УДК 658.78
DOI: https://doi.org/10.32782/business-navigator.78-38

Благун І.С.
доктор економічних наук, професор,
професор кафедри економічної кібернетики
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника

Blahun Ivan
Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor at the Department of Economic Cybernetics
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University

ЕВОЛЮЦІЙНА ІГРОВА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА СЛУЖБ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ОСНОВІ БЛОКЧЕЙН-ПЛАТФОРМ

EVOLUTIONARY GAME MODEL OF INTERACTION BETWEEN LOGISTICS COMPANIES AND EMERGENCY SERVICES BASED ON BLOCKCHAIN PLATFORMS

У статті представлена еволюційна модель гри для спільного транспортування екстрених матеріалів на основі блокчейн-платформ, спрямована на дослідження економічних факторів, що впливають на вибір стратегії як відділів управління надзвичайними ситуаціями, так і логістичних підприємств. На основі створення блокчейн-платформи запропоновано еволюційну ігрову модель, яка в першу чергу досліджує фактори, що впливають на вибір стратегії логістичними підприємствами між спільним транспортуванням і незалежним транспортуванням. Запропонована еволюційна ігрова модель для спільного транспортування екстрених матеріалів включає в себе розрахунок матриці виграшу, виведення рівнянь динаміки для моделювання еволюції стратегії в часі та визначення стійкої точки рівноваги однієї змішаної стратегії.

Ключові слова: логістика, логістичне підприємство, служба надзвичайних ситуацій, блокчейн, еволюційна ігрова модель.

The paper presents an evolutionary game model for joint transportation of emergency materials based on blockchain platforms, aiming to investigate the economic factors influencing the strategy choice of both emergency management departments and logistics enterprises. Within the evolutionary game model, the choice of strategy for emergency services is divided into active blockchain platform construction and passive blockchain platform construction, while logistics enterprises face strategies between joint transportation and independent transportation. Based on the establishment of the blockchain platform, an evolutionary game model is proposed, which primarily investigates the factors influencing the strategy choice of logistics enterprises between joint transportation and independent transportation. A complex network-based evolutionary game, which is a variant of classical evolutionary game theory, considers how the structure of the network affects the evolution of the game model. Complex networks can more realistically reflect the interactions and structural characteristics between the game's stakeholders. Subsequently, strategy updates at different nodes are influenced by the network structure, leading to a more flexible and adaptive strategy evolution process. Blockchain performance metrics include throughput, latency, and scalability. Consortium chains can effectively balance the needs of these performance indicators. Thus, based on the chronological order of the pre-emergency, mid-emergency, and post-emergency periods, a framework for the emergency response process in the consortium blockchain environment is formed. The proposed evolutionary game model for joint transportation of emergency materials includes the calculation of the payoff matrix, the derivation of dynamics equations to model the evolution of the strategy over time, and the determination of the stable equilibrium point of one mixed strategy. Complex networks are built within the model to explore the dynamic decision-making processes of different stakeholders. These networks capture both the strategy choices of network nodes representing emergency services and logistics enterprises and the temporal evolution of connecting nodes, reflecting the dynamic interaction between these nodes.

Keywords: logistics, logistics enterprise, emergency services, blockchain, evolutionary game model.

Постановка проблеми. Скоро буде три роки, як українська логістика перебуває в умовах воєнного часу, що спричиняє багато додаткових проблем для самої галузі, так і для всіх галузей економіки. Ці проблеми проявляються в трансформації та адаптації логістичних ланцюгів до викликів, спричинених частими надзвичайними ситуаціями в умовах воєнного стану в Україні. Ефективне управління надзвичайними ситуаціями є критично важливим завданням для служби з надзвичайних ситуацій, головним чином

для забезпечення засобів до існування мешканців під час надзвичайних ситуацій. Катастрофи незмінно спричиняють різке зростання попиту на екстрені матеріали та водночас можуть спричинити затори на дорогах, перешкоджаючи транспортуванню цих матеріалів. Після надзвичайної ситуації необхідні швидкі дії СНС для мобілізації гуманітарної допомоги, придбання екстрених матеріалів і прискорення транспортування цих матеріалів до постраждалих регіонів. Модель спільного транспортування екстрених матеріалів пропонує інноваційні підходи для логістичних підприємств для підвищення ефективності транспортування шляхом зміцнення зв'язку та консолідації ресурсів. Однак під час транспортування екстрених матеріалів виникають численні проблеми, зокрема труднощі з проходженням маршруту, неефективна передача логістичної інформації та недостатня прозорість інформаційного вмісту. Таким чином, створення платформи для обміну інформацією має ключове значення для підвищення ефективності транспортування екстрених матеріалів.

Технологія Blockchain пропонує надійну технічну підтримку для подолання цих проблем завдяки її децентралізації, прозорості інформації та захисту від несанкціонованого втручання. По-перше, розподілена структура блокчейну може допомогти відділам управління надзвичайними ситуаціями та логістичним підприємствам у досягненні однорангового зв'язку, усуваючи громіздку ієрархічну структуру передачі інформації. По-друге, технологія блокчейн дозволяє логістичним підприємствам своєчасно відстежувати інформацію про транспортування матеріалів, забезпечуючи безпеку та конфіденційність інформації. По-третє, механізм шифрування технології блокчейн гарантує безпеку екстреної логістичної інформації, запобігаючи витоку та підробці даних, а також захищаючи конфіденційність даних. Нарешті, незмінність технології блокчейн не тільки підвищує довіру між сторонами в процесі екстреного транспортування, але також сприяє більш ефективному та скоординованому процесу управління надзвичайними ситуаціями, забезпечуючи надійні записи інформації та обмін даними в режимі реального часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні в довоєнний час науковці досліджували застосування блокчейнів в транспортно-логістичному обслуговуванні (Керничний Б. [1]), у ланцюгах поставок (Кудирко О. [2]), у різних галузях (Літошенко А. [3]), але незрозуміло, як менеджери-практики з логістики вантажів запроваджували блокчейни. В умовах воєнного стану наукові публікації досліджують сучасний стан транспортно-складських послуг під впливом війни, їхню адаптацію та головні рішення [4]. Однак немає українських публікацій, які зупиняються на ролі аварійної логістики в умовах війни.

На даний час розроблено такі пілотні блокчейни для програм управління надзвичайними ситуаціями: Всесвітня продовольча програма (пілотний проект Building Blocks-CBA), Міжнародна федерація товариств Червоного Хреста та Червоного Півмісяця (пілотний проект Blockchain Openloop Payment-CBA), Департамент міжнародного розвитку Великобританії (пілотний блокчейн доставки гуманітарних поставок) [5]. Їх застосування засвідчило те, що використання блокчейну значно покращило можливості реагування на надзвичайні ситуації. Ці практики демонструють, що очікується, що технологія блокчейн радикально покращить поточний стан управління надзвичайними ситуаціями під час криз. Однак існуючі дослідження рідко аналізують проблеми побудови блокчейн-платформ та їх застосування для транспортування екстрених матеріалів з точки зору економічних ігор.

Формулювання завдання дослідження. Метою роботи є дослідження взаємодії логістичних підприємств та служб надзвичайних ситуацій за допомогою еволюційної ігрової моделі на основі блокчейн-платформ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Процес створення та застосування блокчейн-платформ передбачає готовність відділів управління надзвичайними ситуаціями (СНС) та логістичних підприємств (ЛП) створювати платформи для участі в моделі спільного транспортування. На це бажання впливає безліч факторів, і цим факторам часто не вдається досягти стабільної рівноваги протягом короткого періоду часу. Еволюційна теорія ігор являє собою потужний метод подолання цієї дилеми. Вона є теорією про те, як стратегічний вибір осіб, які приймають рішення, еволюціонує в умовах взаємозалежності [6]. Готовність осіб, які приймають рішення, обирати стратегії залежить від різноманітних факторів впливу, і підвищення готовності вимагає встановлення динамічної рівноваги між цими факторами.

Воєнні дії становлять значну загрозу безпеці та стабільності людського суспільства. Після таких катастроф ключовим завданням є підготовка відповідних матеріалів для надзвичайних ситуацій і забезпечення своєчасної доставки до постраждалого району. Допомога після надзвичайних ситуацій характеризується непередбачуваними ресурсами та попитом, що вимагає складних логістичних стратегій транспортування ресурсів. Логістика в надзвичайних ситуаціях вимагає швидкого реагування та спільного управління ресурсами для досягнення точного та своєчасного транспортування матеріалів. У цьому процесі транспортування міркування повинні охоплювати не лише вартість та ефективність, але й справедливість транспортних зусиль [7]. Враховуючи обмежені транспортні ресурси, доступні для транспортування екстрених матеріалів, ключовим завданням у створенні ефективного способу транспортування є максимальне використання транспортних засобів.

Щоб подолати цю проблему, спільне використання транспортних засобів для екстрених матеріалів може максимізувати транспортні ресурси, сприяти швидкому й ефективному транспортуванню екстрених матеріалів, підвищуючи гнучкість реагування на надзвичайні ситуації. Модель спільного транспортування представляє зростаючу тенденцію в еволюції сучасної логістики. Ця модель сприяє швидкій і точній доставці матеріалів до зон лиха або пунктів гуманітарної допомоги, забезпечуючи задоволення основних потреб постраждалих. Різноманітні учасники аварійної логістики можуть брати участь у негайному спілкуванні, щоб мінімізувати втрати, пов'язані з катастрофою. Логістичні підприємства можуть миттєво обмінюватися даними та координувати транспортні ресурси для підвищення ефективності та точності розподілу.

На даний момент дослідження блокчейну в світі в основному зосереджені на двох аспектах: по-перше, оптимізація та підвищення продуктивності технології блокчейну, з основними технологіями, включаючи консенсусні протоколи, криптографічні алгоритми та розумні контракти, щоб покращити обробку транзакцій у блокчейні [8]. По-друге, дослідження інноваційних сценаріїв застосування блокчейну, таких як гуманітарний ланцюг поставок, надзвичайна логістика і управління надзвичайними ситуаціями, використовуючи блокчейн технологію для вирішення проблемних точок галузі та підвищення життєздатності традиційних галузей [9]. Під час надзвичайних ситуацій блокчейну вдається швидко налагоджувати співпрацю з логістичними підприємствами, оскільки ці організації відіграють вирішальну роль у реагуванні та операціях з відновлення. Однак координація між кількома організаціями для оптимізації транспортування екстрених матеріалів становить значну проблему. Обмін інформацією між різними організаціями для планування маршруту, розподілу ресурсів і оцінки ризику може значно підвищити ефективність екстреного транспортування матеріалів і скоротити час реагування в надзвичайних ситуаціях. Незважаючи на підвищення ефективності матеріально-технічного забезпечення надзвичайних ситуацій завдяки обміну інформацією, існують різні проблеми безпеки, такі як безпека даних, захист конфіденційності та ризик підробки даних. Блокчейн із його криптографією та технологією розподіленої книги пропонує вирішення проблем безпеки, пов'язаних із обміном інформацією в логістиці надзвичайних ситуацій.

Блокчейн – це спільна платформа даних, яка забезпечує широкий обмін інформацією між медичними працівниками, зокрема, та підприємствами, що займаються надзвичайними ситуаціями. Блокчейн записує інформацію у безпечний, прозорий і децентралізований спосіб. Це не лише полегшує взаємодію та зміцнює довіру між СНС та ЛП, але й забезпечує відстеження інформації про матеріали для надзвичайних ситуацій. Децентралізована природа блокчейну зменшує кількість складних проміжних ланок і автоматизує виконання положень контракту та процеси розподілу за допомогою смарт-контрактів, тим самим прискорюючи прийняття рішень і доставку екстреного матеріалу, що, у свою чергу, підвищує ефективність реагування на надзвичайні ситуації. Блокчейн-платформи забезпечують ефективний обмін даними та співпрацю між кількома логістичними компаніями, що посилює співпрацю між підприємствами та забезпечує ефективну координацію розподілу матеріалів між кількома підприємствами.

На побудову та використання блокчейн-платформ впливають різноманітні чинники. Дослідження динамічної рівноваги впливу цих факторів на процеси прийняття рішень зацікавленими сторонами, такими як СНС та ЛП, є важливою проблемою. Еволюційна теорія ігор, як теорія еволюції стратегії між зацікавленими сторонами у взаємозалежних ситуаціях, може бути використана для оцінки економічних факторів і обмежень, які впливають на стратегічний вибір цих зацікавлених сторін. Вона поєднує в собі концепції традиційної теорії ігор із принципами еволюційної біології, щоб проаналізувати, як біологічні особи, економічні суб'єкти чи соціальні суб'єкти розвивають оптимальні стратегії чи моделі поведінки, адаптуючись до свого середовища в динамічних і мінливих контекстах. Ця теорія ґрунтується на концепціях еволюційної біології та наголошує на процесі еволюції стратегії з часом, зосереджуючись на динамічній адаптації та еволюції стратегій, а не на визначенні оптимальної стратегії в конкретний момент часу. Вона в основному використовується для вивчення еволюційних викликів і адаптації між видами та індивідуальною поведінкою. Еволюційна теорія ігор широко використовується в різних сферах управління надзвичайними ситуаціями, таких як логістика надзвичайних ситуацій, запобігання та контроль ризиків та управління катастрофами [10].

Еволюційна гра на основі складної мережі, що представляє варіант класичної еволюційної теорії ігор, розглядає, як структура мережі впливає на еволюцію моделі гри. Складні мережі можуть більш реалістично відображати взаємодію та структурні характеристики між зацікавленими сторонами гри. Згодом на оновлення стратегії на різних вузлах впливає структура мережі, що призводить до більш гнучкого та адаптивного процесу еволюції стратегії.

Модель скоординованого транспортування матеріалів для надзвичайних ситуацій ефективно координує СНС та ЛП, допомагаючи ЛП у спільному користуванні транспортними ресурсами та вирішуючи низькі показники завантаження вантажівок. Ця модель максимізує ефективність транспортування та знижує експлуатаційні витрати завдяки оптимізованому розподілу ресурсів і плануванню маршруту. Крім того, це полегшує обмін інформацією та спільне прийняття рішень під час транспортування, покращує загальні можливості реагування на надзвичайні ситуації та ефективне реагування на надзвичайні ситуації.

Після виникнення надзвичайної ситуації СНС повинні оперативно координувати транспортування аварійних матеріалів та забезпечити їх своєчасну доставку в район лиха. Традиційний метод транспортування екстрених матеріалів залежить від централізованої командної системи, що призводить до складного, багаторівневого процесу передачі інформації, схильного до затримок у прийнятті рішень. І навпаки, децентралізована розподілена структура технології блокчейн може безпосередньо пов'язувати СНС та ЛП, таким чином спрощуючи ієрархію інформаційного обміну та підвищуючи здатність реагування на надзвичайні ситуації. Після створення платформи блокчейн для різних надзвичайних ситуацій і географічних середовищ СНС можуть покладатися на платформу, щоб враховувати такі фактори, як дорожні умови та затори, і формулювати найкращі транспортні маршрути та програми для транспортних засобів. ЛП можуть покладатися на платформу блокчейн для реалізації таких завдань, як транспортування екстрених матеріалів, позиціонування транспортних засобів і оцінка часу доставки. Крім того, технологія блокчейн дозволяє постачальникам екстрених матеріалів підписувати розумні контракти з кількома логістичними підприємствами, записуючи логістичну інформацію в блокчейн і досягаючи прозорості та автоматизації спільного транспортування. Технологія блокчейн гарантує достовірність і цілісність інформації про екстрене транспортування матеріалів на своїй платформі завдяки своїй властивій незмінності, ефективно запобігаючи проблемам невідомих потоків матеріалів і труднощам у відстеженні їх джерел.

Модель еволюційної гри відображається на складній мережі, щоб спостерігати еволюційну динаміку. СНС та ЛП складають вузли, а взаємодії між ними формують межі складної мережі. У еволюційній ігровій моделі стратегії вузлів СНС включають активне будівництво блокчейн-платформи (АББП) і пасивне будівництво блокчейн-платформи (ПББП), тоді як вибором стратегії для вузлів ЛП є спільне транспортування (СТ) і незалежне транспортування (НТ).

Залежно від ступеня децентралізації блокчейни можна класифікувати на державні, приватні та консорціумні [11]. Показники продуктивності блокчейну включають пропускну здатність, затримку і масштабованість. Ланцюги консорціумів можуть ефективно збалансувати потреби цих показників ефективності. Таким чином, ґрунтуючись на хронологічному порядку періодів до надзвичайних ситуацій, середніх і після надзвичайних ситуацій, сформовано структуру для процесу реагування на надзвичайні ситуації в середовищі блокчейну консорціуму.

У період до надзвичайних ситуацій СНС на різних рівнях реалізують ефективну співпрацю шляхом обміну інформацією на основі блокчейну консорціуму. СНС високого рівня випускають правила реагування, інформацію про надзвичайні ситуації та інструкції попередження, які передаються СНС нижчого рівня через блокчейн консорціуму. Характеристики блокчейну консорціуму забезпечують безпеку та прозорість інформації під час передачі, уникаючи втручання та покращуючи передбачуваність та координацію загального реагування на надзвичайні ситуації.

У середині періоду реагування на надзвичайні ситуації ЛП, які беруть участь у спільному транспортуванні екстрених матеріалів, вимагають, щоб СНС було підключено. Базуючись на платформі блокчейну консорціуму, СНС публікують інформацію про потреби в екстрених матеріалах, мобілізацію матеріалів, маршрути транспортування, розподіл матеріалів та розкриття інформації для ЛП. Підприємства, які беруть на себе завдання екстреного транспортування матеріалів, повинні підписати смарт-контракт з СНС. Розумний контракт автоматично виконує попередньо визначені умови, щоб забезпечити прозорість і відстежуваність завдання транспортування матеріалу. ЛП можуть оновлювати статус транспортування під час процесу транспортування на основі блокчейну консорціуму, а СНС можуть контролювати ситуацію з транспортуванням матеріалів, таким чином підвищуючи надійність і безпеку екстрених транспортувань матеріалів.

У період реагування після надзвичайних ситуацій СНС проводить оцінку збитків, випуски інформації про аварійне відновлення, відгуки про надзвичайні події та моніторинг надзвичайних подій на основі блокчейн-платформи консорціуму. Блокчейн консорціуму забезпечує правдивість і надійність цих даних, що допомагає СНС на всіх рівнях зрозуміти ситуацію після аварійного відновлення. Крім того, як тільки надзвичайна подія виникає знову, весь блокчейн консорціуму може швидко відреагувати та перезапуститися.

Спочатку розбудова блокчейн-платформ для спільного транспортування екстрених матеріалів передбачає залучення двох зацікавлених сторін гри, СНС та ЛП. Основним завданням, яке розглядається в цьому дослідженні, є ефективна мобілізація СНС для активного створення платформи. По-друге, після створення платформи фокус зміщується на розробку стратегій для мобілізації ЛП для участі в моделі спільного транспортування на основі платформи. Нарешті, на готовність СНС обрати стратегію АББП та на ентузіазм ЛП обрати стратегію СТ впливають різні економічні фактори. Дослідження змінного балансу цих факторів з часом має вирішальне значення для підвищення ефективності спільного транспортування екстрених матеріалів.

Спираючись на еволюційну теорію ігор, сформульовано наступні гіпотези:

Гіпотеза 1. СНС та ЛП адаптують свої стратегії на основі поведінки іншої сторони щодо прийняття рішень для досягнення взаємоприйнятних результатів. І СНС, і ЛП належать до учасників гри з обмеженою раціональністю, а інформація, якою вони володіють, має неповну асиметрію. Ймовірності вибору СНС стратегії АББП або ПББП представлені x і $(1-x)$ відповідно, тоді як ймовірності того, що ЛП оберуть стратегії СТ або НТ, позначаються y і $(1-y)$ відповідно. Слід зазначити, що $0 \le x \le 1$ і $0 \le y \le 1$.

Гіпотеза 2. Коли СНС обирають стратегію АББП, ЛП, які обирають стратегію СТ, відповідають за розподіл операційних витрат блокчейну консорціуму. Однак, якщо СНС оберуть стратегію ПББП, це означає, що вони не будуть проактивно створювати платформу блокчейну для управління екстреним транспортуванням матеріалів. Отже, ЛП, які обирають стратегію СТ, створюватимуть блокчейн-платформу самостійно. Витрати, пов'язані з технологією крос-ланцюга між блокчейн-платформами, створеними різними ЛП, будуть включені до операційних витрат блокчейну.

Параметри, що мають відношення до моделі еволюційної гри, відображені нижче і кожен параметр має значення більше нуля:

C_1 – загальна вхідна вартість створення блокчейн-платформ,

C_2 – загальна вартість експлуатації блокчейн-платформ,

C_3 – вхідні витрати СНС для очищення маршрутів транспортних засобів для транспортування екстрених матеріалів,

G_1 – очікувані соціальні переваги СНС, які обирають стратегію АББП,

G_2 – очікувані соціальні переваги СНС, які обирають стратегію ПББП,

S – субсидії(податкові пільги) для ЛП, які обирають стратегію СТ,

D_1 – переваги вибору стратегії НТ для ЛП,

D_2 – переваги вибору стратегії СТ для ЛП,

α – коефіцієнт розподілу витрат для кінцевої співпраці в роботі блокчейн-платформ,

$(1-\alpha)$ – коефіцієнт розподілу операційних витрат блокчейн-платформ, які має сплатити ЛП, коли воно обирає стратегію транспортування співпраці,

x – ймовірність вибору СНС стратегії АББП $(0 \le x \le 1)$,

y – ймовірність вибору ЛП стратегії СТ $(0 \le y \le 1)$.

Матриця виграшів моделі еволюційної гри за наведених вище гіпотез і обраних параметрів представлена в табл. 1.

СНС і ЛП впливають і обмежують один одного, постійно адаптуючи свої стратегічні вибори в пошу-

Таблиця 1

Матриця виграшів моделі еволюційної гри

СНС	ЛП	
	Спільне транспортування, СТ (y)	**Незалежне транспортування, НТ ($1 - y$)**
Активне будівництво блокчейн-платформи, АББП (x)	$G_1 - C_1 - \alpha C_2 - S$, $D_2 + S - (1 - \alpha)C_2$	$G_1 - C_1 - C_2$, D_1
Пасивне будівництво блокчейн-платформи, ПББП ($1 - x$)	$G_2 - C_3 - S$, $D_2 + S - C_1 - C_2$	$G_2 - C_3$, D_1

Джерело: сформовано автором

ках максимальної вигоди, що завершується досягненням рівноваги, яка є водночас збалансованою та стабільною. Відповідно до табл. 1 розраховано очікувані виплати СНС, які обирають стратегії АББП або ПББП, позначені як E_{11} і E_{12}, відповідно, і , $\overline{E}_1$, яка являє собою середню очікувану виплату:

$$E_{11} = G_1 - C_1 - (y(1 - \alpha) + 1)C_2 - yS, \quad (1)$$

$$E_{12} = G_2 - C_3 - yS, \quad (2)$$

$$\overline{E}_1 = x(G_1 - C_1 - (y(\alpha + 1) + 1)C_2) + (1 - x)(G_2 - C_3) - yS. \quad (3)$$

Як видно, з (1)–(2), для СНС зміни значень C_1, C_2, α, C_3 можуть мати значний вплив на вибір стратегії. Експлуатаційні витрати блокчейну C_2 значно впливають на СНС, що вимагає більш розширених вимог до самої технології блокчейну. По-перше, зниження витрат, пов'язаних з блокчейном, вимагає прискореного розвитку технології. По-друге, розширення партнерства та співпраці дозволяє СНС співпрацювати з різними організаціями чи підприємствами, таким чином розділяючи витрати, пов'язані зі створенням блокчейна. Коефіцієнт розподілу витрат α має різний ступінь впливу на бажання співпрацювати партнерам з СНС. СНС не може досягти значного підвищення готовності партнерів до співпраці шляхом підвищення власного коефіцієнта розподілу витрат. Тому СНС повинні встановити розумні правила розподілу витрат з партнерами для оптимізації ефективності операцій блокчейну. По-третє, спільне використання інфраструктури та ресурсів, таких як вузли та сервери, може зменшити витрати для кожної зацікавленої сторони.

На основі рівнянь (1)–(2) отримано динамічне рівняння СНС з обраною стратегією АББП:

$$F(x) = x(1 - x)[G_1 - C_1 - (y(\alpha - 1) + 1)C_2 + C_3 - G_2]. \quad (4)$$

Далі розраховано очікувані виплати ЛП, які обирають стратегії СТ або НТ, позначені як E_{21} і E_{22}, відповідно, і нехай $\overline{E}_2$ являє собою середню очікувану виплату.

$$E_{21} = D_2 + S - (1 - \alpha x)C_2 - (1 - x)C_2, \quad (5)$$

$$E_{22} = D_1, \quad (6)$$

$$\overline{E}_2 = y[D_2 + S - (1 - \alpha x)C_2 - (1 - x)C_2] + (1 - y)\, D_1. \quad (7)$$

У процесі гри між ЛП та СНС податковий добробут S негативно впливає на готовність СНС обрати стратегію АББП, а мотивація СНС будувати платформи має значний вплив на вибір стратегії ЛП. Тому податкові пільги мають більш комплексний вплив на вибір стратегії ЛП. Крім того, зниження операційних витрат на блокчейн у поєднанні з розробкою ефективних механізмів стимулювання блокчейну значно підвищує ймовірність того, що ЛП оберуть стратегію СТ. Згодом технологія блокчейн може значно зменшити ймовірність затримок транспортування для ЛП, а штрафи можуть мати стримуючий вплив на вибір ЛП щодо незалежних стратегій розподілу.

На основі рівнянь (5)–(6) отримано динамічне рівняння ЛП з обраною стратегією СТ:

$$F(y) = y(1 - y)\left[D_2 + S - (1 - \alpha x)C_2 - (1 - x)C_1 - D_1\right] \quad (8)$$

Нехай динамічні рівняння $F(x) = 0$ і $F(y) = 0$, і отримано чотири стійкі точки рівноваги чистої стратегії $M_1 = (0,0)$, $M_2 = (1,0)$, $M_3 = (0,1)$, $M_4 = (1,1)$. Коли

$$C_1 + C_2 - D_1 - S > 0,$$

$$G + C_3 - C_1 - C_2 < 0,$$

отримано стійкі точки рівноваги однієї змішаної стратегії

$$M_5 = \left(\frac{C_1 + C_2 + D_1 - D_2 - S}{\alpha C_2 + C_1}, \frac{G_1 + C_3 - C_1 - C_2 - G_2}{C_2(\alpha - 1)}\right).$$

Динамічні рівняння виконують умову $\Phi(x) = 0$, $\Phi'(x) < 0$, система збігається до стійкої стратегії, що означає, що результат еволюційної гри стійкий.

Базуючись на платформі блокчейн, СНС можуть покращити оптимізацію маршруту для транспортних засобів і впроваджувати коригування в режимі реального часу для усунення заторів. Такий підхід скорочує як час, так і вартість транспортування матеріалів і виключає логістичні затримки через затори на маршруті. Також, після створення блокчейн-платформи СНС може сприяти підвищенню довіри громадськості до управління ресурсами, таким чином підвищуючи свою репутацію. СНС можуть використовувати цю платформу для ефективного відстеження походження, розповсюдження та використання екстрених матеріалів, зменшуючи потенційну корупцію та марнотратну поведінку та збільшуючи суспільно сприйняті переваги.

Висновки. Таким чином, в цій статті розглянуто еволюційну ігрову модель спільного транспортування екстрених матеріалів на основі блокчейн-платформи, вивчається чутливість факторів прийняття рішень, що впливають на СНС та ЛП, і пропонуються цільові рекомендації щодо політики.

Представлено структуру еволюційних ігор у складних мережах на основі платформи блокчейн, процес реагування на надзвичайні ситуації в середовищі блокчейну та проблеми, що виникають у результаті спільного транспортування екстрених матеріалів.

Список використаних джерел:

1. Керничний Б. Зарубіжний та вітчизняний досвід застосування технології блокчейн в транспортно-логістичному обслуговуванні. *Соціально-економічні проблеми і держава*. 2020. № 2 (23). С. 46–56.

2. Кудирко О.В. Інновації в логістиці: перспективи використання технології блокчейн у ланцюгах поставок. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія «Міжнародні економічні відносини»*. 2017. № 15. С. 158–163.

3. Літошенко А.В. Технологія blockchain: переваги та неочевидні можливості використання у різних галузях. *Економіка та держава*. 2017. № 8. С. 77–78.

4. Васильців Н. Трансформація та адаптація логістики до викликів в умовах воєнного стану. Економіка та суспільство. 2023. № 55. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-78 (дата звернення: 13.11.2024).

5. Baharmand H., Saeed N., Comes T. Developing a framework for designing humanitarian blockchain projects. Computers in Industry. 2021. Vol. 131. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103487 (дата звернення: 16.11.2024).

6. Mariani M.M., Perez-Vega R., Wirtz J. AI in marketing, consumer research and psychology: A systematic literature review and research agenda. *Psychology & Marketing*. 2021. Vol. 39, no. 4. P. 755–776.

7. Hong W., Liu S., Xu S. Truck-drone joint path planning for post-disaster emergency material deployment considering fairness. *International Journal of Industrial Engineering Computations*. 2024. Vol. 15. No. 2. P. 456–472.

8. Adjei-Arthur B., Gao J., Xia Q. A blockchain-adaptive contractual approach for multi-contracting organizational entities. *Future Generation Computer Systems*. 2022. Vol. 132. P. 93–107.

9. Izadi E., Nikbakht M., Feylizadeh M.R. A system dynamics model in the humanitarian supply chain based on blockchain technology. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2023. Vol. 96. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103977 (дата звернення: 19.11.2024).

10. Sun W., Zhu C., Li H. Evolutionary game analysis of emergency rescuer dispatching under bounded rationality. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103927 (дата звернення: 26.11.2024).

11. Lu Y. The blockchain: State-of-the-art and research challenges. *Journal of Industrial Information Integration*. 2019. Vol. 15. P. 80–90.

References:

1. Kernychnyi B. (2020). Zarubizhnyi ta vitchyznianyi dosvid zastosuvannia tekhnolohii blokchein v transportno-lohistychnomu obsluhovuvanni [Foreign and domestic experience in using blockchain technology in transport and logistics services]. *Sotsialno-ekonomichni problemy i derzhava*, vol. 2 (23), pp. 46–56.

2. Kudyrko O. V. (2017). Innovatsii v lohistytsi: perspektyvy vykorystannia tekhnolohii blokchein u lantsiuhakh postavok [Innovations in logistics: prospects for using blockchain technology in supply chains]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Seriia «Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny»,* no. 15, pp. 158–163.

3. Litoshenko A. V. (2017). Tekhnolohiia blockchain: perevahy ta neochevydni mozhlyvosti vykorystannia u riznykh haluziakh [Blockchain technology: advantages and unexpected possibilities of use in various industries]. *Ekonomika ta derzhava*, no. 8, pp. 77–78.

4. Vasyltsiv N. (2023). Transformatsiia ta adaptatsiia lohistyky do vyklykiv v umovakh voiennoho stanu. [Transformation and adaptation of logistics to the times of war challenges]. *Ekonomika ta suspilstvo*. no. 55. DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-78 (accessed November 13, 2024).

5. Baharmand H., Saeed N., & Comes T. (2021). Developing a framework for designing humanitarian blockchain projects. *Computers in Industry*, no. 131. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103487 (accessed November 16, 2024).

6. Mariani M. M., Perez-Vega R., & Wirtz J. (2021). AI in marketing, consumer research and psychology: A systematic literature review and research agenda. *Psychology & Marketing*, no. 39(4), pp. 755–776.

7. Hong W., Liu S., & Xu S. (2024). Truck-drone joint path planning for post-disaster emergency material deployment considering fairness. *International Journal of Industrial Engineering Computations,* no. 15(2), pp. 456–472.

8. Adjei-Arthur B., Gao J., & Xia Q. (2022). A blockchain-adaptive contractual approach for multi-contracting organizational entities. *Future Generation Computer Systems*, no. 132, pp. 93–107.

9. Izadi E., Nikbakht M., & Feylizadeh M. R. (2023). A system dynamics model in the humanitarian supply chain based on blockchain technology. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, no. 96. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103977 (accessed November 19, 2024).

10. Sun W., Zhu C., & Li H. (2023). Evolutionary game analysis of emergency rescuer dispatching under bounded rationality. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2023.103927 (accessed November 26, 2024).

11. Lu Y. (2019). The blockchain: State-of-the-art and research challenges. *Journal of Industrial Information Integration*, no. 15, pp. 80–90.