

УДК 658.8:339.18]:004(045)

DOI: <https://doi.org/10.37734/2409-6873-2021-2-4>

ВИКОРИСТАННЯ РІЗНОТИПНИХ КОНТРАКТІВ У ТЕХНОЛОГІЇ BLOCKCHAIN В УПРАВЛІННІ ЛАНЦЮГОМ ПОСТАВОК

М. Є. РОГОЗА

доктор економічних наук, професор

Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»

ORCID: <https://0000-0002-5654-7385>**Ф. В. СМІРНОВ**

аспірант

ORCID: <https://0000-0002-1945-098X>

Вищий навчальний заклад Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»

Анотація. Мета статті полягає у розгляді сучасних методів управління ланцюгом поставок з використанням технології blockchain та смарт-контрактів. Статтю присвячено дослідженню оптимізації витрат в управлінні ланцюгом поставок з використанням смарт-контрактів, що базуються на платформі Ethereum, шляхом інтеграції новітніх стандартів передачі різномісних контрактів для збереження блоків даних. **Методика дослідження.** Вирішення поставлених в статті завдань отримано з використанням загальнонаукових і спеціальних методів теоретичного дослідження, таких як: аналіз, систематизація узагальнення, проектний підхід. **Результати.** Проведено огляд сучасних методологій у сфері управління ланцюгом поставок. Розроблено модель використання технології blockchain в управлінні ланцюгами поставок відповідно до сучасних стандартів. Проведено аналіз доцільності використання різномісних контрактів, що підтримують обробку різних типів благ у одній транзакції, в моделі управління ланцюгом поставок із залученням сучасних blockchain-платформ, на кшталт Ethereum. Проаналізовано ефективність використання різномісних контрактів для оптимізації збереження інформації у блоки даних, що розміщуються у ланцюзі блоків з використанням технології blockchain. **Практична значущість результатів дослідження.** У статті обґрунтовано доцільність використання нового стандарту різномісних контрактів платформи Ethereum – ERC-1155, що підтримує обробку різних типів благ у одній транзакції, в моделі управління ланцюгом поставок для оптимізації витрат. Отримано результати, що демонструють ефективність використання стандарту ERC-1155 в управлінні ланцюгом поставок.

Ключові слова: blockchain, смарт-контракт, управління ланцюгом поставок, підприємство, Ethereum, ERC-1155.

Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок із найважливішими науковими чи практичними завданнями. Виробництво товарів – це складний процес, але завдяки науково-технічному прогресу для прискорення та поліпшення якості створюваної продукції стало можливим залучення роботизованих механізмів, автоматизованих ліній та потужностей комп'ютерів.

Новий етап розвитку виробничих процесів вбачають у інтеграції в управління новітньої технології blockchain. За останні декілька років така технологія набула великої популярності у сфері цифрових транзакцій. Технологія була винайдена та представлена С. Накамото як частина базової інфраструктури криптовалют bitcoin [1]. Подальші дослідження технології blockchain відкрили нові можливості її ефективного використання не тільки у межах фінансових операцій, оскільки надали широкий простір до інтеграції у будь-які інші сфери. Завдяки гнучкості та майже необмежену потенціалу такої технології стає можливим впровадження детального збору інформації та відстеження виробничих процесів.

Однак управління інформацією та прозорий контроль взаємодії ланок виробництва кожного товару є складним завданням, особливостями якого є точний збір даних на кожному етапі та безпечне їх зберігання для забезпечення надходження достовірної інформації зацікавленим сторонам.

Сучасні підходи до управління не обмежуються лише інформацією про кінцевий товар, а й дозволяють

простежити шляхи модифікації ресурсів у кінцевий продукт у виробничих процесах. Завдяки цьому стає можливим відстежити продукт після його обробки та отримати інформацію про вхідні дані товару до його основних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Подібні ідеї все більше захоплюють думки сучасних науковців. Наприклад інтеграція blockchain для створення мережевої архітектури відстеження ланцюга поставок [2].

Рішення на основі технології blockchain надають можливість отримувати інформацію щодо кожного етапу виробництва шляхом аналізу ланцюга постачання та отримувати дані кінцевого продукту шляхом взаємодії з ідентифікаційними мітками, на кшталт RFID, QR-коду [3] або шляхом залучення хмарних систем для збереження даних [4].

Подібні заходи сприяють своєчасному отриманню актуальної та необхідної інформації, але можуть надавати занадто детальну інформацію залежно від кількості проміжних етапів та обсягу інформації, що зберігається впродовж процесу виробництва. Це може призвести до створення занадто великого блоку даних, необхідних для передачі у blockchain.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Враховуючи, що транзакції у blockchain потребують не тільки доступу до мережі інтернет, а й обчислювальних ресурсів, досить гостро постає питання про необхідність оптимізації обсягів наданої інформації під час проведення транзакцій.

З цією метою як рішення у статті розглядається можливість використання новітніх стандартів проведення транзакцій у blockchain.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.

1. Управління ланцюгом поставок

У сучасному світі для підвищення ефективності виробничих процесів та зменшення витрат компанії використовують концепції декомпозиції та аутсорсингу частин виробництва та їх розташування у зонах з дешевою робочою силою. Такий підхід отримав назву «управління ланцюгами поставок». Ланцюг поставок у бізнес-моделі представлений матеріальними потоками та може включати залучення ресурсів та/або часткове виробництво готової продукції у інших країнах з їх подальшим транспортуванням.

Методологія управління ланцюгами поставок забезпечує мінімізацію собівартості кінцевого продукту за рахунок оптимізації вартості проміжних процесів (від поставки сировини до надходження товару кінцевому споживачу). У розрізі виконуваних процесів управління ланцюгами поставок являє собою послідовність етапів аналізу, планування, виконання та контролю процесів, здійснюваних з метою зменшення витрат. Проте однією з основних проблем в управлінні ланцюгами поставок під час проектування виробничого процесу є прийняття оптимальних рішень під час вибору майбутніх методів виробництва, постачальників, формування каналів збуту тощо. Тому під час розроблення нової бізнес-моделі доцільно провести фільтрацію наявних рішень методом багатокритеріального аналізу для отримання кінцевого списку альтернатив, що задовольняють поставленим вимогам.

Розвиток інформаційних технологій призвів до еволюції наявних методів управління шляхом переносу існуючих методологій у інформаційне середовище. Це дало змогу покращити персоналізацію товарів та послуг, алгоритми узгодження процесів та зменшити логістичні витрати [5]. Новий підхід до управління бізнес-процесами отримав назву «цифрове управління ланцюгами поставок».

Цифрове управління ланцюгами поставок можна охарактеризувати як сукупність дій, спрямованих на всебічне істотне підвищення ефективності виробництва, застосування технологій, устаткування, зберігання, продажу, доставки товарів і послуг за рахунок аналізу та обробки великих обсягів даних та ефективного використання отриманих результатів. Застосування нового методу управління сприяє підвищенню рівня кооперації та прозорості у ланцюзі постачань, що створює основу для подальшої інтеграції сучасних логістичних технологій та стратегій. Такий підхід привів до забезпечення можливостей швидкого реагування на зміни ринку шляхом ефективної комунікації та узгодження усіх ланок учасників виробничого процесу.

Хоча традиційні інформаційні системи, зазначені вище, здатні безпосередньо ідентифікувати продукцію, але простежити життєвий цикл кінцевого продукту майже неможливо. Обмеження пов'язані з ізоляваністю даних, що надають виробники та роздрібна торгівля. Для відстеження усіх ланок на декількох рівнях потрібні сукупні дані, які захищені від фальсифікації, проте зберігають високу публічність та доступність інформації.

2. Використання технології-blockchain в управлінні ланцюгами поставок

За останні роки було проведено багато досліджень щодо використання технології blockchain у системах управління ланцюгами поставок. Основні концепції базуються на ключових ідеях: представлення фізичних товарів у формі цифрових ресурсів – делегатів та операцій з можливістю їх подальшої трансформації.

Існують різні підходи до вирішення питання простежуваності ланцюга поставок, наприклад використання blockchain у системах протидії підробкам, шляхом використання ідентифікаційних міток: RFID, QR-коду та новітніх NFC. У дослідженнях [6] авторами запропоновані підходи у кооперації із залученням мереж трансферу інформації між фізичними об'єктами, що оснащені вбудованими засобами і технологіями для взаємодії між собою або із зовнішнім середовищем, та техніками Agile. Головним при цьому є підтвердження та ідентифікація справжності та власності товару, які представлено онтологією для відстеження походження ланцюга поставок у мережі Ethereum. Також існує методологія, що розвиває ідеї дослідників [7], яка пропонує впровадження децентралізованої системи управління технології blockchain на умовах відстежування взаємозв'язку між ресурсами та продуктами на різних етапах виробництва та може надавати вичерпну інформацію про товар кінцевим користувачам [8].

У більшості наукових праць значна увага приділяється роботі смарт-контрактів та обробці токенів. Зазвичай пропонується використання стандартів blockchain Ethereum, на кшталт ERC-721. Цей стандарт регламентує представлення цифрового ресурсу як унікальної незмінної одиниці з набором характеристик, що підтверджують її ідентичність. У розрізі виробничих процесів цей підхід дозволяє розглядати кожен етап ланцюга поставок як унікальну операцію.

Використання зазначеного вище стандарту накладає додаткові проблеми. Будь-яка транзакція в Ethereum потребує «gas». Під gas мається на увазі ресурс, який виступає аналогом комісії за операцію. Необхідна кількість «gas» для кожної операції детально описана в «статутному документі» Ethereum – Yellow paper [9]. Чим більший обсяг інформації необхідно записати у blockchain, тим більші витрати «gas» на операцію.

Відповідно, обробка великої кількості унікальних операцій призведе до створення значного обсягу транзакцій, що необхідно буде обробити, а це, у свою чергу, призведе до додаткових надмірних витрат на транзакції.

Як досліджувана модель розглядається модель системи, що має за основу технологію-blockchain із загальним доступом та використанням смарт-контрактів, які представляють приватні активи у публічній мережі. Модель складається з п'яти ролей: постачальника, виробника, дилера, роздрібною торгівлі та кінцевого споживача. Набір ролей впливає з дій, які учасники можуть виконувати в системі. Кожен тип продуктів, якими керує система, обробляється суб'єктами і представлений в ланцюгу ланкою в рамках певного смарт-контракту.

Процес виконання смарт-контрактів відповідно до поточного етапу на основі спрощеного прикладу проілюстровано на рис. 1.

Під час розгляду транзакцій у розрізі фізичних об'єктів інформацію представляють відносно певної кількості товару. Одній транзакції може відповідати

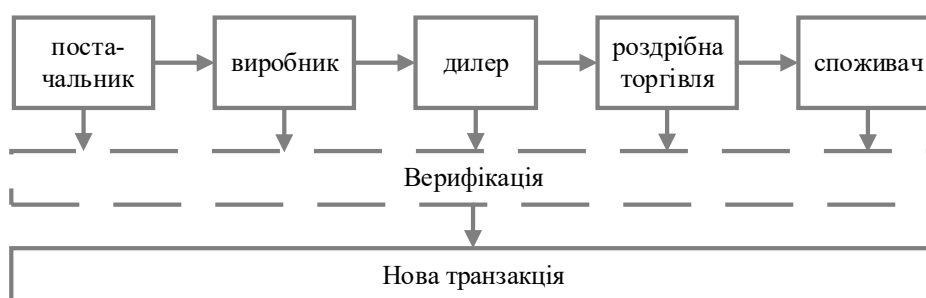


Рис 1. Процес управління ланцюгом поставок з використанням технології blockchain

одиниця неподільного продукту або деяка кількість, що буде представлена у чисельних або вагових одиницях. Наприклад, ресурси, призначені для подальшої обробки, можна відстежувати партіями за кількістю одиниць, як то деревина, або за вагою – мінерали. Проте з унікальними товарами, на кшталт смартфонів, автомобілів чи дорогоцінних металів, переважає відстеження кожної одиниці окремо. Більш детальна простежуваність вимагає більшої кількості транзакцій.

Якщо розглядати фізичні виробничі процеси, що відображаються в системі під управлінням blockchain, то для кожного унікального товару необхідно створити власний токен. Оперуючи тисячами одиниць товару, це означає необхідність реалізації тисячі різних одиниць цифрового продукту. Під час проведення транзакції необхідно буде сплатити транзакційні збори для кожного токена, відповідно до його обсягу.

Зазначений вище підхід до реалізації виробничих процесів має декілька суттєвих недоліків:

- значною мірою зростають витрати під час розроблення та інтеграції нових токенів;
- збільшення обсягів оброблюваних даних накладає додаткові навантаження на мережеві вузли, та мережу загалом;
- збільшується час очікування обробки усіх транзакцій.

Для вирішення описаної проблеми було розроблено та запропоновано новий стандарт токена платформи Ethereum під назвою ERC-1155. Новий стандарт дозволяє використовувати групування та зберігання кількох типів взаємозамінних і не взаємозамінних токенів в одному смарт-контракті, надаючи можливість одночасно виконувати транзакцію груп цифрових елементів.

Зберігання даних у blockchain – одна з найдорожчих операцій, тож питання оптимізації використовуваної пам'яті є одним із пріоритетних завдань. Використання меншого простору для зберігання може значно знизити витрати на транзакції.

Фактори, які надають можливості у розвитку рівня використання таких технологій, пов'язані з постійним прогресом у сфері передачі інформації. За даними компанії Ookla [10], підтвердженням цьому є те, що станом на вересень 2020 року середня швидкість фіксованої мережі інтернет є понад 80 Мбіт/с. Середньостатистичний користувач послуг фіксованої швидкості мережі інтернет в Україні користується інтернетом із роздільною здатністю 50 Мбіт/с. Масовому користувачу також доступні тарифи 100 Мбіт/с та 1 Гбіт/с для фіксованої швидкості, та в деяких країнах вже почи-

нають інтеграцію мобільного стандарту 5G для збільшення швидкості мобільної мережі. Таким чином, можна виділити тенденцію до подальшого збільшення обсягів передачі інформації в мережі Інтернет.

Відповідно до зазначених вище факторів, у найближчому майбутньому для систем із використанням технології blockchain може досить гостро постати питання про оптимізацію обсягів даних за одну транзакцію. Особливо важливим це питання є у контексті використання blockchain у виробничих процесах.

Завдяки ERC-1155 можливо розподілити загальний обсяг блоку на частини та провести пакування, розмістивши кожен клас токенів у відповідному адресному просторі.

Наприклад, для передачі 16 різних балансів токенів можливо використати одне 256-бітове ціле число без знаку, розділивши дані по 16 біт. В одній транзакції можливо не обмежуватися тільки одним 256-бітовим числом. Завдяки розміщенню декількох балансів токенів у межах одного простору пам'яті заощаджується вартість однієї blockchain-транзакції. Середні витрати на транзакцію 100 токенів сягають приблизно 470,000 «gas» при середньому споживанні 4,700 «gas» на передачу даних одного токена. Тоді як середні витрати 100 індивідуальних транзакцій токенів можуть сягати понад 5 млн «gas» при середньому споживанні понад 50 тис. «gas» на передачу даних одного токена.

Недоліком методу пакування по 16 біт можна виділити баланс токена, що не може перевищувати 2^{16} , або 65 546 біт. Це може бути розумною межею для багатьох додатків.

Зазначену проблему легко вирішити, змінивши кількість даних, що пакуються в одне 256-бітове ціле число. Змінивши баланс до 8 токенів замість 16, отримаємо збільшення ліміту з 65 546 до 4 294 967 296 біт.

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у цьому напрямі. У статті проведено огляд сучасних методологій у сфері управління ланцюгом поставок. Проаналізовано модель використання технології blockchain в управлінні ланцюгами поставок. Проведено аналіз доцільності використання різномісних контрактів, що підтримують обробку різних типів благ у одній транзакції, в моделі управління ланцюгом поставок із залученням сучасних blockchain-платформ, на кшталт Ethereum. Отримано результати щодо зменшення витрат завдяки оптимізації транзакцій в мережі Ethereum.

Перспективою подальшої роботи є необхідність дослідження використання технологій блокчейн в управлінні життєвим циклом продукту на підприємстві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. *ResearchGate*. 2008. URL: https://www.researchgate.net/publication/228640975_Bitcoin_A_Peer-to-Peer_Electronic_Cash_System (дата звернення: 20.09.2020).
2. Agrawal T.K., Kumar V., Pal R., Wang L., Chen Y. Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. *Computers & Industrial Engineering*. 2021. Vol. 154. DOI: 10.1016/j.cie.2021.107130.
3. Abeyratne S., Monfared R. Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2016. Vol. 05 (09). Pp. 1–10. URL: <https://ijret.org/volumes/2016v05/i09/IJRET20160509001.pdf>.
4. Karumanchi M.D., Sheeba J.I., Devaneyan S.P. Cloud Based Supply Chain Management System Using Blockchain. *4th International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer Technologies and Optimization Techniques (ICEECCOT 2019)*. (India, 13–14 December 2019). India: 2019. Pp. 390–395. URL: https://www.researchgate.net/publication/342114954_Cloud_Based_Supply_Chain_Management_System_Using_Blockchain.
5. Tan K.C., Lyman S.B., Wisner J.D. Supply chain management a strategic perspective. *International Journal of Operations and Production Management*. 2002. Vol. 22. No. 6. Pp. 614–631. DOI: 10.1108/01443570210427659.
6. Marchesi L. Automatic Generation of Blockchain Agri-food Traceability Systems. *ArXiv*. 2021. URL: <https://arxiv.org/pdf/2103.07315.pdf>.
7. Kim H. Towards an Ontology-Driven Blockchain Design for Supply Chain Provenance. *ResearchGate*. 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/307122548_Towards_an_Ontology-Driven_Blockchain_Design_for_Supply_Chain_Provenance (дата звернення: 16.01.2021).
8. Westerkamp M., Friedhelm V., Kupper A. Blockchain-based Supply Chain Traceability: Token Recipes model Manufacturing Processes. *ArXiv*. 2018. URL: <https://arxiv.org/pdf/1810.09843.pdf> (дата звернення: 18.01.2021).
9. Wood G. Ethereum: a secure decentralised generalised transaction ledger. *Ethereum project yellow paper*. 2020. URL: <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf> (дата звернення 21.09.2020).
10. Internet Speeds By Country 2021. World Population Review. URL: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/internet-speeds-by-country> (дата звернення: 22.01.2021).

REFERENCES

1. Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. *ResearchGate*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/228640975_Bitcoin_A_Peer-to-Peer_Electronic_Cash_System. (accessed 20 September 2020) [in English].
2. Agrawal, T. K., Kumar, V., Pal, R., Wang, L., & Chen, Y. (2021). Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. *Computers & Industrial Engineering*, 154. Retrieved from DOI: 10.1016/j.cie.2021.107130 [in English].
3. Abeyratne, S. & Monfared, R. (2016). Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 05 (09), 1–10. Retrieved from <https://ijret.org/volumes/2016v05/i09/IJRET20160509001.pdf> [in English].
4. Karumanchi, M. D., Sheeba, J. I. & Devaneyan, S. P. (2019). Cloud Based Supply Chain Management System Using Blockchain Proceedings from ICEECCOT 2019: *4th International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer Technologies and Optimization Techniques*. (pp. 390–395). India: IEEE. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/342114954_Cloud_Based_Supply_Chain_Management_System_Using_Blockchain [in English].
5. Tan, K.C., Lyman, S.B. & Wisner, J.D. (2002). Supply chain management a strategic perspective. *International Journal of Operations and Production Management*, 22, 6, 614–631. Retrieved from DOI: 10.1108/01443570210427659 [in English].
6. Marchesi, L. (2021). Automatic Generation of Blockchain Agri-food Traceability Systems. *ArXiv*. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/2103.07315.pdf> [in English].
7. Kim, H. (2016). Towards an Ontology-Driven Blockchain Design for Supply Chain Provenance. *ResearchGate*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/307122548_Towards_an_Ontology-Driven_Blockchain_Design_for_Supply_Chain_Provenance (accessed 16 January 2021) [in English].
8. Westerkamp M., Friedhelm, V. & Kupper, A. (2018). Blockchain-based Supply Chain Traceability: Token Recipes model Manufacturing Processes. *ArXiv*. Retrieved from <https://arxiv.org/pdf/1810.09843.pdf> (accessed 18 January 2021) [in English].
9. Wood, G. (2020). Ethereum: a secure decentralised generalised transaction ledger *Ethereum project yellow paper*. Retrieved from <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf> (accessed 21 September 2020) [in English].
10. Internet Speeds By Country 2021. [Site World Population Review]. Retrieved from <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/internet-speeds-by-country> (accessed 22 January 2021) [in English].

Н. Е. Рогоза, Ф. В. Смирнов, Высшее учебное заведение Укоопсоюза «Полтавский университет экономики и торговли». **Использование разнотипных контрактов в технологии blockchain в управлении цепью поставок.**

Аннотация. Цель статьи заключается в рассмотрении современных методов управления цепью поставок с использованием технологии blockchain и смарт-контрактов. Статья посвящена исследованию оптимизации затрат в управлении цепочкой поставок с использованием смарт-контрактов, основанных на платформе Ethereum, путем интеграции новейших стандартов передачи разнотипных контрактов для сохранения блоков данных. **Методика исследования.** Решение поставленных в статье задач произведено с использованием общенаучных и специальных методов теоретического исследования, таких как: анализ, систематизация, обобщение, проектный подход. **Результаты.** Проведен обзор современных методологий в области управления цепью поставок. Разработана модель использования технологии blockchain в управлении цепями поставок в соответствии с современными стандартами. Проведен анализ целесообразности использования разнотипных контрактов, поддерживающих обработку различных типов благ в одной транзакции, в модели управления цепью поставок с привлечением современных blockchain-платформ, вроде Ethereum. Проанализирована эффективность использования разнотипных контрактов для оптимизации хранения информации в блоки данных, размещаемых в цепи блоков с использованием технологии blockchain. **Практическая значимость результатов исследования.** В статье обоснована целесообразность использования нового стандарта разнотипных контрактов платформы Ethereum – ERC-1155, поддерживающего обработку различных типов благ в одной транзакции, в модели управления цепью поставок для оптимизации расходов. Получены результаты, демонстрирующие эффективность использования стандарта ERC-1155 в управлении цепью поставок.

Ключевые слова: blockchain, смарт-контракт, управление цепочкой поставок, предприятие, Ethereum, ERC-1155.

Mykola Rohoza, Feodor Smirnov, Poltava University of Economics and Trade. The use of different types of contracts in blockchain technology for supply chain management.

Annotation. The purpose of the article is to consider modern methods of supply chain management using blockchain technology and smart contracts. The article is devoted to the study of cost optimization in supply chain management using smart contracts based on the Ethereum platform, by integrating the latest standards for the transfer of different types of contracts to store data blocks. The use of the above approach is considered to obtain the ability to track ways of modifying resources into the final product in production processes, by creating timelines for tracking the final product after processing, and obtaining information about product inputs and resources expended. **Methodology of research.** The solution of the tasks set in the article has been made with the use of general scientific and special methods of theoretical research, such as: analysis, systematization of generalization, design approach. The chosen methods for carrying out scientific research are determined by the nature of the research object, the nature of the study area and available resources as the main factors of methodological selection. **Findings.** A review of modern methodologies in the field of supply chain management has been done. A model of using blockchain technology in supply chain management in accordance with modern standards has been developed. The feasibility of using different types of contracts that support the processing of different types of goods in a single transaction, in the supply chain management model involving modern blockchain platforms, such as Ethereum has been analyzed. The efficiency of using different types of contracts to optimize the storage of information in data blocks placed in a chain of blocks using blockchain technology has been analyzed. **Practical value.** The article substantiates the expediency of using a new standard of different types of contracts of the Ethereum platform – ERC-1155, which supports the processing of different types of goods in one transaction, in the supply chain management model to optimize costs. The results demonstrate the effectiveness of the ERC-1155 standard in supply chain management.

Key words: blockchain, smart contract, supply chain management, enterprise, Ethereum, ERC-1155.