48550/arXiv.2105.06974.
22. Wang, Z., Chen, J., Wang, Y., Zhang, Y., Zhang, W., & Zheng, Z. (2024). Efficiently detecting reentrancy vulnerabilities in complex smart contracts. Proceedings of the ACM on Software Engineering, 1(FSE), 161-181.
23. Kushwaha, S. S., Joshi, S., Singh, D., Kaur, M., & Lee, H. N. (2022). Ethereum smart contract analysis tools: A systematic review. Ieee Access, 10, 57037-57062.
24. Rameder, H., Di Angelo, M., & Salzer, G. (2022). Review of automated vulnerability analysis of smart contracts on ethereum. Frontiers in Blockchain, 5, 814977.
25. Aufiero, S., Ibba, G., Bartolucci, S., Destefanis, G., Neykova, R., & Ortu, M. (2024). Dapps ecosystems: Mapping the network structure of smart contract interactions. EPJ Data Science, 13(1), 60.
26. Samreen, N. F., & Alalfi, M. H. (2023). An empirical study on the complexity, security and maintainability of Ethereum-based decentralized applications (DApps). Blockchain: Research and Applications, 4(2), 100120.
27. Cuong, L. (2024). Smart contract application on blockchain, 6.

28. Jiang, Z., Chen, K., Wen, H., & Zheng, Z. (2022). Applying blockchain-based method to smart contract classification for CPS applications. *Digital Communications and Networks*, 8(6), 964-975.

29. Dhillon, V., Metcalf, D., Hooper, M., Dhillon, V., Metcalf, D., & Hooper, M. (2021). Unpacking ethereum. *Blockchain enabled applications: Understand the blockchain ecosystem and how to make it work for you*, 37-72.

30. Stake Bitcoin & Explore Bitcoin DeFi. / Coredao. 2024. Режим доступу до ресурсу: <https://scan.coredao.org/>), (Дата звернення 18.11.2024).

31. Хромов, Н. (2025). Аналіз децентралізованих автономних організацій у корпоративному управлінні. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 2(1 (92)), С. 234-238.