

УДК 339.9

<https://doi.org/10.32342/3041-2153-2025-1-38-7>

Є.М. ПІРКОВЕЦЬ,

*аспірант Університету імені Альфреда Нобеля,
м. Дніпро (Україна)*

<https://orcid.org/0009-0001-6879-9360>

СИСТЕМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГАМИ ПОСТАЧАННЯ НА ВИРОБНИЧОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

У цій статті представлено систему для вдосконалення адаптивного управління шляхом інтеграції системи прийняття рішень з нечіткою логікою в блокчейн асоційовані смарт-контракти підприємства. Система використовує незмінну книгу блокчейну та смарт-контракти для автоматизації ключових процесів, таких як виробничі процеси, управління запасами та дотримання нормативних вимог, таким чином вирішуючи такі проблеми, як прогалини в комунікації, затримки та ризики підробок. Однак властива блокчейн-системам жорсткість у адаптації до динамічних виробничих середовищ спонукає до інтеграції алгоритмів нечіткої логіки.

Нечітка логіка пропонує вирішення цього обмеження, дозволяючи приймати детальніші рішення шляхом обробки невизначених або неточних даних. У статті детально описано інтеграцію нечіткої логіки з блокчейном, де системи нечіткого висновку (Fuzzy inference systems – FIS) використовуються для оцінки та інтерпретації оперативних даних за змінних умов. Ця комбінація дозволяє адаптивно реагувати на збої в ланцюзі поставок, наприклад, затримки постачання або брак запасів. Система нечіткої логіки застосовує правила для визначення оптимального курсу дій, який потім виконується через смарт-контракти на основі блокчейну.

Ключові досягнення включають розробку модифікованої структури смарт-контрактів, яка використовує нечітку логіку для динамічного налаштування параметрів ланцюга поставок. Наприклад, надійність постачальника оцінюється за допомогою нечітких функцій приналежності, що призводить до коригування цін і обсягів постачання на основі оцінок у реальному часі. Цей підхід підвищує гнучкість і швидкість реагування виробничих операцій, гарантуючи, що рішення базуються на всебічному аналізі даних, а не на статичних правилах.

Запропонована система забезпечує надійне рішення для управління виробничими процесами в умовах коливань, поєднуючи прозорість і безпеку блокчейну з адаптивними можливостями нечіткої логіки. Ця інтеграція спрямована на оптимізацію ефективності виробництва та підтримку безперервності роботи всупереч непередбачуваним ситуаціям.

Ключові слова: *блокчейн, нечітка логіка, управління ланцюгом поставок, смарт-контракти, адаптивне прийняття рішень, виробництво*

JEL classification: *C63, D81, D86, L14, O33*

This article presents a system for enhancing adaptive management through the integration of fuzzy logic decision-making system in backed by blockchain supply chain smart-contracts of an enterprise. The system utilizes blockchain's immutable ledger and smart

contracts to automate key processes such as manufacturing processes, inventory management, and regulatory compliance, thus addressing issues like communication gaps, delays, and counterfeit risks. However, the inherent rigidity of blockchain systems in adapting to dynamic manufacturing environments prompts the incorporation of fuzzy logic.

Fuzzy logic offers a solution to this limitation by enabling more nuanced decision-making through the processing of uncertain or imprecise data. The article details the integration of fuzzy logic with blockchain, wherein fuzzy inference systems (FIS) are employed to evaluate and interpret operational data under variable conditions. This combination allows for adaptive responses to supply chain disruptions, such as supplier delays or inventory shortages. The fuzzy logic system applies rules to determine the optimal course of action, which is then executed through blockchain-based smart contracts.

Key advancements include the development of a modified smart contract framework that uses fuzzy logic to adjust supply chain parameters dynamically. For example, supplier reliability is assessed using fuzzy membership functions, leading to adjustments in pricing and supply quantities based on real-time evaluations. This approach enhances the flexibility and responsiveness of manufacturing operations, ensuring that decisions are based on comprehensive data analysis rather than static rules.

The proposed system provides a robust solution for managing production processes amidst fluctuating conditions, combining the transparency and security of blockchain with the adaptive capabilities of fuzzy logic. This integration aims to optimize production efficiency and maintain operational continuity in the face of unpredictable challenges.

Keywords: *blockchain, fuzzy logic, supply chain management, smart contracts, adaptive decision-making, manufacturing*

JEL classification: *C63, D81, D86, L14, O33*

Вступ та постановка проблеми. Ефективне управління операціями ланцюга постачання базується на адаптивній системі управління, яка охоплює різні аспекти оптимізації процесів, гнучкості та чутливості до змін. Ця система передбачає моніторинг продуктивності різних операційних елементів, прогнозування потенційних збоїв і динамічне коригування стратегій для підтримки ефективності та стійкості в усьому ланцюзі постачання. Центральне місце в адаптивному управлінні займає постійна оцінка діяльності ланцюга постачання, що дозволяє організаціям передбачати зміни в попиті, виробничих потужностях або зовнішніх факторах, таких як ринкові умови, технологічний прогрес або регуляторні зміни.

Адаптивна система управління характеризується здатністю адаптуватися до нової інформації в режимі реального часу. Вона використовує розширену аналітику даних і машинне навчання для прогнозування тенденцій і виявлення нових закономірностей. Це дозволяє завчасно реагувати на відхилення від очікуваної поведінки ланцюга постачання, такі як коливання попиту або затримки у виробництві, тим самим зменшуючи ризик неефективності.

Адаптивність у ланцюгах постачання також вимагає ефективної координації ресурсів і логістики, які часто є складними та включають багато зацікавлених сторін у різних регіонах. Системи, які використовують технологію блокчейн сприяють більш плавній співпраці, забезпечуючи децентралізовану незмінну книгу, яка відстежує рух товарів та інформації, гарантуючи, що всі залучені сторони мають доступ до однакових актуальних даних. Така прозорість зменшує ризик дезінформації та затримок, що сприяє більшій синхронізації операцій і оптимізованому розподілу ресурсів.

Крім того, адаптивність ланцюга поставок покращується завдяки використанню прогнозного обслуговування та моніторингу обладнання та машин у реальному часі. Датчики та пристрої Інтернету речей надають цінні дані про продуктивність обладнання, за допомогою прогнозних алгоритмів виявляють ранні ознаки потенційної несправності обладнання. Цей превентивний підхід гарантує, що технічне обслуговування можна проводити в оптимальний час, уникаючи дорогих простоїв і підвищуючи загальну продуктивність.

Адаптивне управління в ланцюзі постачання спирається на гнучкі виробничі стратегії, такі як своєчасне виробництво та модульні виробничі системи, які дозволяють компаніям масштабувати свою діяльність відповідно до поточних потреб. Завдяки тісному узгодженню графіків виробництва з фактичним попитом ланцюги постачання можуть мінімізувати надлишкові запаси, скоротити відходи та швидко реагувати на зміну уподобань клієнтів або ринкових умов.

Включення нечіткої логіки в цю адаптивну систему може покращити процес прийняття рішень, запропонувавши спосіб обробки невизначеності та неточності в даних ланцюга поставок. Системи на основі нечіткої логіки оцінюють різні невизначені входні дані, такі як надійність постачальника або виробничі обмеження, і забезпечують більш тонкі, гнучкі рішення, які не залежать виключно від жорстких порогів. Це дозволяє більш адаптивним і надійним процесам прийняття рішень, особливо в ситуаціях, коли дані можуть бути неповними або невизначеними, забезпечуючи конкурентну перевагу в середовищі, що швидко змінюється.

Щоб підтримувати ці адаптивні процеси, організаційна структура ланцюга поставок також має бути гнучкою. Це включає в себе можливість перерозподіляти ресурси, коригувати розподіл робочої сили та змінювати стратегії логістики на основі поточних потреб. Наприклад, адаптивні ланцюги поставок можуть швидко змінювати постачальників або способи транспортування у відповідь на збої, забезпечуючи безперервність операцій. Використання хмарних платформ і блокчейну забезпечує таку гнучкість, пропонуючи статистичні дані про ефективність ланцюга поставок у реальному часі, що сприяє швидкому прийняттю рішень і кращій координації в мережі.

Блокчейн усуває проблеми традиційних ланцюгів поставок, які часто страждають від неефективності, яка найчастіше за все пов'язана із неправильною комунікацією, затримками та ризиком потрапляння в систему підроблених товарів., надаючи єдине джерело даних, на яке можуть покластися всі зацікавлені сторони.

Крім того, блокчейн покращує автоматизацію процесів за допомогою смарт-контрактів. Ці контракти є самовиконуваними угодами, закодованими в блокчейні, які активуються, коли виконуються заздалегідь визначені умови. У виробництві смарт-контракти можна використовувати для автоматизації випуску платежів, ініціювання замовлень, коли запаси досягають критичного рівня, або забезпечення дотримання нормативних вимог без ручного втручання.

Крім того, технологія блокчейн посилює безпеку виробничих операцій. Незмінний характер записів блокчейну запобігає несанкціонованим змінам, знижуючи ризик шахрайства та забезпечуючи цілісність даних.

Нарешті, децентралізована структура блокчейну покращує стійкість виробничих систем. На відміну від традиційних баз даних, які покладаються на централізовані сервери, блокчейн працює в розподіленій мережі, що робить його менш сприйнятливим до системних збоїв або кібератак. Цей децентралізований підхід гарантує, що критично важливі дані, пов'язані з виробничими процесами та операціями ланцюга поставок, залишаються доступними навіть у разі збоїв у мережі або зловмисних спроб скомпрометувати систему.

Тим не менш, незважаючи на трансформацію виробничих операцій, не позбавлена проблеми складності прийняття рішень у виробничому середовищі, яке швидко змінюється. Виробничі процеси зазнають постійних коливань, зокрема коливань попиту, неочікуваних збоїв у ланцюзі постачання, простоїв виробничого обладнання і змін нормативних вимог. Незважаючи на те, що блокчейн забезпечує прозорість і відстежуваність, системі бракує гнучкості, щоб адаптуватися до цих динамічних умов у режимі реального часу без втручання людини. Це обмеження може призвести до затримок у виробництві та неефективності, особливо коли потрібні швидкі коригування для підтримки безперервності роботи.

З цієї причини існує нагальна потреба впровадження адаптивної системи управління виробництвом, що підтримується нечіткою логікою прийняття рішень. На відміну від традиційних логічних систем, які працюють за фіксованими двійковими правилами, нечітка логіка дозволяє приймати рішення з більш нюансами, обробляючи низку вхідних даних і генеруючи гнучкі результати на основі ступенів істинності, а не строгих відповідей «так/ні». Ця система бездоганно інтегрується з мережею блокчейн, щоб покращити процес прийняття рішень шляхом одночасної оцінки кількох змінних, таких як рівень запасів, продуктивність машини та доступність постачальника. Концептуальна архітектура поточного дослідження полягає у системі, яка при виявленні збігу у ланцюзі постачання, наприклад при затримці в доставці сировини, використовує алгоритми нечіткої логіки для зважування різних альтернатив, включаючи зміну постачальника, коригування графіків виробництва або перерозподіл ресурсів для дотримання термінів. При цьому, система на базі блокчейн гарантує, що всі відповідні дані, включаючи історичні записи продуктивності та оновлення ланцюга поставок існують у реальному часі, доступні для аналізу системою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науково-дослідницькому просторі сьогодення з'являються роботи, присвячені винаходу та аналізу методології по розробці систем адаптивного управління на виробничому підприємстві.

Дослідження [1] представляє комплексний підхід до оцінки великих ланцюгів постачання кардамону з використанням нечіткої логіки для вибору постачальника. Основна увага приділяється визначенню найефективнішого ланцюга постачання на основі кількох параметрів якості. Модель нечіткої логіки полегшує ранжування атрибутів ланцюга постачань шляхом обчислення трійок для різних ланцюгів постачання та їх відповідних параметрів якості. За допомогою процесу фазифікації та дефазифікації чіткі вхідні дані з ланцюгів постачання кардамону були перетворені в нечіткі

змінні, а потім назад у чіткі значення для остаточної оцінки. Результати свідчать про те, що найефективніша модель ланцюга постачання включає потік від виробників до споживачів через агрегаторів, комісіонерів, оптових і роздрібних торговців. Серед атрибутів якості найвище місце посідає задоволеність клієнтів, за нею йдуть зовнішня та внутрішня підтримка, внутрішня ефективність і стратегічна та оперативна координація. Ця оцінка на основі нечіткої логіки забезпечує надійну структуру для покращення прийняття рішень в управлінні ланцюгом поставок, зрештою оптимізуючи потік продукції та покращуючи загальну продуктивність. Впровадження нечіткої логіки суттєво сприяє фінансовим та операційним аспектам ланцюга поставок, забезпечуючи більш точний і надійний вибір постачальника.

Робота [2] зосереджується на дослідженні того, як інтеграція технологій блокчейну та смарт-контрактів у традиційні системи управління ланцюгом поставок може підвищити безпеку даних, підвищити ефективність і зменшити участь третіх сторін. Пропонується модель, яка усуває посередників, захищає дані за допомогою криптографічних методів і гарантує, що дефектні продукти викликають відшкодування, забезпечуючи підзвітне та ефективне рішення для ланцюга поставок. Досліджується інтеграцію інформаційних послуг із логістичними операціями для створення кіберсередовища, керованого блокчейном, яке відображає реальну діяльність ланцюга поставок. У статті описано технічну розробку системи, де смарт-контракти керують логістичними операціями та даними транзакцій. Технологія Blockchain, Python і Solidity використовуються для розробки безпечних, незмінних реєстрів для запису дій у ланцюзі поставок, при цьому система запобігає маніпуляціям з боку третіх сторін. Розумні контракти автоматизують такі процеси, як оформлення платежів, повернення товару та підтвердження відгуків клієнтів, одночасно забезпечуючи прозорість і безпеку даних. У розробці системи використовуються різні інструменти та технології, зокрема My Ether Wallet, Ganache, Spyder IDE та Remix IDE, приділяючи особливу увагу заходам безпеки даних у транзакціях блокчейну. У статті далі описуються функціональні компоненти системи блокчейн, включаючи перевірку транзакцій, майнінг, хешування та підтвердження роботи.

Крім того, варто зазначити праці наступних науковців: Ван Х. [3], Девайанто Т. [4], Алькодсі Е., Аренова Л. [5], Бодемер О. [6], Омар А., Вавер П., Рімір Р. [7], Алькахтані С., Хе Х., Гембл Р., Папа М. [8], Альфанді О., Отум С., Джаравех Ю. [9], Фу Ю., Чжу Дж. [10], Юань Х., Цю Х., Бі Ю., Чанг С.-Х., Лам А. [11], Камран Р., Хан Н. Сундаракані Би. [12], Ю М., Он Ю. [13] та інших.

Проте, беручи до уваги вище зазначені наукові дослідження, питання, пов'язане з методологією по розробці систем адаптивного управління на виробничому підприємстві, все ще залишається недостатньо дослідженим та потребує подальшого опрацювання.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка адаптивної системи прийняття рішень на базі нечіткої логіки в смарт-контрактах підприємства.

Викладення основного матеріалу дослідження. В основі адаптивної системи управління лежать два основні компоненти: оцінка ризику та оптимізація ланцюга поставок. Для оцінки ризику моделі нечіткої логіки

аналізують вхідні змінні, такі як ризики ланцюга поставок, фінансові ризики та операційні ризики [3]. Ці вхідні дані оцінюються за допомогою нечітких правил для визначення загального рівня ризику, класифікованого як низький, середній або високий. Такий підхід дозволяє більш гнучко і точно оцінювати потенційні ризики, що може мати вирішальне значення для попереджувальних дій і стратегічного планування.

Для оптимізації ланцюга постачання модель використовує нечітку логіку для динамічного коригування робочих параметрів на основі даних у реальному часі. Вхідні змінні, такі як рівень запасів, темпи виробництва та продуктивність постачальників, оцінюються, щоб отримати корисну інформацію. Наприклад, якщо рівень запасів низький, а темпи виробництва високі, система може рекомендувати коригування виробничих графіків або точок повторного замовлення постачальника, щоб забезпечити оптимальний рівень запасів і мінімізувати збої [4].

На додаток до управління ризиками та операційної оптимізації, модель інтегрує фінансові показники, щоб забезпечити всебічне уявлення про вплив ланцюга постачання на загальну фінансову ефективність підприємства. Такі фінансові показники, як дохід, відстеження витрат і норма прибутку, аналізуються, щоб оцінити ефективність рішень ланцюга поставок щодо прибутковості. Правила нечіткої логіки застосовуються для коригування фінансових стратегій і бюджетування на основі ефективності ланцюга поставок, забезпечуючи ефективний розподіл фінансових ресурсів.

Математичне представлення цієї моделі включає формули нечіткої логіки для перетворення невизначених вхідних даних у дієві рішення. Наприклад, вихід системи нечіткої логіки можна виразити так:

$$y = a_0 + a_1x_1 - a_2x_2 - a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 - a_6x_6 \quad (1)$$

де, y представляє вихід (рівень ризику або коригування запасів), тоді як x_i є вхідними змінними (ризиками ланцюга поставок або рівні запасів), a_i є коефіцієнтами, що представляють вплив кожного фактору на результат.

Провідною ідеєю системи є поєднання в собі смарт-контрактів блокчейну із прийняттям рішень на основі нечіткої логіки, щоб створити надійну структуру для управління виробничими процесами [5].

Покращення процесу прийняття рішень в управлінні постачанням досягається завдяки інтеграції системи нечіткої логіки, яка обробляє неточну та невизначену інформацію. Ця система працює разом зі смарт-контрактом блокчейну, щоб забезпечити більш адаптивний і інтелектуальний підхід до управління виробничими операціями.

Система нечіткої логіки обробляє нечіткі або неоднозначні дані за допомогою лінгвістичних змінних і нечітких наборів [6]. Компонент нечіткої логіки призначений для оцінки та інтерпретації невизначеності в оперативних даних, покращуючи загальну систему підтримки прийняття рішень.

Ключовим компонентом концепції FL є система нечіткого висновку (FIS – Fuzzy Inference System), яка використовує нечіткі правила для обробки вхідних даних і прийняття рішень. Вона передбачає:

- фазифікацію, в ході якої відбувається зіставлення вхідних даних з нечіткими наборами;
- оцінку правил, задля застосування нечітких правил до даних;
- агрегацію, тобто об'єднання результатів нечітких правил;
- дефазифікацію, іншими словами перетворення нечітких результатів у дієві результати.

Прикладами нечітких правил можуть послужити у контексті поточного дослідження наступні умови, згідно з якими: ЯКЩО SupplyQuantity (кількість постачання) є високим І SupplyConfirmed (дійсність постачання) є істинним, ТОДІ ProductionEfficiency (продуктивність виробництва) є високою; та: ЯКЩО SupplyQuantity є низьким І SupplyConfirmed є хибним, ТОДІ ProductionEfficiency є низькою [7].

Вихід нечіткого висновку (Fuzzy Inference Output) виражається за допомогою наступного рівняння:

$$Output = Defuzzify(Aggregate(R1, R2, \dots, RN)) \quad (2)$$

де кожне правило $R1, R2, \dots, RN$ відповідає умові в нечіткій системі, а їхні результати (нечіткі множини) об'єднуються за допомогою операції агрегування. Агрегація об'єднує результати всіх правил, щоб сформувати єдиний нечіткий набір. Після завершення агрегування функція Defuzzify перетворює цей агрегований нечіткий набір у точне числове значення, яке називається «чітким виводом». Це чітке значення є остаточним рішенням або дією системи, що перетворює неточні, нечіткі вхідні дані в чіткий результат, який можна використовувати для прийняття рішень.

У контексті нечіткої логіки модель залишкової мережі адаптується для оцінки виробничих процесів:

$$F(x) = F(x, \{W_i\}) + x \quad (3)$$

початковий вхід x додається назад до перетвореного виходу, що дозволяє системі ефективніше вивчати відображення ідентичності та забезпечувати плавний перебіг градієнтів під час оптимізації [8].

$$H(x) = F_n(F_{n-1}(F_1(x, \{W_{i,1}\}), \{W_{i,2}\}) \dots, \{W_{i,n}\}) + x \quad (4)$$

вводиться серія вкладених перетворень, де кожне перетворення F_n застосовується послідовно з використанням власного набору ваг $\{W_{i,n}\}$. Ця структура утворює глибоку багатшарову функцію, у якій вхідні дані x поступово проходять через кілька перетворень, кожне з яких залежить від певних ваг. Нарешті, вихідний вхід x додається назад у кінці, подібно до залишкового зв'язку в першому рівнянні [9].

Значення глобального середнього об'єднання (Global Average Pooling – GAP) та класифікації обчислюються за умови застосування формул:

$$GAP(x) = \frac{1}{H \times W} \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w x_{ij} \quad (5)$$

де метою є узагальнення просторової інформації з вхідних даних x , яка є двовимірною картою об'єктів із висотою H і шириною W . Подвійне підсумовування агрегує значення x_{ij} для всіх просторових положень входу, а результат нормалізується загальною кількістю просторових позицій, $H \times W$. Іншими словами, просторові розміри вхідних даних перетворюються в єдине середнє значення для кожного об'єкта, стискаючи вхідні дані в менше представлення, зберігаючи загальні характеристики карти об'єктів.

$$FC(x) = W_{fc} \times GAP(x) + W = b_{fc} \quad (6)$$

тут описується повністю зв'язаний (Fully connected – FC) рівень, застосований до результату операції GAP. W_{fc} представляє ваги FC, а b є членом зсуву. Операція $W_{fc} \times GAP(x)$ є лінійним перетворенням об'єданого виходу, що ефективно відображає простір ознак високої розмірності у вихід нижчої вимірності, придатний для таких завдань, як класифікація. Потім додається зсув b , щоб зсунути вихід. Цей повністю підключений рівень діє як кінцевий етап трансформації, де вивчені функції об'єднуються для отримання остаточного результату [10].

$$L = \sum_{i=1}^C y_i \log(S_i(x)) \quad (7)$$

представляється функція втрат, де C відповідає кількості класів, y_i позначає основну мітку істинності для класу i , а $S_i(x)$ представляє прогнозовану ймовірність для класу i , отриману з виходу моделі через функцію softmax. Термін $y_i \log(S_i(x))$ обчислює логарифм правдоподібності правильного прогнозу класу, а підсумовування всіх класів дає втрату перехресної ентропії (cross entropy loss) [11]. Ця функція втрат використовується для кількісного визначення різниці між прогнозованими ймовірностями та справжніми мітками, керуючи процесом оптимізації моделі для підвищення точності передбачення.

Моделювання нечітких змінних здійснюється завдяки використанню функції належності. Наприклад DeliveryOnTime(доставка вчасно) може бути представлено трапецієподібною функцією належності, де значення варіюються від 0 (не вчасно) до 1 (вчасно):

$$\begin{cases} 0 & \text{якщо } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{якщо } a < x \leq b \\ 1 & \text{якщо } b < x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{якщо } c < x \leq d \\ 0 & \text{якщо } x > d \end{cases} \quad (8)$$

Якщо ступінь належності дорівнює 0, це вказує на те, що значення повністю виходить за межі нечіткого набору. Коли x збільшується між a і b , ступінь належності лінійно зростає від 0 до 1, що представляє висхідний нахил трапеції. Між b і c приналежність залишається рівною 1, вказуючи на повну приналежність до ядра або плато нечіткої множини.

За умови, що x продовжуватиме зростати від c до d , приналежність зменшиться лінійно від 1 до 0, утворюючи спадний нахил трапеції [12]. Для значень x більше, ніж d , ступінь приналежності повертатиметься до 0, ще раз вказуючи, що значення повністю виходить за межі нечіткого набору. У той же час, параметр QualityScore (оцінка якості) моделюється за допомогою трикутної функції членства, що відображає різні рівні якості продукту.

Таким чином, застосування алгоритмізованої системи прийняття рішень на базі FL результує у модифікуванні смарт контракту

У модифікованому смарт-контракті використовується нечітка логіка для оцінки надійності постачальника, перетворюючи її на нечіткі ступені членства для низької, середньої та високої категорій.

Потім контракт застосовує нечіткі правила для коригування параметрів постачання. Якщо надійність вважається низькою, ціна продукту збільшується на 10%, а обсяг постачання зменшується на 10%. І навпаки, якщо надійність висока, ціна зменшується на 10%, а кількість збільшується на 10%. Ці коригування обчислюються за допомогою методів дефазифікації в `defuzzifyPrice()` і `defuzzifyQuantity()`, які використовують зважене середнє значення для поєднання нечітких результатів.

Адаптивна система управління ресурсами характеризується здатністю реагувати на зміни зовнішнього середовища та внутрішніх процесів. Ця система має інтегрувати передові технології для ефективного управління ресурсами та забезпечення стратегічної стабільності.

Ефективне управління передбачає безперервний цикл планування, аналізу та прийняття рішень. Є необхідність адаптування фінансових стратегій до глобальних тенденцій і технологічного прогресу. Економічна основа для впровадження адаптивних систем управління починається з ретельного аналізу витрат і вигод, який є вирішальним для оцінки фінансової життєздатності системи. Цей аналіз передбачає обчислення чистої приведеної вартості (Net Present Value – NPV) [13], яка допомагає оцінити, чи принесуть інвестиції в блокчейн і технології нечіткої логіки позитивний прибуток з часом. NPV визначається за формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{R_t - C_t}{(1+r)^t} - I \quad (9)$$

R_t представляє дохід, отриманий за період t , C_t позначає витрати, понесені в цьому періоді, r є відсотковою ставкою, T є загальною кількістю періодів, що розглядаються, I - початкова необхідна інвестиція. Позитивний NPV вказує на те, що очікувані вигоди від системи перевищують витрати, припускаючи, що інвестиція є економічно обґрунтованою. Економічні переваги блокчейну можна кількісно оцінити шляхом оцінки скорочення транзакційних витрат і підвищення ефективності процесів. Значення зниження адміністративних витрат, пов'язаних з паперовою роботою та посередниками можна виразити за допомогою формули:

$$S = C_t - C_b \quad (10)$$

де C_t позначає витрати, пов'язані з традиційними методами регулювання ланцюгом постачання, а C_b означає витрати після впровадження блокчейну. Ця економія безпосередньо сприяє загальній прибутковості ланцюга поставок. Вплив використання нечіткої логіки відображається у зменшенні надлишкових запасів і покращенні узгодження пропозиції з попитом. Цей вплив можна оцінити за допомогою формули економічної доданої вартості (Economic Value Added – EVA):

$$EVA = NOPAT - (WACC \times \text{Капітал}) \quad (11)$$

де NOPAT (Net Operating Profit After Taxes) означає чистий операційний прибуток після сплати податків, WACC (Weighted Average Cost of Capital) — це середньозважена вартість капіталу. Збільшення EVA вказує на те, що система нечіткої логіки ефективно підвищує прибутковість шляхом оптимізації операційної ефективності.

Процедурна інтеграція цих технологій включає низку кроків. Спочатку необхідно проаналізувати ланцюг поставок, щоб визначити області, де блокчейн і нечітка логіка можуть принести найбільш значні переваги. Цей аналіз включає оцінку поточної неефективності, операційних витрат і процесів прийняття рішень. Після цього процес вибору технології передбачає вибір відповідних платформ блокчейну та моделей нечіткої логіки, адаптованих до конкретних потреб ланцюга поставок.

Згодом розробляється план поетапного впровадження, який включає пілотне тестування, системну інтеграцію та повномасштабне розгортання. Під час цієї фази відстежується вплив системи на експлуатаційні характеристики та вносяться необхідні коригування для оптимізації переваг. Регулярні перевірки ефективності та оцінка витрат проводяться для забезпечення реалізації очікуваних економічних переваг.

Висновки. В роботі пропонується синергічне поєднання смарт-контрактів на основі блокчейну з нечіткою логікою прийняття рішень для покращення управління ланцюгами постачання на виробничих підприємствах. Смарт-контракт, описаний у статті, забезпечує безпечні, автоматизовані та прозорі операції в ланцюзі поставок, визначаючи правила та взаємодію між підприємством та його постачальниками. Інтеграція нечіткої логіки дозволяє системі обробляти неточні та невизначені дані, пропонуючи більш адаптивний та інтелектуальний підхід до прийняття рішень.

Система нечіткої логіки обробляє неоднозначну інформацію за допомогою лінгвістичних змінних і нечітких наборів, які допомагають інтерпретувати невизначеності в оперативних даних. Ключовим елементом системи є система нечіткого висновку, яка виконує такі основні етапи, як фазифікація, оцінка правил, агрегація та дефазифікація. Це призводить до більш тонких виходів рішень на основі нечітких правил, які можуть враховувати різні умови, такі як кількість постачання та надійність постачальника. Поєднання нечіткої логіки зі смарт-контрактами полегшує динамічне коригування в управлінні поставками, наприклад ціноутворення та модифікацію кількості поставки на основі надійності постачальника.

Проводиться оцінка того, як можна використовувати залишкові мережі та глибокі багаторівневі перетворення в поєднанні з системою нечіткої логіки для підвищення ефективності роботи. Концепція глобального середнього об'єднання і повністю зв'язаних рівнів застосовуються для завдань класифікації, а функції втрат перехресної ентропії підвищують точність моделі. Крім того, використання функцій приналежності, таких як трапецієподібні та трикутні набори, дозволяє точно моделювати такі фактори, як своєчасність доставки та якість продукту.

Список використаних джерел

1. Dash S., Dash K., Choudhury S. Evaluation and selection of large cardamom supply chain using fuzzy logic based decision-making model. *Journal of Food Process Engineering*. 2022. № 46. DOI:10.1111/jfpe.14266.
2. Turjo M. D., Khan M., Kaur M., Zaguia A. Smart Supply Chain Management Using the Blockchain and Smart Contract. *Scientific Programming*. 2021. PP. 1-12. DOI:10.1155/2021/6092792.
3. Wang X. Research on the Application of Blockchain Technology and Smart Contracts in the Financial Industry. *Frontiers in Business, Economics and Management*. 2024. № 15. PP. 392-395. DOI:10.54097/gx0qhy44.
4. Dewayanto T. NLP-Bert and Optimization of Efficiency-Security in Blockchain-Accounting Smart Contracts. *Fokus Ekonomi : Jurnal Ilmiah Ekonomi*. 2024. № 19. PP. 145-151. DOI:10.34152/fe.19.1.145-151.
5. Alqodsi E., Arenova L. Smart Contracts in Contract Law as an Auxiliary Tool or a Promising Substitute for Traditional Contracts. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*. 2024. № 16. DOI:10.1061/JLADAH.LADR-1132.
6. Bodemer O. Smart Contracts as a tool for small and mid-sized companies. 2023. DOI:10.36227/techrxiv.24005568.v1.
7. Omar A., Waweru P., Rimiru R. Fuzzy Logic Framework for Qualitative Evaluation of Supply Chain Responsiveness. 2024. № 4. PP. 37-48.
8. Alqahtani S., He X., Gamble R., Papa M. Formal verification of functional requirements for smart contract compositions in supply chain management systems. *Proceedings of the Hawaii International Conference On System Sciences*. 2020. PP. 5278–5287.
9. Alfandi O., Otoum S., Jaraweh Y. Blockchain solution for IoT based critical infrastructures: byzantine fault tolerance. *Proceedings of the 2020 IEEE Network Operations and Management and Symposium*. 2020. PP. 1–4.
10. Fu Y., Zhu J. Big production enterprise supply chain endogenous risk management based on blockchain. *IEEE Access*. 2019. № 7.8626088. PP. 15310–15319.
11. Yuan H., Qiu H., Bi Y., Chang S.-H., Lam A. Analysis of coordination mechanism of supply chain management information system from the perspective of block chain. *Information Systems and E-Business Management*. 2020. № 18.4. PP. 681–703.

12. Kamran R., Khan N. Sundarakani B. Blockchain technology development and implementation for global logistics operations: a reference model perspective. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*. № 4.4, PP. 360–382. 2021.
13. Yoo M., Won Y. A study on the transparent price tracing system in supply chain management based on blockchain. *MDPI AG*. 2018. № 11. 4037 p.

References

1. Dash, S., Dash, K., Choudhury, S. (2022) Evaluation and selection of large cardamom supply chain using fuzzy logic based decision-making model. *Journal of Food Process Engineering*. No. 46. DOI:10.1111/jfpe.14266.
2. Turjo, M. D., Khan, M., Kaur, M., Zaguia, A. (2021) Smart Supply Chain Management Using the Blockchain and Smart Contract. *Scientific Programming*. PP. 1-12. DOI:10.1155/2021/6092792.
3. Wang, X. (2024). Research on the Application of Blockchain Technology and Smart Contracts in the Financial Industry. *Frontiers in Business, Economics and Management*. No. 15. PP. 392-395. DOI:10.54097/gx0qhy44.
4. Dewayanto, T. (2024) NLP-Bert and Optimization of Efficiency-Security in Blockchain-Accounting Smart Contracts. *Fokus Ekonomi : Jurnal Ilmiah Ekonomi*. No 19. PP. 145-151. DOI:10.34152/fe.19.1.145-151.
5. Alqodsi, E., Arenova, L. (2024) Smart Contracts in Contract Law as an Auxiliary Tool or a Promising Substitute for Traditional Contracts. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*. 2024. No. 16. DOI:10.1061/JLADAH.LADR-1132.
6. Bodemer, O. (2023) Smart Contracts as a tool for small and mid-sized companies. DOI:10.36227/techrxiv.24005568.v1.
7. Omar, A., Waweru, P., Rimiru, R. (2024) Fuzzy Logic Framework for Qualitative Evaluation of Supply Chain Responsiveness. No. 4. PP. 37-48.
8. Alqahtani, S., He, X., Gamble, R., Papa, M. (2020) Formal verification of functional requirements for smart contract compositions in supply chain management systems. *Proceedings of the Hawaii International Conference On System Sciences*. PP. 5278–5287.
9. Alfandi, O., Otoum, S., Jaraweh, Y. (2020) Blockchain solution for IoT based critical infrastructures: byzantine fault tolerance. *Proceedings of the 2020 IEEE Network Operations and Management and Symposium*. PP. 1–4.
10. Fu, Y., Zhu, J. (2019) Big production enterprise supply chain endogenous risk management based on blockchain. *IEEE Access*. No. 7.8626088. PP. 15310–15319.
11. Yuan, H., Qiu, H., Bi, Y., Chang, S.-H., Lam, A. (2020) Analysis of coordination mechanism of supply chain management information system from the perspective of block chain. *Information Systems and E-Business Management*. No. 18.4. PP. 681–703.
12. Kamran, R., Khan, N. Sundarakani, B. (2021) Blockchain technology development and implementation for global logistics operations: a reference model perspective. *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*. No. 4.4, PP. 360–382.
13. Yoo, M., Won, Y. (2018) A study on the transparent price tracing system in supply chain management based on blockchain. *MDPI AG*. No. 11. 4037 p.

ADAPTIVE MANAGEMENT SYSTEM OF SUPPLY CHAIN IN A MANUFACTURING ENTERPRISE

Ievgen Pirkovets, Alfred Nobel University, Dnipro (Ukraine)

E-mail: pirkovets@ukr.net

<https://doi.org/10.32342/3041-2153-2025-1-38-7>

Keywords: *blockchain, fuzzy logic, supply chain management, smart contracts, adaptive decision-making, manufacturing*

JEL classification: *C63, D81, D86, L14, O33*

This article presents a system for enhancing adaptive management through the integration of fuzzy logic decision-making system in backed by blockchain supply chain smart-contracts of an enterprise.

The adaptive management system is based on two main components: risk assessment and supply chain optimization. To assess risk, fuzzy logic models analyze input variables such as supply chain risks, financial risks, and operational risks.

An adaptive resource management system is characterized by the ability to respond to changes in the external environment and internal processes. This system should integrate advanced technologies for effective resource management and ensure strategic stability.

The system utilizes blockchain's immutable ledger and smart contracts to automate key processes such as manufacturing processes, inventory management, and regulatory compliance, thus addressing issues like communication gaps, delays, and counterfeit risks. However, the inherent rigidity of blockchain systems in adapting to dynamic manufacturing environments prompts the incorporation of fuzzy logic.

Fuzzy logic offers a solution to this limitation by enabling more nuanced decision-making through the processing of uncertain or imprecise data. The article details the integration of fuzzy logic with blockchain, wherein fuzzy inference systems (FIS) are employed to evaluate and interpret operational data under variable conditions. This combination allows for adaptive responses to supply chain disruptions, such as supplier delays or inventory shortages. The fuzzy logic system applies rules to determine the optimal course of action, which is then executed through blockchain-based smart contracts.

Key advancements include the development of a modified smart contract framework that uses fuzzy logic to adjust supply chain parameters dynamically. For example, supplier reliability is assessed using fuzzy membership functions, leading to adjustments in pricing and supply quantities based on real-time evaluations. This approach enhances the flexibility and responsiveness of manufacturing operations, ensuring that decisions are based on comprehensive data analysis rather than static rules.

A fuzzy logic system processes ambiguous information using linguistic variables and fuzzy sets that help interpret uncertainties in operational data. The key element of the system is the fuzzy inference system, which performs basic steps such as fuzzification, rule evaluation, aggregation, and defuzzification. This results in more refined decision outputs based on fuzzy rules that can take into account different conditions such as supply quantity and supplier reliability. Combining fuzzy logic with smart contracts facilitates dynamic adjustments in supply management, such as pricing and modification of supply quantity based on supplier reliability.

It is evaluated how residual networks and deep multi-level transformations can be used in combination with a fuzzy logic system to improve performance. The concept of global mean pooling and fully connected levels is applied to classification tasks, and cross-entropy loss functions improve model accuracy. Additionally, the use of membership functions such as trapezoidal and triangular sets allows for accurate

modeling of factors such as delivery timeliness and product quality. The proposed system provides a robust solution for managing production processes amidst fluctuating conditions, combining the transparency and security of blockchain with the adaptive capabilities of fuzzy logic. This integration aims to optimize production efficiency and maintain operational continuity in the face of unpredictable challenges.

Дата надходження до редакції / Submitted: 06.12.2024

Дата прийняття до публікації / Accepted: 14.02.2025

Дата публікації / Published: 02.06.2025