

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

УДК 004.75:656.073

Є. А. ВЕЛЕГУРА^{1*}, В. М. ГОРЯЧКІН^{2*}

^{1*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (095) 051 06 35, ел. пошта velehura@gmail.com, ORCID 0009-0008-2656-8274

^{2*}Каф. «Комп'ютерні інформаційні технології», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДІТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (097) 972 52 55, ел. пошта v.m.horiachkin@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-8952-952X

Застосування смарт-контрактів при формалізації ролей у системах вантажних перевезень

Мета. Метою дослідження є розробка детальної рольової моделі для впровадження смарт-контрактів у логістичні процеси вантажних перевезень, що дозволить автоматизувати взаємодію між учасниками та підвищити прозорість операцій. **Методика.** Для досягнення поставленої мети застосовано системний підхід із використанням контекстно-рольового аналізу. Дослідження передбачає детальну декомпозицію етапів логістичного ланцюга при застосуванні смарт-контрактів, ідентифікацію ключових учасників, а також визначення їх функцій, прав та обов'язків. Цей підхід дозволяє чітко розмежувати зони відповідальності, зменшити ризики конфліктів та забезпечити прозорість дій кожного учасника. Розроблена UML-діаграма демонструє послідовність взаємодій між суб'єктами, а інтеграція смарт-контрактів забезпечує автоматизацію та незмінність операцій. **Результати.** Проведено комплексний аналіз логістичних процесів із застосуванням смарт-контрактів, що дозволило визначити права та обов'язки для семи базових ролей учасників логістичних операцій. Такий підхід забезпечує цілісне бачення системи та дозволяє описати логіку взаємодій між суб'єктами. Розроблена модель демонструє автоматизацію укладання та виконання контрактів, що сприяє зниженню часу обробки документів, оптимізації операцій та забезпеченню високого рівня безпеки даних у розподіленому реєстрі. **Наукова новизна.** Запропоновано підхід, що дозволяє інтегрувати формалізовані ролі учасників вантажних перевезень з технологією смарт-контрактів. Детальна структуризація функціональних обов'язків кожної ролі дозволяє реалізувати програмну логіку децентралізованої системи, що значно розширює можливості автоматизованого управління логістичними процесами. Підхід є універсальним і може адаптуватися до різних типів логістичних сценаріїв. **Практична значимість.** Розроблена рольова модель створює сприятливі умови для впровадження блокчейн-рішень у сфері вантажних перевезень, що дозволяє цифровізувати логістичні процеси, підвищити довіру між учасниками ланцюга постачання та знизити операційні витрати. Отримані результати мають практичне застосування для логістичних операторів, розробників програмного забезпечення та консалтингових компаній, які прагнуть модернізувати існуючі системи управління перевезеннями. Модель також може бути корисною для освітніх цілей у сфері логістики, інформатики та управління.

Ключові слова: інформаційна система; смарт-контракт; блокчейн; рольова модель; вантажні перевезення; логістика; моделювання процесів

Вступ

Зі зростанням глобальних обсягів торгівлі та розвитку інформаційних технологій вантажні перевезення перестали бути виключно «фізичним» процесом транспортування товарів від бази постачання до пункту призначення. Сучасні логістичні операції являють собою складні системи, де беруть участь численні стейкхолдери, виконуючи низку завдань: від оформлення документів і страхування до моніторингу транзиту та регулювання взаєморозрахунків. Усе це вимагає прозорості процесів, підвищення надійності зберігання даних і мінімізації ризиків шахрайства.

Із впровадженням технології блокчейн можуть бути запропоновані нові підходи до вирішення цих завдань, забезпечуючи децентралізоване та захищене середовище для зберігання й обміну інформацією про відправлення. Ключова перевага впровадження блокчейну – можливість використання смарт-контрактів, які можуть автоматично виконувати закладену логіку за певних умов без посередників.

Смарт-контракти – це самовиконувана програма, яка утворює інформаційну систему, що містить дані про вантаж і проходження ним послідовних етапів процесу перевезення, а також автоматизує дії, необхідні для здійснення транзакції в блокчейні. Після виконання транзакції такі дії стають відстежуваними та незворотними. Вони дозволяють створювати децентралізовані, прозорі та незмінні угоди, де логіка виконання прописана безпосередньо в програмному коді. Завдяки використанню криптографічних методів забезпечується високий рівень безпеки даних та автоматичне документування всіх транзакцій. Смарт-контракти мінімізують участь посередників, що знижує витрати часу та зменшує ризики людської помилки чи шахрайства [3].

Крім того, використання блокчейн-технологій відкриває можливість інтеграції з IoT-пристроями, що значно розширює функціональність логістичних систем. Смарт-контракти можуть автоматично реагувати на сигнали з датчиків, встановлених у транспортних засобах або контейнерах, забезпечуючи безперервний обмін даними про стан вантажу, його місцезнаходження та умови зберігання.

IoT-платформи можуть безпечно взаємодіяти з блокчейном: сенсори передають дані (вологість, положення, умови зберігання) прямо до смарт-контрактів. В дослідженнях [2, 5] показано, що такий підхід дозволяє автоматично відстежувати вантажі та виконувати дії (сповіщення, оплати) при фіксації подій. У результаті підвищується прозорість процесів перевезень і зменшується потреба в ручному втручанні, що є особливо важливим для контролю за чутливими або цінними вантажами. Завдяки здатності автоматично реалізовувати бізнес-правила та умови договорів, смарт-контракти здатні суттєво скорочувати затримки в обробці операцій. Як зазначено в дослідженні [9], їх застосування сприяє зменшенню затримок у ланцюгах постачання шляхом автоматизації взаємодії між сторонами.

Для моделювання та оптимізації транспортних систем використовують різні методи. У дослідженні [1] запропоновано застосування абстрактного моделювання операційних процесів для удосконалення управління рухом поїздів. Таке моделювання дозволяє диспетчерському апарату оперативно реагувати на зміну умов руху і прогнозувати ключові показники, зокрема ймовірність можливого зіткнення поїздів. На відміну від традиційних методів, використання абстрактного моделювання дає змогу створювати високошвидкісні інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень із можливістю самоадаптації до нових умов. Поєднання таких моделей зі смарт-контрактами та блокчейном відкриває перспективи автоматизованих алгоритмів координації руху та зниження людського фактора у критичних рішеннях.

Багато дослідників [7, 10, 11] відзначають, що смарт-контракти здатні спростити юридичний і технічний аспекти угод, зменшити витрати часу на ручну обробку документів і сприяти підвищенню безпеки логістичних ланцюгів.

Водночас одна з центральних проблем полягає у визначенні ролей користувачів, що беруть участь у таких смарт-контрактах. Адже кожен стейкхолдер – від вантажовідправника до митниці чи страхової компанії — має власні функції та права, які слід формально окреслити та зафіксувати в розподіленому реєстрі. Недостатньо лише впровадити блокчейн-технології; потрібно розробити чітку модель взаємодії між

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

усіма учасниками з урахуванням їхніх обов'язків, рівня доступу до інформації, а також прав на ініціювання чи підтвердження певних операцій.

У попередніх дослідженнях [4, 8] було запропоновано загальні підходи до впровадження блокчейну у сфері логістики, проте вони не завжди торкалися глибокої деталізації ролей користувачів. Ті ж роботи, які акцентують увагу на ролях (наприклад, [6]), нерідко пропонують високорівневі концепції без розгляду нюансів саме вантажоперевезень.

Таким чином, існує потреба у формалізації та структуруванні ролей учасників вантажних перевезень у середовищі, що базується на смарт-контрактах. Відсутність такої чіткої формалізації ускладнює як проектування системи, так і забезпечення безпеки доступу й виконання операцій. Тому створення комплексної моделі, де кожна роль користувача буде визначена з урахуванням реальних бізнес-процесів, що супроводжують перевезення вантажів, є актуальною задачею.

Мета

Метою даної роботи є створення удосконаленої рольової моделі учасників логістичного ланцюга для процесів вантажних перевезень з інтеграцією до неї концепції смарт-контрактів на основі технології блокчейн.

Основними завданнями є:

- 1) ідентифікувати ключові ролі користувачів та визначити перелік їхніх прав і обов'язків у рамках логістичних процесів з використанням смарт-контрактів;
- 2) обґрунтувати функції виконавців кожної ролі, проаналізувати взаємодію між ними та правила передачі інформації при застосуванні технології блокчейн;
- 3) розробити структуру інформаційної системи, яка може бути реалізована у системі смарт-контрактів, забезпечуючи чіткий розподіл функцій;
- 4) забезпечити умови для масштабованості та гнучкості такої системи при зміні вимог чи додаванні нових ролей.

Досягнення поставленої мети сприятиме інтеграції блокчейн-рішень у сферу вантажних перевезень, підвищить прозорість логістичних процесів та зменшить імовірність конфліктів і шахрайства в процесі доставки вантажів.

Методика

Методика дослідження ґрунтується на застосуванні системного підходу для формалізації ролей користувачів у процесі вантажних перевезень і визначенні їх функціональних обов'язків при застосуванні технології смарт-контрактів. Даний підхід передбачає поетапний аналіз логістичного ланцюга, що включає збір загальних вимог до процесу перевезення вантажів та ідентифікацію основних суб'єктів логістичної системи.

Методологія передбачає застосування контекстно-рольового аналізу, що дозволяє розглядати кожного суб'єкта не лише з позиції його формального найменування, але й у контексті виконання завдань на різних етапах перевезення, зокрема під час укладення договору, передачі вантажу, оформлення страхування та проходження митного контролю. Такий підхід забезпечує чітке розмежування рівнів доступу до інформації, що міститься у смарт-контрактах, та прийняття рішень, що сприяє мінімізації конфліктних ситуацій і запобігає дублюванню функцій між суб'єктами.

Відтворюваність дослідження забезпечується за рахунок детального опису логістичної схеми перевезення, що охоплює всі етапи – від формування замовлення до отримання вантажу кінцевим споживачем. Кожен етап процесу декомпонується на конкретні дії. Отримана структура ролей порівнюється з типовими бізнес-процесами перевезень, законодавчими вимогами та практиками великих логістичних операторів, що дозволяє виявити та усунути розбіжності шляхом коригування прав доступу та функціональних обов'язків суб'єктів.

Таким чином, обрана методика дослідження забезпечує комплексний аналіз ролей користувачів у вантажних перевезеннях, що сприяє підвищенню точності моделювання логістичних процесів та гарантує відтворюваність отриманих результатів.

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

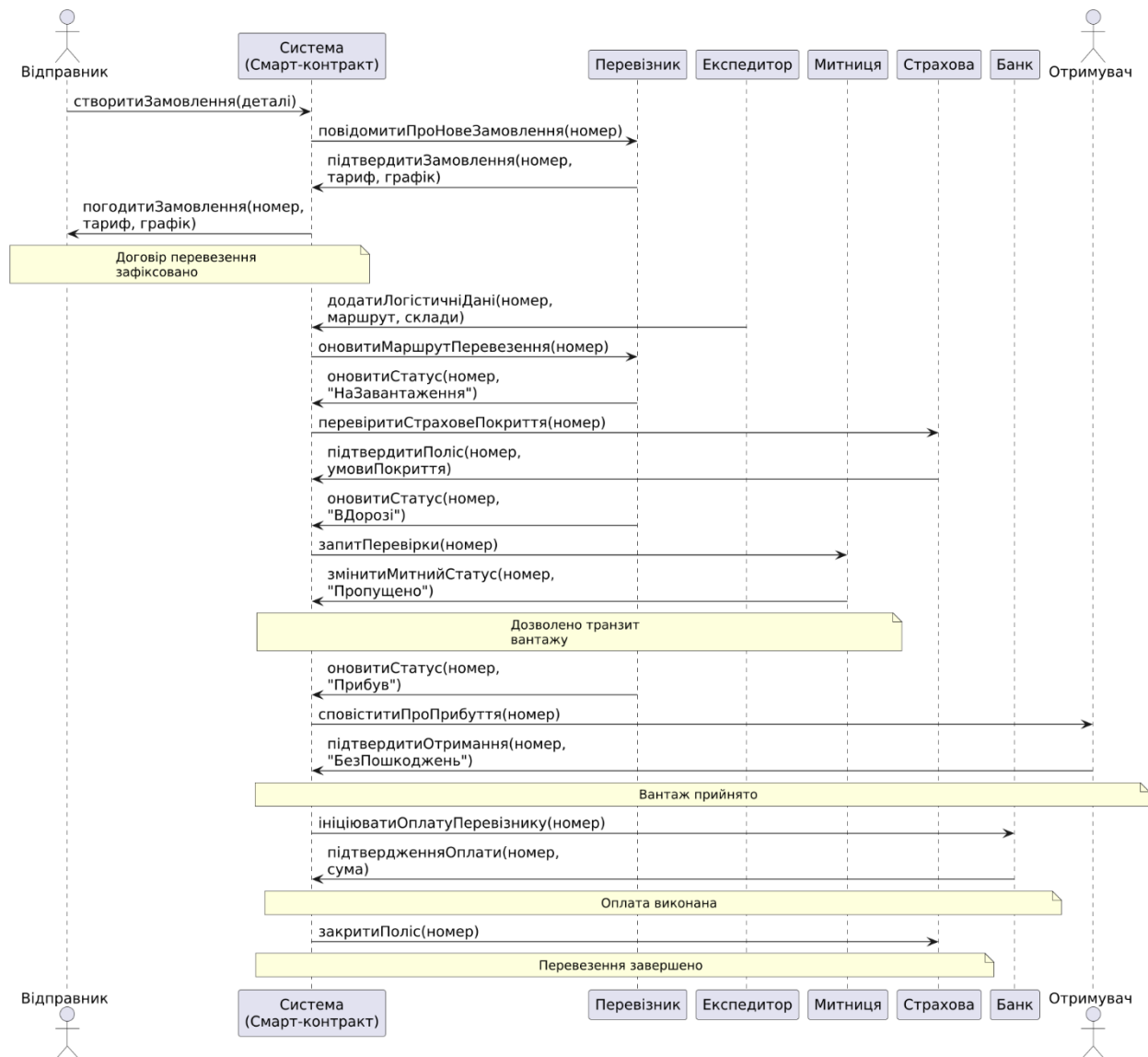


Рис. 1. UML-діаграма взаємодії учасників смарт контракту

Результати

В результаті системного аналізу було виділено сім базових ролей, які беруть участь у процесі вантажних перевезень із інтеграцією технології смарт-контрактів. Смарт-контракти, як автоматизовані програми, що виконуються на базі блокчейну, забезпечують прозорість, безпеку та автоматизацію операцій за умовами контракту.

На рис. 1 показано UML-діаграму, на якій представлено послідовність взаємодій між основними суб'єктами логістичного ланцюга, які

беруть участь у процесі вантажних перевезень із застосуванням смарт-контрактів:

- відправник ініціює створення замовлення, передаючи деталі перевезення до системи, що реалізована за допомогою смарт-контракту;
- система автоматично фіксує отримані дані та повідомляє Перевізника про нове замовлення, після чого відбувається підтвердження замовлення із зазначенням тарифу та графіку;
- експедитор доповнює інформацію, додаючи логістичні дані (маршрут, інформацію про склади), що дозволяє Перевізнику оновити маршрут перевезення;

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

– подальші етапи включають оновлення статусів перевезення Перевізником (наприклад, «На завантаження», «ВДорозі», «Прибув»), а також взаємодію з Митницею, Страховою компанією та Банком для здійснення перевірок, підтвердження транзакцій і фінансових операцій;

– отримувач підтверджує факт отримання вантажу, що стає умовою для фінального закриття угоди, включаючи автоматичну ініціацію оплати та завершення страхового покриття.

Розглянемо детальніше кожну з ролей з акцентом на механізми використання смарт-контрактів.

1. Вантажовідправник (Shipper)

Функціональні обов'язки:

– Ініціювання контракту: Вантажовідправник створює початковий запит на перевезення, де смарт-контракт автоматично фіксує основні параметри вантажу, умови доставки, тарифи та строки. Дані, що вводяться, зберігаються у блокуванні з використанням криптографічних алгоритмів, що гарантує їх незмінність.

– Укладення угоди: За допомогою смарт-контракту відправник може пропонувати та погоджувати умови перевезення з перевізником. Смарт-контракт автоматично фіксує узгоджені комерційні умови, забезпечуючи їх прозорість та відсутність можливості їх односторонньої зміни.

– Надання супровідних документів: Документи (наприклад, інвойси, сертифікати походження) завантажуються в систему через смарт-контракт із застосуванням цифрового підпису. Це забезпечує достовірність даних та їх доступність для всіх учасників процесу.

Вантажовідправник має можливість вносити та редагувати інформацію до моменту підтвердження замовлення перевізником. Будь-які зміни реєструються смарт-контрактом із зазначенням часу та електронного підпису вантажовідправника.

2. Перевізник (Carrier)

Функціональні обов'язки:

– Підтвердження прийняття вантажу: Перевізник реєструє факт прийняття вантажу через смарт-контракт, що забезпечує негайне оновлення статусу угоди в реальному часі.

– Оновлення статусу перевезення: За допомогою смарт-контрактів здійснюється автома-

тичне відстеження різних етапів перевезення (завантаження, переміщення, доставка). Кожна зміна статусу фіксується в смарт контракті, що забезпечує прозорість та недопустимість несанкціонованих змін.

– Оцінка вартості перевезення: Смарт-контракт автоматично порівнює введені дані з попередньо узгодженими умовами, що дозволяє перевізнику ініціювати процес погодження тарифів та комерційних умов.

Перевізник має право редагувати статус перевезення та підтверджувати (або відхиляти) ініційовані іншими сторонами зміни. Це можуть бути коригування вартості, зміни маршрутів, строків доставки, характеристик вантажу або умов оплати. Смарт-контракт автоматично фіксує всі внесені зміни, забезпечуючи їхню незмінність і контрольованість.

3. Експедитор (Freight Forwarder)

Функціональні обов'язки:

– Оптимізація логістики: Використовуючи дані, що зберігаються у смарт-контракті, експедитор може аналізувати та визначати оптимальні маршрути перевезення з урахуванням актуальної інформації про транспортні засоби, погодні умови та завантаження.

– Документальний супровід: Смарт-контракт забезпечує автоматичну перевірку митних і транспортних документів, що завантажуються експедитором, із використанням криптографічних підписів для підтвердження їх достовірності.

– Координація перевантажень: За допомогою інтегрованих систем управління логістикою, смарт-контракт синхронізує розклад перевезень, контактні дані складів і портів, фіксуючи кожну зміну в системі.

Експедитор вносить зміни, що стосуються логістичних параметрів (маршрут, графік, дані складів), проте базові умови (вартість, кінцевий термін) змінюються лише за попередньої згоди вантажовідправника та перевізника. Кожна зміна документується в смарт-контракті з можливістю аудиту.

4. Митний орган (Customs)

Функціональні обов'язки:

– Перевірка даних про вантаж: Митний орган здійснює автоматизовану перевірку декларацій та опису товару, завантажених у смарт-контракт. За допомогою алгоритмів верифікації

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

даних здійснюється швидка і точна перевірка відповідності.

– Застосування митних ставок: Смарт-контракт містить вбудовані розрахункові функції, які дозволяють автоматично визначати митні платежі на основі введених даних та актуальних тарифів.

– Фіксація результатів контролю: Після проведення перевірки, смарт-контракт автоматично оновлює статус вантажу щодо проходження митного контролю – відзначаючи, чи було надано дозвіл на випуск вантажу.

Митний орган має право читати та записувати дані у розділ «митний статус» смарт-контракту, причому будь-які зміни оновлюються автоматично із зазначенням результатів перевірки.

5. Страхова компанія (Insurer)

Функціональні обов'язки:

– Оцінка ризиків та формування страхових полісів: На основі даних, що зберігаються в смарт-контракті, страхова компанія проводить аналіз ризиків, автоматично розраховуючи страхову премію та умови покриття.

– Реєстрація страхових договорів: Усі дані про укладені страхові договори (страхова премія, сума покриття) завантажуються в смарт-контракт із застосуванням цифрових підписів, що забезпечує їх прозорість та недоторканість.

– Виплата відшкодування: У разі настання страхового випадку, смарт-контракт, за заздалегідь визначеними умовами, автоматично ініціює процес виплати відшкодування. Процедура здійснюється безпосередньо після підтвердження обставин страхового випадку, що реєструється в системі.

Страхова компанія може створювати, редагувати та контролювати страхові поліси. Проте вона не має доступу до зміни логістичних та митних даних, які зберігаються в інших секціях смарт-контракту.

6. Банк/фінансова установа (Bank)

Функціональні обов'язки:

– Верифікація платіжних зобов'язань: Банк здійснює автоматизовану перевірку відповідності платіжних операцій умовам контракту. Смарт-контракт верифікує платіжні дані із заздалегідь встановленими умовами, гарантуючи правильність розрахунків.

– Проведення транзакцій: Після підтвердження виконання перевезення або страхових виплат, смарт-контракт автоматично ініціює фінансові операції, що включають як розрахунки між сторонами, так і виплати відповідних сум.

– Опціональне фінансування: У разі потреби банк може ініціювати операції з фінансування (лізингові чи кредитні операції) під заставу товару, причому умови таких операцій інтегровані в смарт-контракт і активуються за наявності відповідних тригерів.

Банк має право ініціювати та підтверджувати фінансові транзакції, а також переглядати статус перевезення й акти виконаних робіт, що дозволяє здійснювати контроль за відповідністю операцій умовам контракту. Зміни логістичних або страхових даних здійснювати банк не може.

7. Отримувач (Consignee)

Функціональні обов'язки:

– Підтвердження отримання вантажу: Отримувач реєструє факт отримання вантажу за допомогою смарт-контракту, що автоматично оновлює відповідний статус із зазначенням часу завершення доставки.

– Ініціювання претензій: У разі виявлення пошкоджень або невідповідності умов доставки, отримувач може активувати процедури претензій через смарт-контракт. Це дозволяє автоматично повідомити страхову компанію та інші зацікавлені сторони про необхідність проведення страхових процедур.

– Закриття договору: Після підтвердження факту отримання вантажу та відсутності претензій, смарт-контракт автоматично ініціює процес закриття угоди, що забезпечує фінальну документацію всіх виконаних зобов'язань.

Отримувач має право переглядати більшість логістичних і митних даних, проте редагування цих даних заборонене. Єдиною змінюваною інформацією є відмітка про отримання або зауваження щодо стану вантажу, які автоматично фіксуються в смарт-контракті.

Наукова новизна та практична значимість

Наукова новизна роботи полягає у детальній структуризації ролей, яка відрізняється від підходів попередніх досліджень [7, 10, 11], де здебільшого окреслювалися лише узагальнені ти-

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

пи стейкхолдерів. Запропоновано перелік із семи ролей із чіткою деталізацією їх функцій. Крім того, інтеграція з концепцією смарт-контрактів реалізована через розробку методу формального опису повноважень і обов'язків кожної ролі, що дозволяє безпосередньо втілити ці правила у програмну логіку розподіленого реєстру.

Практичне значення даної роботи полягає в тому, що розроблена рольова модель із інтеграцією смарт-контрактів створює сприятливі умови для впровадження блокчейн-технологій у сферу вантажних перевезень.

Отримані результати мають практичну цінність для логістичних операторів, розробників програмного забезпечення та консалтингових компаній, оскільки запропонована модель може стати основою для розробки спеціалізованих рішень, що інтегрують смарт-контракти у існуючі логістичні системи. Це, в свою чергу, полегшує процес цифровізації та адаптації бізнес-процесів до сучасних вимог ринку, сприяє підвищенню безпеки операцій і забезпечує можливість швидкого масштабування системи у відповідь на зміни в ринкових умовах. Таким чином, запропонована рольова модель не лише сприяє оптимізації операцій у сфері вантажоперевезень, а й є важливим кроком на шляху до впровадження інноваційних технологій у логістику.

Висновки

У роботі розроблено детальну рольову модель для учасників вантажних перевезень, інтегровану з концепцією смарт-контрактів, прове-

дено комплексний аналіз ролей учасників вантажних перевезень. Запропонована модель чітко формалізує функції, права та обов'язки кожного учасника, що забезпечує не лише ефективну взаємодію між сторонами, а й створює передумови для автоматизації та оптимізації бізнес-процесів за допомогою блокчейн-технологій.

Розроблена рольова модель дозволяє автоматизувати процеси укладення й виконання контрактів, що суттєво скорочує час обробки документів, підвищує прозорість операцій і знижує операційні витрати. Завдяки інтеграції смарт-контрактів кожен суб'єкт має змогу діяти в межах чітко визначеної компетенції, що сприяє підвищенню прозорості операцій і зміцненню довіри між учасниками логістичного ланцюга.

Практична цінність дослідження полягає у можливості впровадження запропонованої моделі в існуючі логістичні системи, що відкриває шлях до цифровізації та модернізації процесів перевезення вантажів.

Розроблена модель створює базу для подальшого розвитку методів контролю доступу, а також для аналізу правових аспектів укладення і виконання смарт-контрактів у вантажних перевезеннях та сприяє інтеграції інноваційних технологій у сферу вантажних перевезень, оптимізуючи процеси взаємодії між учасниками логістичного ланцюга та забезпечуючи надійну, прозору та ефективну систему управління контрактами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лаврухін О. В., Миронець С. Р., Богомолів В. А. Удосконалення технології управління рухом поїздів на основі абстрактного моделювання оперативних процесів. *Наука та прогрес транспорту*. 2022. № 3–4(99–100). С. 25–32. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2022/276194>
2. Aleksieva V., Valchanov H., Haka A., Dinev D. Logistics Model Based on Smart Contracts on Blockchain and IoT. *Engineering Proceedings*. 2023. Vol. 41, No. 1. P. 8. DOI: <https://doi.org/10.3390/engproc2023041008>
3. Alshahrani A., Khedr A., Belal M., Saleh M. A Smart Contract Approach for Efficient Transportation Management. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2024. Vol. 15, No. 10. P. 728–736. DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0151074>
4. Alqarni M. A., Alkathiri M. S., Chauhdary S. H., Saleem S. Use of Blockchain-Based Smart Contracts in Logistics and Supply Chains. *Electronics*. 2023. Vol. 12, No. 6. 1340. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12061340>

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

5. Baygın M., Yaman O., Baygın N., Karakoş M. A blockchain-based approach to smart cargo transportation using UHF RFID. *Expert Systems with Applications*. 2022. Vol. 188. 116030. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116030>
6. Casino F., Dasaklis T. K., Patsakis C. A systematic literature review of blockchain-based applications: current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*. 2019. Vol. 36. P. 55–81. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006>
7. Francisco K., Swanson D. The supply chain has no clothes: technology adoption of blockchain for supply chain transparency. *Logistics*. 2018. Vol. 2, No. 1. P. 2. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics2010002>
8. Tian F. A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. *2017 International Conference on Service Systems and Service Management: Proceedings of the International Conference (ICSSSM 2017)* (Dalian, PRC, 16–18 June 2017). Institute of Electrical and Electronics Engineers. New York, 2017. P. 1–6. DOI: <http://doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996119>
9. Vovchak O., Veres Z. Enhancing IoT-driven logistics solutions using blockchain-based smart contracts. *Information Systems and Networks*. 2025. Vol. 17. P. 319–329. DOI: <https://doi.org/10.23939/sisn2025.17.319>
10. Wang Y., Singgih M., Wang J., Rit M. Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains? *International Journal of Production Economics*. 2019. Vol. 211. P. 22–32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.002>
11. Zhao G., Liu S., Lopez C., Lu H., Elgueta S., Chen H., Boshkoska B. M. Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. *Computers in Industry*. 2019. Vol. 109. P. 83–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.002>

Y. A. VELEHURA^{1*}, V. M. HORIACHKIN^{2*}

^{1*}Dep. «Computer and Information Technology», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (095) 051 06 35, e-mail velehura@gmail.com, ORCID 0009-0008-2656-8274

^{2*}Dep. «Computer and Information Technology», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (097) 972 52 55, e-mail v.m.horiachkin@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-8952-952X

Application of Smart Contracts in the Formalization of Roles in Freight Transportation Systems

Purpose. The aim of the study is to develop a detailed role model for the implementation of smart contracts in the logistics processes of freight transportation, which will enable the automation of interaction between participants and increase the transparency of operations. **Methodology.** To achieve the stated goal, a systemic approach using context-role analysis was applied. The study involves a detailed decomposition of the stages of the logistics chain when applying smart contracts, identification of key participants, and definition of their functions, rights, and responsibilities. This approach makes it possible to clearly delineate areas of responsibility, reduce the risk of conflicts, and ensure the transparency of each participant's actions. The developed UML diagram demonstrates the sequence of interactions between subjects, and the integration of smart contracts ensures the automation and immutability of operations. **Findings.** A comprehensive analysis of logistics processes using smart contracts was carried out, which made it possible to define the rights and responsibilities for seven basic roles of logistics operation participants. This approach provides a holistic view of the system and makes it possible to describe the logic of interactions between subjects. The developed model demonstrates the automation of contract conclusion and execution, which contributes to the reduction of document processing time, optimization of operations, and ensuring a high level of data security in the distributed ledger. **Originality.** An approach is proposed that enables the integration of formalized roles of freight transportation participants with smart contract technology. The detailed structuring of the functional responsibilities of each role makes it possible to implement the program logic of a decentralized system, which significantly expands the possibilities of automated logistics process management. The approach is universal and can be adapted to different types of logistics scenarios. **Practical value.** The developed role model creates favorable conditions for the implementation of blockchain solutions in the field of freight transportation, which makes it possible to digitalize logistics processes, increase trust between supply chain participants, and reduce operational costs. The obtained results have practical application for logistics operators, software developers, and consulting

ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

companies that seek to modernize existing transportation management systems. The model can also be useful for educational purposes in the fields of logistics, computer science, and management.

Keywords: information system; smart contract; blockchain; role-based model; freight transportation; logistics; process modeling

REFERENCES

1. Lavrukhin, O. V., Myronets, S. R., & Bohomolov, V. A. (2022). Udoskonalennia tekhnolohii upravlinnia rukhom poizdiv na osnovi abstraktnoho modeliuvannia operatyvnykh protsesiv. *Science and Transport Progress*, 3-4(99-100), 25-32. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2022/276194> (in Ukrainian)
2. Aleksieva, V., Valchanov, H., Haka, A., & Dinev, D. (2023). Logistics Model Based on Smart Contracts on Blockchain and IoT. *Engineering Proceedings*, 41(1), 8. DOI: <https://doi.org/10.3390/engproc2023041008> (in English)
3. Alshahrani, A., Khedr, A., Belal, M., & Saleh, M. (2024). A Smart Contract Approach for Efficient Transportation Management. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(10), 728-736. DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0151074> (in English)
4. Alqarni, M. A., Alkathiri, M. S., Chauhdary, S. H., & Saleem, S. (2023). Use of Blockchain-Based Smart Contracts in Logistics and Supply Chains. *Electronics*, 12(6), 1340. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12061340> (in English)
5. Baygin, M., Yaman, O., Baygin, N., & Karakoş, M. (2022). A blockchain-based approach to smart cargo transportation using UHF RFID. *Expert Systems with Applications*, 188, 116030. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116030> (in English)
6. Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: current status, classification and open issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55-81. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006> (in English)
7. Francisco, K., & Swanson, D. (2018). The supply chain has no clothes: technology adoption of blockchain for supply chain transparency. *Logistics*, 2(1), 2. DOI: <https://doi.org/10.3390/logistics2010002> (in English)
8. Tian, F. (2017, June). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. In *2017 International Conference on Service Systems and Service Management: Proceedings of the International Conference (ICSSSM 2017)* (pp. 1-6). Institute of Electrical and Electronics Engineers. New York, USA. DOI: <http://doi.org/10.1109/ICSSSM.2017.7996119> (in English)
9. Vovchak, O., & Veres, Z. (2025). Enhancing IoT-driven logistics solutions using blockchain-based smart contracts. *Information Systems and Networks*, 17, 319-329. DOI: <https://doi.org/10.23939/sisn2025.17.319> (in English)
10. Wang, Y., Singgih, M., Wang, J., & Rit, M. (2019). Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains? *International Journal of Production Economics*, 211, 22-32. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.002> (in English)
11. Zhao, G., Liu, S., Lopez, C., Lu, H., Elgueta, S., Chen, H., & Boshkoska, B. M. (2019). Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions. *Computers in Industry*, 109, 83-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.002> (in English)

Надійшла до редколегії: 16.05.2025

Прийнята до друку: 23.09.2025