

ЯКОВЧУК М. В.Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0003-1923-1979
e-mail: kolani4ua@gmail.com**МІХАЛЕВСЬКИЙ В. Ц.**Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-8197-8005
e-mail: cezar_mv@ukr.net**МЕДВЕДЧУК Н. К.**Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0003-1337-2121
e-mail: medvedchuk.nelya@gmail.com**СКРИПНИК Т. К.**Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0002-8531-5348
e-mail: marine_1996@ukr.net**СЕМЕНЮК Б. В.**Хмельницький національний університет
ORCID ID: 0000-0001-6946-2818
e-mail: faludore@gmail.com

ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНА СИСТЕМА НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ БЛОКЧЕЙН ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ

У статті розглянуто і досліджується система прийняття рішень у виробничих процесах сільськогосподарського підприємства. В динамічних умовах прийняття рішень та оперативних корегувань діяльності необхідна методологія оперативного аналізу поточної ситуації для отримання необхідних результатів. Найперспективнішими для ведення бізнесу є децентралізовані системи на основі блокчейну. Областями використання децентралізованих систем є виробництво та логістика. Глобалізоване виробництво та розподіл сільськогосподарських завдань принесли нову віху щодо розвитку та оптимізації вже наявних систем. Зростання кількості питань, пов'язаних з оптимізацією внутрішніх процесів підприємств, викликало нагальну потребу для ефективного рішення трекінгу процесів, що виступає як важливий інструмент управління якістю та забезпечує належний захист процесу в ланцюжку виробництва сільськогосподарської продукції. Блокчейн - одна з основних технологій, яка може забезпечити інноваційність рішення для відстеження продуктів у сільському господарстві та ланцюгах постачання. Смарт-контракти Ethereum можуть ефективно відстежувати та забезпечувати безперерйну інтеграцію господарських операцій та робочих процесів для стабільних поставок сільськогосподарської продукції.

Ключові слова: система оптимізації, блокчейн, децентралізована система, смарт-контракт, Ethereum, інформаційна технологія, web-додаток, Node.js, Ganache.

MIKOLA YAKOVCHUK, VITALII MIKHALEVSKYI,
NELIYA MEDVEDCHUK, TETIANA SKRYPNYK, BOGDAN SEMENYUK
Khmelnytsky National University

DECENTRALIZED SYSTEM BASED ON BLOCKCHANE TECHNOLOGY FOR DECISION MAKING IN THE AGRICULTURAL SECTOR

The article considers and investigates the system of decision making in the production processes of an agricultural enterprise. In dynamic conditions of decision-making and operational adjustments, a methodology of operational analysis of the current situation is needed to obtain the necessary results. Decentralized blockchain-based systems are the most promising for doing business. Usage areas of decentralized systems are production and logistics. Globalized production and distribution of agricultural tasks have brought a new milestone in the development and optimization of existing systems. The growing number of issues related to the optimization of internal processes in enterprises, has caused an urgent need for an effective solution to process tracking, which serves as an important tool for quality management and provides adequate protection of the process in the agricultural production chain.

Blockchain is one of the main technologies that can provide innovative solutions for tracking agricultural products and food supply chains. Modern agricultural supply chains are a complex ecosystem that includes a number of stakeholders and therefore complicates the verification of important criteria: country of origin, stages of crop development, compliance with quality standards, yield monitoring. Ethereum Smart Contracts can effectively monitor and seamlessly integrate business operations and workflows for a stable supply of agricultural products. The agricultural sector has great potential for modernization and optimization of production, which in general can be a breakthrough for the economy as a whole. It is thanks to him that the country receives a significant flow of currency. After the abolition of tariffs restricting the supply of products to Europe, new markets were opened for production. Demand for agricultural products is high and by modernizing the management system, we will be able to get even better results. Also, the involvement of information technology provides good conditions for productive and confident development of small and medium-sized agricultural enterprises and farms. For example, blockchain technology will provide access to new markets and reduce the bureaucratic burden on the company, simplify communication with suppliers and customers.

Keywords: optimization system, blockchain, decentralized system, smart contract, Ethereum, information technology, web application, Node.js, Ganache.

Вступ

Сучасні методи обробки даних дозволяють застосовувати інформаційні технології в різних сферах людської діяльності, зокрема, в аграрному секторі. В динамічних умовах прийняття рішень та оперативних

корегувань діяльності необхідна методологія аналізу поточної ситуації для отримання необхідних результатів. Найперспективнішими для ведення бізнесу є децентралізовані системи на основі блокчейну (blockchain). Областями використання децентралізованих систем є виробництво та логістика [1].

Однією з ефективних технологій в промисловому виробництві є система побудови децентралізованих додатків за технологією блокчейн, запропонована у 2008 році Сатоші Накамото для вирішення задачі підвищення відмовостійкості розподілених систем [6]. Протягом декількох років технологія блокчейн стала стрімко набирати популярність. Її можна охарактеризувати як децентралізовану розподілену базу даних, де кожен з елементів цієї структури має можливість підключитися до мережі та запустити виконання транзакційного коду. Для збереження історії транзакцій використовуються спеціалізовані блоки, що утворені із врахуванням максимальної безпеки збереження інформації. Блоки, які вже потрапили в систему блокчейн, слабо маніпулюються. Для входу в блокчейн-систему потрібно провести верифікацію цього блоку кожними елементом децентралізованої системи. Технологія блокчейн дає змогу вирішувати комплекс проблем, пов'язаних з безпекою, швидкістю та доступністю. Системи, які базуються на децентралізованих вузлах, викликають зацікавленість серед малого та середнього бізнесу, постільки зменшуються ризики при взаємодії елементів мережі.

В Україні за останні роки було створено багато продуктових компаній, які займаються різноманітними операціями по виробництву і розповсюдженню товару [1]. Вони розробили власні інтернет-сервіси та додатки для надання своїх послуг і зручного відслідковування товару. Щоправда, у сфері сільського господарства такі сервіси ще не освоєно в достатній мірі і послуги логістики є досить дорогими та дискомфортними, що заважає якісно розвиватись цьому виду бізнесу. Враховуючи високий попит на продукцію сільського господарства, проблема оптимізації виробництва та поставок піднялась на новий рівень. Тому виникає необхідність створення інформаційної технології оптимізації виробництва в сільському господарстві, щоб допомогти господарствам будувати більш оптимізовані та раціональні шляхи для власної логістики. Глобалізоване виробництво та розподіл сільськогосподарських завдань принесли нову віху щодо розвитку та оптимізації вже наявних систем. Зростання кількості питань, пов'язаних з оптимізацією внутрішніх процесів підприємств, викликало величезну потребу для ефективного рішення трекінгу процесів, що виступає як важливий інструмент управління якістю та забезпечує належну безпеку процесу в ланцюжку виробництва сільськогосподарської продукції.

Виклад основного матеріалу

Блокчейн – одна з основних технологій, яка може забезпечити інноваційність рішення для відстеження продуктів у сільському господарстві та ланцюгах постачання продуктів харчування. Сучасні ланцюги поставок сільськогосподарської продукції є складною екосистемою, яка включає певну кількість зацікавлених сторін, що ускладнює перевірку важливих критеріїв, як: країна походження, етапи розвитку сільськогосподарських культур, відповідність стандартам якості, моніторинг врожайності. Смарт-контракти Ethereum можуть ефективно відстежувати та забезпечувати безперерйну інтеграцію господарських операцій та робочих процесів для стабільних поставок сільськогосподарської продукції [4]. Аграрний сектор має великий потенціал для модернізації та оптимізації виробництва, що в загальному може стати проривним для економіки в цілому. Саме завдяки ньому в країну надходить значний потік валюти [1]. Після скасування мит, які обмежували поставки продукції в Європу, для виробництва відкрились нові ринки збуту. Попит на аграрну продукцію є високим і, провівши модернізацію системи управління, ми зможемо отримати ще кращі результати. Також залучення інформаційних технологій надає хороші умови продуктивного і впевненого розвитку малих і середніх агропідприємств та фермерських господарств. Наприклад, технологія блокчейн [5] забезпечить доступ до нових ринків збуту та знизить бюрократичне навантаження на підприємство, спростить комунікацію з постачальниками та покупцями. Рис. 1 ілюструє загальний огляд архітектури системи аграрного підприємства.

Використання розумних контрактів (смарт-контрактів) на базі блокчейну гарантує перевіреність інформації для всіх зацікавлених сторін. Так як блокчейн є незмінною, децентралізованою, спільною публічною книгою транзакцій, всі угоди про продаж продукції між зерновим елеватором і фермером та загальний обсяг продукції реєструються. Дані транзакції можна в будь-який час перевірити. Обсяг реалізованого зерна між суб'єктами господарювання із погодженими умовами не можна змінювати. Крім того, зерна різних критеріїв якості не можна змішувати разом для продажу, оскільки загальний обсяг продукції відомий для всіх зацікавлених сторін. Такий рівень контролю процесів дозволить розвантажити організаційний сегмент бізнесу, що в подальшому позитивно вплине на об'єми виробленої та збутої продукції.

Значні території родючої землі дозволяють використовувати великі площі для ведення сільського господарства, що в поєднанні з новітніми технологіями дозволить значно збільшити об'єми виробництва. Аналітики аграрних підприємств про це знають і охоче вкладають кошти в подальший розвиток систем.

Аналіз сучасного стану в сільськогосподарському виробництві України показує, що найбільше витрат припадає саме на процес збирання та транспортування [2]. Так як експорт аграрної продукції став одним з основних елементів торгівельної діяльності України, це є критичним для нашої економіки. Дані проблеми потребують швидкого і якісного вирішення. Основну роль мають виконувати інноваційні впровадження у виробництво. Одним з головних напрямків інноваційної політики в аграрному секторі є впровадження електронних систем управління наявним персоналом, що призведе до підвищення продуктивності виробництва з метою зниження витрат на опрацювання, збереження і транспортування одиниці продукції [5]. На

сьогодні активно відбувається пошук та аналіз способів покращення вже наявних систем. Серед них перспективними є децентралізація за допомогою технології блокчейн [6] та напрямок аналізу раціонального планування, який враховує: а) наявну техніку; б) вільні робочі бригади; в) оптимальні маршрути; г) оптимальні варіанти продажу.

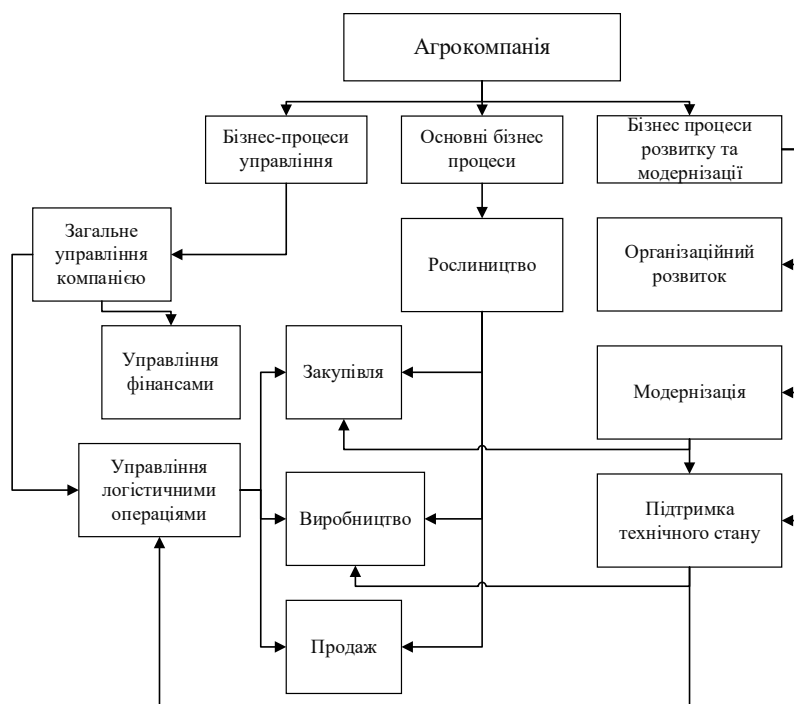


Рис. 1. Схема роботи аграрного підприємства

Планування маршруту є однією з фундаментальних проблем управління логістикою. Серед наявних досліджень значущим параметром виділяють врахування надзвичайних ситуацій, які можуть відбутись на маршруті. Більша частина існуючих робіт по оптимізації маршрутів основним фактором обирають час. Однак, безпеку маршруту також слід розглядати як одну з головних цілей, враховуючи вразливість людей та техніки в надзвичайних ситуаціях [3]. Сучасні сільськогосподарські інструменти згруповані відповідно до обсягу завдань, які вони виконують, та частоти їх застосування. Програмне забезпечення для управління сільськогосподарськими підприємствами використовується для оптимізації та управління логістичною та виробничою діяльністю [5]. Програмне забезпечення допомагає при автоматизації сільськогосподарської діяльності: управління записами; зберігання даних; моніторинг сільськогосподарської діяльності; спрощення графіків виробництва та роботи; аналіз можливих модернізацій виробництва; формування оптимальних маршрутів; підтвердження виконання завдання. Програмне забезпечення налаштоване відповідно до конкретних вимог фермерського господарства, оскільки кожна фірма виконує певну діяльність [6]. Варто відзначити, що сільське господарство – це вузькоспеціалізована діяльність, тому зазвичай в програмних системах передбачається можливість масштабування. Доволі легко для масштабування піддається система блокчейну. Розкидання навантаження по всій системі позитивно впливає на безпеку і швидкодію.

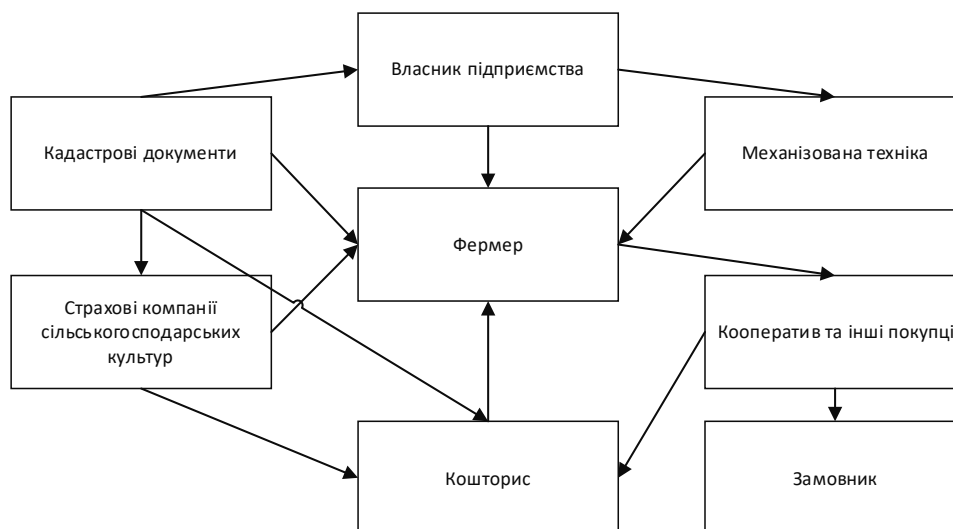


Рис. 2. Структура роботи смарт-контракту

Розумні контракти Ethereum мають потенціал для глобальної трансформації системи продажу сільськогосподарських та харчових продуктів у єдине ціле (рис. 2).

Це розумна система, яка гарантує якість товару, що поставляється до кінцевого споживача. Рішення, побудовані на його базі, зосереджені на використанні розумних контрактів автономно на загальнодоступній блокчейн-платформі Ethereum. Виконання функцій смарт-контрактів та коду здійснюється тисячами вузлів, що розташовані по всьому світу, результати виконання узгоджуються усіма вузлами цієї структури [4]. Обробка вузла може виконуватись будь-якою обчислювальною машиною, яка збирає, перевіряє та здійснює транзакції. Вузли також зберігають дані та результат цих транзакцій у бухгалтерській книзі, яка відтворюється і синхронізується усіма вузлами. У системі блокчейн розумні контракти отримують транзакції у формі викликів функцій, а також дозволяють учасникам здійснювати постійний моніторинг, відстеження та, в разі чого, отримувати відповідні сповіщення про порушення. Рис. 3 ілюструє загальний вигляд архітектури системи автоматизації відстеження виробленої продукції.

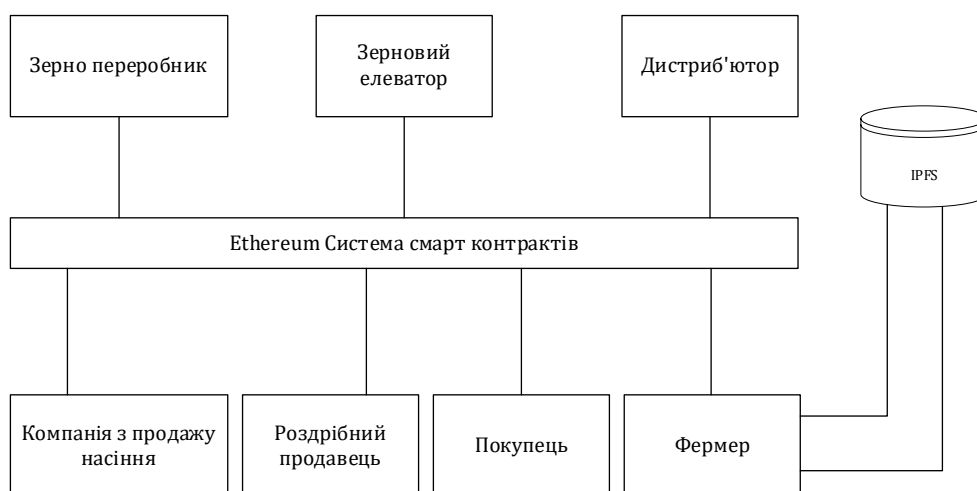


Рис. 3. Архітектура системи автоматизації відстеження продукції за допомогою смарт-контрактів Ethereum

Кожна організація-учасниця має роль, асоціацію та взаємодію зі смарт-контрактом. Участь беруть сім сутностей, їх роль узагальнено [1, 4]: 1) компанія з продажу насіння – це організація, яка виробляє величезну кількість сертифікованого насіння, видає ідентифікатори на партію продукції, що продається певному фермеру. Насіннева компанія продає продукцію через блокчейн, оскільки це полегшує фермерам доступ до купівлі посадкового матеріалу у вигляді насіння, добрив та інших необхідних речовин, які підтримують сільськогосподарське виробництво; 2) фермер – працює з землею. Веде моніторинг за зростанням врожаю. Співпрацює з компаніями та зерновими елеваторами; 3) зерновий елеватор – це аграрний об'єкт, який зберігає зерно. Оператор зернового елеватора визначає сорт, якість зерна і закуповує зерно у фермера. При зберіганні зерна слід враховувати такі фактори: температура, вологість, тривалість зберігання; 4) дистриб'ютор – сховище, яке здійснює покупки кінцевих продуктів з елеватора. Сутність, яка бере участь у процесі розповсюдження харчових продуктів для широкого кола продавців; 5) роздрібний продавець – зазвичай купує готову продукцію у дистриб'ютора партіями з ідентифікаторами і продає споживачам у невеликій кількості. Стандартні ідентифікатори зберігають ієрархічну структуру відносин, що забезпечує можливість відстеження продукту; 6) покупець – це кінцевий користувач, який купує та споживає продукт у роздрібною продавця; 7) зернопереробник – купує зерно з елеватора, очищає зерно, аналізує зерно на наявність вологи, усуває сторонні матеріали та перероблює необроблене зерно.

За останній час Україна значно нарощує об'єми виробництва в сільському господарстві [1]. Росте і ефективність, проте впливає низка негативних чинників, більшість з яких можна вирішити за допомогою проведення модернізації систем організації. Переведення систем організації завдань та логістики на децентралізовану платформу блокчейн позитивно вплине на ефективність виконаних завдань, покращить комунікацію між різними робочими групами. Блокчейн – це цифровий реєстр, що реалізовується в розподіленій системі, так що інформацію в середині неможливо зламати. Структура такої системи немає централізованого органу управління. На своєму базовому рівні блокчейн дозволяє спільноті користувачів записувати транзакції в спільній книзі в межах цієї системи так, що при нормальній роботі мережі блокчейн жодна транзакція не може бути змінена після публікації. Фундаментальні концепції блокчейну, закладені технології криптовалют, були поєднані з кількома іншими технологіями та обчислювальними концепціями для створення сучасних криптовалют. Першою такою криптовалютою на основі блокчейна став Bitcoin. У блокчейні Bitcoin міститься інформація, що представляє дані про електронні статки. Блокчейн фіксує будь-яку транзакцію, дозволяючи всім учасникам мережі перевірити дійсність виконаної операції. Кожна з зацікавлених сторін може зберегти копію реєстру, що запобігає випадковій втраті даних через збої. Блокчейн підтримується та керується децентралізованою групою учасників. Криптографічні механізми шифрування та повна децентралізація робить блокчейн стійким до спроб модифікації блоків або підробки транзакцій. На рис. 4 продемонстровано роботу ланцюгової архітектури блокчейн.

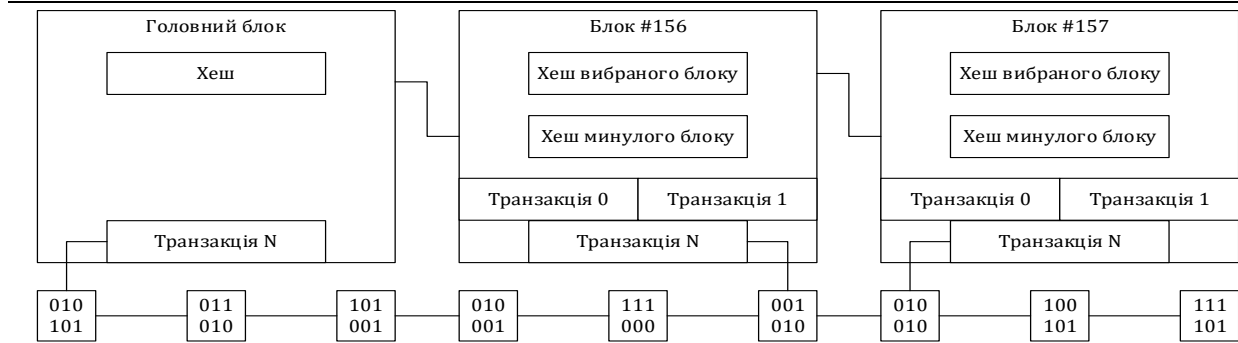


Рис. 4. Ланцюгова архітектура блокчейн-системи

На рис. 4 зображено структуру блоків в хронологічному ланцюгу. Кожен блок зберігає інформацію про часові операції, що мають перевіритись зацікавленими сторонами в мережі. Погодивши консенсус, блок потрапляє на зберігання в реєстр блокчейну і вже не може бути зміненим. У децентралізованих системах консенсус – це метод, завдяки якому мережа встановлює джерело істини. Використовуючи технологію блокчейн виникає важливе питання вибору ефективного протоколу консенсусу. Якщо централізовані системи визначають джерело істини певним контрольованим органом, то децентралізовані системи орієнтуються на масив незалежних систем, щоб взаємодіяти в рамках єдиної мережі. Вузли єдиної системи повинні мати аналогічний обчислювальний алгоритм, завдяки якому можна дійти до певної згоди на рахунок істинності та точності записаних даних. Консенсус блокчейну міститься в твердженні, що всі вузли працюють з типізованим однаковим розподіленим реєстром. Алгоритм консенсусу – це правила, за якими відбувається генерація блоків у блокчейні. Залежно від алгоритму, що використовується, в одних блокчейнах працює механізм майнінгу для видобутку нової інформації, а в інших стейкінг, одні мережі працюють швидше, але схильні до централізації, інші повільніше, але їх складно взяти під контроль недобросовісним учасникам мережі. Децентралізовані системи мають взаємодіяти з криптографічною системою одна одної, щоб досягти повного консенсусу. Основним завданням консенсусу є отримання високого рівня відмовостійкості. Важливо розуміти відмінності між Proof of Work, Proof of Stake та іншими алгоритмами консенсусу, щоб правильно оцінити перспективи блокчейн-проекту, його простоту до масштабування.

Проаналізувавши область використання децентралізованих систем можна побачити, що 80% функціонуючих систем активно використовують консенсус Proof of Work (PoW). Проте низка недоліків PoW-консенсусу, а саме, надмірне використання обчислювальних потужностей, потребує доволі значних затрат електроенергії на підтвердження транзакцій або генерацію нових блоків. Найкращий приклад такого неефективного використання ресурсів – це біткойн. На підтримку функціоналу мережі витрачаються величезні ресурси. Інколи обсяги спожитої електроенергії досягають рівня окремих країн. Проте, ці проблеми можна вирішити впровадженням більш гнучких та економних алгоритмів. Завдяки впровадженню алгоритма Proof of Stake перевіряючі валідатори уже не мають залучати величезні обсяги обчислювальної техніки заради підтвердження транзакції. Що в свою чергу виводить такі переваги як: економія енергії на роботу побудованої мережі; простота масштабування системи; для проведення дестабілізації роботи системи потребуються залучення великої кількості вкладених фінансів; більша безпека транзакцій; впровадження більшої пікової пропускну здатності; можливість утворення нових типів смарт-контрактів.

Відмінність характеристик алгоритмів узагальнено в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики різних алгоритмів консенсусу

Характеристика	Proof of Work	Proof of Stake
Вид алгоритму	Кінцевий	Кінцевий
Ресурсозатратність	Дуже висока	Помірна
Масштабованість	Відмінна	Відмінна
Придатність до використання в публічних мережах	Придатний	Придатний
Відмовостійкість	55%	60%

Можна стверджувати, що дані алгоритми чудово підходять для впровадження в децентралізовану виробничу систему. На сьогодні сформувалось декілька ключових типів блокчейн-систем. Насамперед, різниця полягає в доступі до даних про транзакції. Існують як загальнодоступні, так і приватні мережі [6].

Загальнодоступні блокчейн-системи дозволяють приєднатись в будь-який час будь-якому користувачу. Найчастіше в даному типі блокчейн-систем всі транзакції проходять через декілька глибоких систем криптографічних перевірок. Висока ефективність таких систем досягається постійним оновленням проміжних протоколів, що запобігає негативним впливам на систему. Це є ключовою функцією в створенні незалежних децентралізованих систем з мінімальним технічним обслуговуванням. Такі мережі надають однакові права для всіх користувачів, де кожен з них може вільно виконувати основні функції системи. Недоліками такого типу системи є високий рівень обчислювальної спроможності та низький рівень безпеки.

Приватні блокчейн-системи мають доволі схожу архітектуру з загальнодоступними, але підтвердження транзакцій і перегляд реєстрів має лише та організація, що надає послуги блокчейн. По рівню безпеки така система є менш захищеною, так як організація може вільно змінювати реєстр на свій погляд. Також такі системи мають менший рівень шифрування [6]. Приватні мережі мають різні спеціалізовані підтипи. Є певні організації, які можуть налаштувати ексклюзивну мережу для своєї вигоди. Такі мережі використовуються задля контролю над ресурсами мережі. Доступ до управління мережею теж обмежується по аналогії з приватними корпоративними мережами, але, щоб стати учасником, потрібно отримати запрошення від вже наявних клієнтів.

Платформа Ethereum є глобальною відкритою системою для організації та створення масових децентралізованих систем та бізнес-логіки на базі блокчейну [7]. Технологія має за мету створення єдиного віртуального системно-інформаційного середовища, основні завдання якого виконуються нодами та вузлами, що складаються з самих користувачів платформи Ethereum. Поява технології Ethereum спростила сам процес створення децентралізованих програмних систем під різні задачі: від систем управління бізнесом до систем управління безпілотними апаратами. Система показує ідеальну відмовостійкість.

Ethereum надає можливість доволі просто розгорнути більшість видів децентралізованих систем. В основі системи лежить модульність та повна можливість модифікувати фінальний продукт. Транзакції відбуваються з використанням цифрових активів. Всередині системи вона містить назву "gas", кількість використаного "gas" залежить від самого користувача. При малих об'ємах транзакція буде відбуватись довше, при більших – швидше. Основною відмінністю від інших децентралізованих систем є інтегрована система смарт-контрактів – протоколів, що базуються на математичних алгоритмах з автоматичністю виконання поставлених задач та можливістю повного контролю над процесом транзакції. Такий тип контрактів дозволяє укладати домовленості, які виконуються самостійно. Домовленості між різними сторонами транзакції записуються у код договору. Сам код та записані угоди містяться розподілено в системі блокчейн. За ходом виконання транзакції слідкує сам код, тому такі транзакції є легко відстежуваними і незворотніми.

Смарт-контракти спрощують виконання транзакцій між анонімними клієнтами без посередників. Виконання укладеної транзакції відбувається всіма користувачами децентралізованої мережі. Стан мережі постійно розширюється, щоб записати результати виконання смарт-контракту [9]. Важливо зазначити, що система блокчейн відслідковує незвичні зміни в структурі уже укладеного смарт-контракту, що збільшує безпеку системи перед модифікованими транзакціями або пакетами. Саме через цей механізм транзакцію уже неможливо відмінити. Це є великою проблемою, якщо договір або виконані процеси потрібно визначити недійсними.

На сьогодні однією із основних задач смарт-контрактів є автоматизація процесу створення безпечних договорів, де кожна зі сторін захищена від махінацій. Одним із прикладів вдалого використання смарт-контрактів є управління ланцюгом поставок. Залучення технології дозволяє тримати під контролем процес доставки товару від ланки створення продукту до відвантаження та надходження до замовника. Процес укладання смарт-контракту зображено на рис. 5. Інформація про події, що відбуваються із замовленням, зберігається в системі блокчейн.

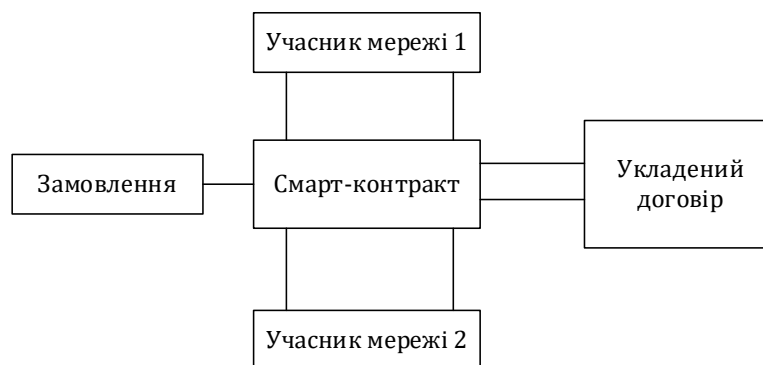


Рис. 5. Процес підпису смарт-контракту

Аграрна промисловість є потенційною сферою використання системи смарт-контрактів. Зростає залежність від глобальних ланцюгів поставок до великомасштабних систем продажу товару, таких як супермаркет. Ланцюги постачання в аграрному виробництві не зазнавали цифрової трансформації, що є причиною величезних затримок в постачанні. Впровадження технології дозволить пришвидшити регулювання робочих процесів всередині підприємства. Полегшення процесу утворення бізнес-зв'язків між фермером та споживачем призведе до створення нових ринків збуту, що забезпечить приріст доходів. Для малих підприємств такі оптимізації позитивно вплинуть на загальні витрати при укладанні договорів та спростять процес виходу на місцеві та глобальні ринки. Розроблені системи на основі платформи Ethereum побудовані з використанням фреймворків заради спрощення підключення до мов високорівневого програмування. Для взаємодії між блокчейном і внутрішньою логікою сервера використовується фреймворк Web3.js. Він дозволяє швидко та надійно інтегрувати підтримку блокчейн-розрахунків. Технологія Web3.js

має важливу можливість асинхронного виклику, що базується на технології Promise. Це дозволяє прив'язатись до певних даних та в будь-який момент їх витягнути з системи без втрати працездатності системи. Для сформування нових типів смарт-контрактів розробники технології Ethereum розробили систему Solidity [8]. Це доволі гнучка система реалізації смарт-контрактів. Розробники, що працюють із Solidity, можуть писати додатки, які реалізують бізнес-логіку, що самовиконується, включену в смарт-контракти. В пакеті інструментів Solidity включений компілятор, який розбиває код високого рівня на прості інструкції, такі як «помістити дані в реєстр», «додати дані з двох реєстрів», «перейти до інструкції в точці пам'яті». Приклад реалізації смарт-контракту зображено на рис. 6.

```
// SPDX-License-Identifier: GPL-3.0

pragma solidity >=0.4.21 <0.7.0;

contract Migrations {
    address public owner;
    uint public last_completed_migration;

    constructor() public {
        owner = msg.sender;
    }
    modifier restricted() {
        if (msg.sender == owner) _;
    }
    function setCompleted(uint completed) public restricted {
        last_completed_migration = completed;
    }
}
```

Рис. 6. Приклад смарт-контракту, написаного мовою Solidity

Для створення приватної мережі блокчейн використовується технологія Ganache [7, 9]. Вона призначена для швидкого розгортання програм на платформі Ethereum і Corda. Ganache постачається з внутрішньою реалізацією блокчейна Ethereum на рушієві JavaScript. Платформу можна ефективно використовувати протягом загального циклу розробки децентралізованої системи управління, що в подальшому дозволяє розгорнути та тестувати децентралізовану систему у детермінованому середовищі на наявність логічних колізій [6]. Використання системи Ganache можливе у вигляді повноцінного інтерфейсу та терміналу.

В командному рядку Ganache-CLI містяться всі можливості повноцінної версії системи. Ganache-CLI є подальшим розвитком технології TestRPC, що надає швидкий і налаштовуваний емулятор локальної децентралізованої системи блокчейн. Це дозволяє здійснювати виклики в блокчейн без накладних витрат на запуск фактичного вузла Ethereum [7]. Також до плюсів використання даної технології можна віднести: а) транзакції відбуваються миттєво; б) відсутність витрат на транзакцію; в) облікові записи можна в будь-який момент скинути; г) ціна на проведення транзакції в середині мережі чітко регульована; д) зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Після налаштування мережі, Ganache створює локальну тестову блокчейн-мережу з переліком тестових гаманців. Кількість криптовалютних активів є фіктивною і призначеною для використання в тестовому проєкті [9]. На сьогоднішній день список задач, який може бути вирішений за допомогою приватної мережі блокчейн, є відносно великим. До нього можна віднести:

1. Зручне створення власного блокчейну. Користувач отримує зручний та дружній інтерфейс, завдяки якому процес створення блокчейну стає швидшим та комфортнішим. Також, у середовищі Ganache втрачено всі фактори та налаштування, щоб майбутній блокчейн працював коректно та без перебоїв.

2. Відслідковування акаунтів та транзакцій. Цей функціонал надає можливість користувачі слідкувати за різноманітними акаунтами та транзакціями у новоствореній мережі, що дозволяє забезпечити безпеку та прозорість роботи криптомережі.

3. Швидкість та безпека. Транзакції виконуються миттєво, а якщо транзакція за певними причинами виглядає підозрілою, обліковий запис, який її виконав, можна в один момент повністю скинути, щоб криптовалюта не потрапила в чужі руки.

4. Ціна на транзакції чітко врегульована. На відміну від відкритих децентралізованих систем, приватна децентралізована система має чіткі комісії та константну ціну транзакції, через що користувач завжди знає, скільки він матиме коштів після проведення транзакції, на відміну від відкритих систем, де ціна та комісії залежать від навантаження мережі.

5. Операції відбуваються в локальній мережі. Це дозволяє мінімізувати витрати транзакції, включно до нуля, що корисно для розробки та тестування. Коли система буде розширюватись, можна надавати невисокі комісії, оскільки ми працюватимемо як приватна мережа з невеликою кількістю користувачів.

Смарт-контракт – код, що описує мовою Solidity правила для сторін, які укладають даний контракт. В розробленні такого типу контрактів найчастіше використовують веб-середовище програмування Remix. Це середовище є спеціалізованим для виконання такої роботи, адже воно спрощує написання коду на мові Solidity і процес розміщення в мережу майбутнього блокчейну. Для публікації розробленого смарт-контракту необхідно його компілювати в машинний код (також відомий як байт-код), який потім вноситься та зберігається у блокчейн-системі. Результатом публікації є адреса, яка використовується для доступу до

```

struct ProductInfo {
    string productName;
    string productionDate;
    address productionAddress;
    string brandName;
    number price;
}

struct BusinessBuyer {
    address businessAddress;
    string businessPhoneNumber;
}

struct ProductionInfo {
    string productionName;
    address productionAddress;
    ProductionInfo[] products;
}
    
```

Рис. 7. Структури для опису смарт-контракту

методів новоствореного смарт-контракту. Написаний смарт-контракт вказує правила відношень між клієнтом та аграрною компанією. Смарт-контракт складається з трьох основних структур: інформація про товар, бізнес-покупець, відомості про власника фермерського бізнесу. Приклад структури опису смарт-контракту зображено на рис. 7.

Відомості мають три поля: ім'я власника; адреса розміщення фермерської ділянки; продукти виробництва, які виготовляє певний власник фермерського бізнесу. У свою чергу, інформація про товар містить п'ять полів: назва виготовленого продукту; дата виробництва; місце, адреса потужностей виробництва; бренд, під яким будуть продавати певний товар; вказана виробником ціна. Бізнес-покупець має два поля: адреса розташування бізнесу; телефон, який служить як засіб зв'язку. Процес збору, передачі та управління важливою інформацією шляхом точного визначення походження, різноманітного обміну інформацією в ланцюжку поставок, дозволяє повністю контролювати потік виготовлюваної

продукції. Проаналізувавши сучасну практику відстеження в ланцюжку поставок сільського господарства, можна дійти до висновку, що дана практика потерпає від фрагментації даних і централізованого контролю, який є вразливим до модифікації даних та їх управління. Через це було вирішено інтегрувати нову розроблену систему в аграрний сектор.

Маючи готову архітектуру системи, нам залишається лише створити алгоритми, які будуть використовувати створені смарт-контракти на практиці. Один із таких алгоритмів може мати вигляд:

- 1) клієнт (бізнес-покупець) надає запит до підприємства, сповіщаючи фермерську фірму про замовлення;
- 2) якщо підприємство, на яке надано запит, за певними причинами відсутнє в загальному системному списку довірених юридичних осіб, алгоритм завершує роботу та повідомляє клієнта про ситуацію;
- 3) якщо підприємство, на яке надано запит, є в загальному системному списку довірених юридичних осіб, то підприємство отримує всі дані щодо замовлення через дешифрування інформації запиту;
- 4) підприємство створює свій запит в якості відгуку, де вказано товар, адресу замовника та ціну замовлення, повідомляючи таким чином адресата про виконання замовлення.

Управління ланцюгами поставок у сільському господарстві є складнішим, ніж ланцюги поставок в інших предметних областях, оскільки сільськогосподарське виробництво залежить від таких факторів як погода, шкідники та хвороби, які важко передбачити та контролювати. Відсутність відстеження в ланцюжку постачання сільськогосподарської продукції призводить до уповільнення фінансових операцій і часто інтенсивної ручної роботи. Крім того, на кожному етапі ланцюга поставок можуть з'являтися підробки, що можуть призводити до небезпечних наслідків для всіх зацікавлених сторін бізнесу. Проаналізувавши дані, отримані під час тестування, виведемо їх графічно у вигляді діаграм, де порівнюються метрики ефективності та витрат часу робочого процесу централізованого та децентралізованого управління. Гістограми порівняння наведено на рис. 8.



Рис. 8. Діаграма порівняння моделей управління по витрат часу на клієнта

Отже, у випадку децентралізованого методу підбору час на укладання смарт-контракту мінімальний. Все, що потрібно клієнту, – це увійти в гаманець, обрати вигідний контракт і встановити цифровий підпис. Після чого в рахунку зарезервуються кошти, які, після підтвердження успішного виконання договору, повноцінно спишуться з рахунку. Впровадження смарт-контрактів позитивно впливає на загальну енергозатратність мережі. Кількість спожитої енергії зменшується майже в 2 рази, що дозволяє укладати більшу кількість договорів за той же час. Таким чином, вирішується проблема сільськогосподарських ланцюгів-поставок, що виникає при транспортуванні продукції між декількома замовниками. Дані транзакції можна відстежити за допомогою криптографічного відбитка, прикріпленого до кожного смарт-контракту, або транзакції, що дозволяє відстежити переміщення фізичного продукту по ланцюжку поставок від виробника до споживача.

Висновки

Отримані результати демонструють значний приріст ефективності діяльності аграрного підприємства через впровадження децентралізованої системи. Смарт-контракти забезпечують високий рівень надійності укладених договорів та надають гарантію на виконання укладеної домовленості. Побудована система на базі технології блокчейн покращує показники бізнес-процесів для всіх учасників ланцюга поставок. Смарт-контракти виключають людський фактор з оцінки страхових повернень, що робить процес оформлення страхових повернень простішим, швидшим і прозорішим. Смарт-контракти також мінімізують ризики неправдивих претензій і корупції серед постачальників страхових послуг, оскільки жоден учасник не зможе змінити страхові поліси після їх узгодження з блокчейн-мережею.

Виконавши аналіз основних метрик, які демонструють різноманітні фактори централізованого та децентралізованого управління організацією, можна стверджувати, що децентралізована система управління є більш ефективною, ніж централізована. Це досягається завдяки можливості керувати більшою кількістю персоналу та оптимізації процесів виконання роботи з клієнтом, починаючи від пошуку і закінчуючи наданнями необхідних йому послуг. Децентралізована система представляється блокчейном, завдяки чому виконується менше паперової роботи та зменшується час на процес укладання договорів. Впровадження децентралізованої системи управління за допомогою смарт-контрактів для оптимізації процесів управління, показує переваги децентралізованої мережі над централізованою в сфері прийняття рішень для аграрного підприємства.

Література

1. Україна ввійшла в трійку найбільших експортерів сільськогосподарської продукції в ЄС. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eurointegration.com.ua/news/2020/01/12/7105023/>
2. Організація та технології збирання зернових та ранніх олійних культур у 2017 році: рекомендації виробництву. Запоріжжя: Інститут олійних культур НААН України, 2017. – 33 с.
3. Саблук П. Т. Аграрна реформа в Україні (здобутки, проблеми і шляхи їх вирішення) / П. Т. Саблук, В. Я. Месель-Веселяк, М. М. Федоров // Економіка АПК. – 2009. - №12. – С. 3-13.
4. M. Thakur and K. A.-M. Donnelly, Modeling traceability information in soybean value chains, J. Food Eng., vol. 99, no. 2, pp. 98–105, 2010.
5. H. Hasan and K. Salah, Blockchain-based proof of delivery of physical assets with single and multiple transporters, IEEE Access, vol. 6, no. 1, pp. 46781–46793, Dec. 2018.
6. Що таке blockchain і для чого він потрібен – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nachasi.com/2017/06/02/blockchain-faq>.
7. Ethereum – глобальная платформа с открытым кодом для децентрализованных приложений – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ethereum.org/ru>
8. Solidity – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.soliditylang.org/en/latest/>.
9. Maximilian Wöhler and Uwe Zdun, "Smart Contracts: Security Patterns in the Ethereum Ecosystem and Solidity", University of Vienna.

References

1. Ukraine is one of the three largest exporters of agricultural products in the EU. [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.eurointegration.com.ua/news/2020/01/12/7105023/>
2. Organization and technologies of harvesting cereals and early oilseeds in 2017: recommendations for production. Zaporozhye: Institute of Oilseeds of NAAS of Ukraine, 2017. - 33 p.
3. P.T. Sabluk, Agrarian reform in Ukraine (achievements, problems and ways to solve them) / P.T. Sabluk, V. Ya. Mesel-Veselyak, MM Fedorov // Economics of agro-industrial complex. - 2009. - №12. - P. 3-13.
4. M. Thakur and K. A.-M. Donnelly, Modeling traceability information in soybean value chains, J. Food Eng., vol. 99, no. 2, pp. 98–105, 2010.
5. H. Hasan and K. Salah, Blockchain-based proof of delivery of physical assets with single and multiple transporters, IEEE Access, vol. 6, no. 1, pp. 46781–46793, Dec. 2018.
6. What is a blockchain and why you need it - [Electronic resource]. - Access mode: <https://nachasi.com/2017/06/02/blockchain-faq>.
7. Ethereum - a global open source platform for decentralized applications - [Electronic resource]. - Access mode: <https://ethereum.org/ru>
8. Solidity - [Electronic resource]. - Access mode: <https://docs.soliditylang.org/en/latest/>.
9. Maximilian Wöhler and Uwe Zdun, "Smart Contracts: Security Patterns in the Ethereum Ecosystem and Solidity", University of Vienna.

Рецензія/Peer review : 06.12.2021

Надрукована/Printed :30.12.2021