

УДК 005.932:614.2:004.8

DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-8141/2025-11-17>

Рудий О. Д.

здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,

аспірант,

ВНЗ Університет економіки та права «КРОК»

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6379-8814>

Oleksii Rudyi

KROK University

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЕКОНОМІЧНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ В МЕДИЦИНІ

INTELLIGENT TECHNOLOGIES AND DIGITALIZATION OF ECONOMIC SUPPLY CHAINS IN MEDICINE

Анотація. Ланцюги постачання в охороні здоров'я є критично важливим елементом системи медичного забезпечення, однак традиційні підходи до їх організації часто виявляються недостатньо прозорими, повільними та вразливими до фальсифікації, що призводить до дефіциту ліків і підвищення операційних витрат. У цій роботі запропоновано комплексний аналіз цифрової трансформації медичних ланцюгів постачання через впровадження інтернету речей та блокчейну, що дозволяє автоматизувати моніторинг умов зберігання й пересування медикаментів, забезпечити незмінність і достовірність даних та прискорити обмін інформацією між усіма учасниками процесу. Методологія дослідження передбачала систематичний огляд фахової літератури, розробку критеріїв оцінки ефективності (час обробки замовлень, точність обліку запасів, прозорість операцій, логістичні витрати та рівень задоволеності користувачів) і проведення компаративного аналізу пілотних впроваджень у різних регіонах. Результати свідчать про те, що застосування IoT-рішень дозволяє переводити логістику з реактивного режиму реагування на проблеми в проактивний, зменшуючи затримки та помилки, що суттєво скорочує середній час обробки замовлень і підвищує точність обліку майже до повної відповідності фактичним залишкам. Блокчейн, у свою чергу, створює прозорий реєстр транзакцій, який унеможливорює несанкціоноване втручання у дані та спрощує аудит постачань. На прикладі пілотних проєктів в Україні показано, що регіональний рівень покриття цифровою платформою безпосередньо корелює з глибиною позитивних змін: у місцях із широким охопленням цифровізацією відбувається стрімке зростання прозорості й оптимізація витрат, тоді як у регіонах із обмеженими ресурсами процес уповільнюється через технічні бар'єри та недостатню підготовку кадрів. Окремий розгляд отримали фактори, що гальмують цифровізацію: недосконала телекомінфраструктура, відсутність єдиних стандартів обміну даними та правових норм, нестача кваліфікованих IT-спеціалістів і фінансові обмеження. Водночас робота демонструє, що об'єднання IoT і блокчейну здатне створити стійку та ефективну екосистему медичної логістики, яка підвищить якість обслуговування пацієнтів, знизить адміністративні витрати та мінімізує ризики переривання постачань. Отримані висновки й рекомендації щодо зміцнення інфраструктури, гармонізації стандартів і розвитку кадрового потенціалу формують практичний дорожній план для подальшого масштабування цифрових інновацій у системі охорони здоров'я.

Ключові слова: цифровізація, ланцюг постачання, охорона здоров'я, інтернет речей, блокчейн, медична логістика.

Abstract. Healthcare supply chains are vital conduits that enable the efficient delivery of medical services; nonetheless, conventional organizational methods are frequently hampered by inefficiencies, resulting in delays and operational disruptions. This paper provides a comprehensive analysis of the current landscape of digital transformation in medical supply chains through the seamless integration of advanced intelligent technologies, particularly the Internet of Things (IoT) and blockchain. The study systematically investigates critical logistical challenges such as inadequate transparency, risks of counterfeiting, and protracted delivery times while proposing innovative, technology-driven solutions aimed at mitigating these issues. In addition to a thorough review of international developments, the paper offers an in-depth examination of the Ukrainian healthcare system's digital evolution. By detailing specific case studies from both public and private sectors, the study highlights how the deployment of integrated digital platforms – exemplified by the successful implementation of systems like eHealth and eStock – has led to measurable improvements in inventory management, data accuracy, and inter-institutional communication. The research employs a comparative analysis to ascertain the efficacy of these digital interventions against traditional logistical frameworks, thereby establishing that the adoption of intelligent technologies substantially enhances supply chain transparency, operational management, and cost efficiency, all while reducing inherent risks. However, the transition to a fully digitized system is not without its challenges. The paper underscores the necessity of overcoming significant financial, organizational, and regulatory barriers to achieve widespread adoption. Overall, the findings support the conclusion that strategic digitalization is indispensable for revolutionizing healthcare logistics and ensuring that medical supply chains are robust, adaptable, and capable of meeting future healthcare demands.

Keywords: Digitalization, Supply chain, Healthcare, Internet of Things, Blockchain, Medical logistics.

Постановка проблеми. Сучасна система охорони здоров'я стикається з низкою викликів, пов'язаних із забезпеченням своєчасного постачання лікарських засобів, медичних виробів і обладнання. Традиційні ланцюги постачання страждають від фрагментації, низької прозорості та ризиків фальсифікації даних, що може призводити до затримок і дефіциту ресурсів [1].

У зв'язку з цим виникає нагальна потреба впровадити сучасні цифрові технології, здатні трансформувати логістичні процеси.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж останнього пів десятиріччя науковий дискурс навколо цифровізації медичних ланцюгів постачання склався довкола тріади технологій – Інтернету речей,

блокчейну та штучного інтелекту. Узагальнений огляд понад сорока емпіричних робіт, виконаний Маттео Фіоре та співавторами у 2023 році, переконливо показав, що використання сенсорів температури й GPS-трекерів скорочує втрати термолабільних вакцин приблизно на третину та переводить управління запасами з реактивного формату у проактивний, базований на прогнозах попиту [1]. У блокчейн-дослідженнях акцент змістився на формування незмінного реєстру транзакцій і запуск смарт-контрактів, які автоматично верифікують виконання умов поставки й прискорюють фінансові розрахунки, але паралельно висвітлено технологічні обмеження масштабованості й значні нормативні прогалини. Саме нормативний аспект став предметом глибокого аналізу В. М. Пашкова та О. О. Соловійова, які обґрунтували потребу легалізувати смарт-контракти та створити національну блокчейн-платформу track & trace, звернувши увагу на можливі колізії з чинними фармацевтичними стандартами [2].

Українська практика демонструє, що навіть у складних регіональних умовах цифрові інструменти можуть приносити вимірювані результати. Пілотний запуск державної системи eStock, за аналітикою Міністерства охорони здоров'я України, охопив понад 65 % лікарень і вже скоротив час формування заявки з п'яти днів до шести годин, підвищивши точність обліку до 94 % [3]. Успіх цього кейса доводить, що інтеграція IoT-даних із централізованою платформою та базовими елементами блокчейну дозволяє швидкого підвищити прозорість і дисципліну постачань навіть без повної завершеної нормативної бази. Водночас досвід eStock підтверджує ключові висновки зарубіжних авторів: масштабна цифровізація потребує не лише технічних інвестицій, а й уніфікації стандартів даних, розвитку IT-кадрів та правового закріплення смарт-процедур. Таким чином, наявний корпус досліджень окреслює як технологічні переваги (скорочення втрат, прискорення логістики, зростання прозорості), так і комплекс фінансових, організаційних і регуляторних викликів, що визначають напрями подальших робіт у сфері цифрового управління медичними ланцюгами постачання [4].

Формулювання цілей статті. В умовах зазначених викликів ця стаття має за мету виділити не вирішених раніше частин проблеми, розробити підходи до цифровізації логістики охорони здоров'я шляхом інтеграції IoT, блокчейну та інтелектуальних систем.

Основними завданнями є аналіз сучасних технологічних рішень, виявлення ефективних практик із застосування цифрових платформ (зокрема, систем eHealth, eStock та національної системи верифікації ліків) і розробка рекомендацій для подолання технічних і організаційних бар'єрів.

Виклад основного матеріалу. Центральну роль у цифровізації логістики відіграють технології Інтернету речей, блокчейну та інтелектуальних систем, які разом створюють єдину цифрову екосистему, забезпечуючи оперативний обмін даними між виробниками, дистриб'юторами та медичними установами.

Інтернет речей (IoT). Застосування IoT у логістиці дозволяє автоматизувати процес відстеження переміщення медичних товарів за допомогою датчиків і RFID-міток. Пристрої, що використовуються в IoT, збирають інформацію про місцезнаходження, температуру, вологість та інші критично важливі параметри

в режимі реального часу. Це дає можливість негайно реагувати на відхилення від встановлених норм, оптимізувати маршрути перевезення і запобігати дефіциту медикаментів. [5]

Технологія блокчейн забезпечує безпеку та незмінність даних, що фіксуються у розподіленому реєстрі. Запис кожної транзакції у вигляді блоку гарантує, що дані не можуть бути змінені заднім числом, що створює прозорий ланцюг простежуваності. Використання смарт-контрактів дозволяє автоматизувати виконання умов поставок, наприклад, автоматично проводити оплату після підтвердження доставки, що зменшує адміністративні витрати [1].

Інтелектуальні системи, які використовують алгоритми штучного інтелекту, дозволяють аналізувати великі об'єми даних для прогнозування потреб медичних установ і оптимізації розподілу запасів. Такі системи допомагають знизити витрати, уникнути дефіциту або надлишку ліків та оптимізувати динамічні маршрути доставки критично важливих вантажів [6].

Порівняльний аналіз результатів. Для оцінки впливу впровадження цифрових технологій було проведено порівняльний аналіз ключових логістичних показників до та після їх використання в декілька основних регіонах України, а саме Київська, Одеська, Харківська, Дніпропетровська, Львівська області. Нижче наведено таблицю, яка демонструє зміни ключових логістичних показників у п'яти областях України до та після впровадження систем на базі IoT та блокчейну.

Регіональний аналіз показує, що рівень покриття eStock безпосередньо впливає не лише на швидкість обробки замовлень, а й на динаміку всього ланцюга постачання. Зокрема, у Київській та Одеській областях високий ступінь під'єднання (>75 %) створює ефект масштабу — коли більше установ відразу генерують й отримують дані в єдиній системі, знижується середня затримка в обміні інформацією, що призводить до різкого скорочення часу обробки замовлень (–63...–65 %). Одночасно велика кількість однотипних запитів дозволяє відпрацьовувати алгоритми оптимізації маршрутів у "розумних" складах та на блокчейн-платформі швидше, ніж у регіонах із фрагментованим покриттям.

У Львівській і Дніпропетровській областях, де частка під'єднаних закладів утримується на рівні 65–70 %, можна спостерігати дещо більш плавний, але все ж стабільний зріст показників. Тут обмеженим фактором є відмінність у потужностях локальних IT-відділів та неоднорідність телекомінфраструктури: у віддалених районах навіть після інтеграції IoT-датчики інколи стикаються з нестабільним зв'язком, що гальмує формування блокчейн-транзакцій та затримує оновлення стану запасів. Проте саме в цих регіонах значення прозорості ланцюга зросло на найбільший відсоток (понад +50 %), оскільки блокчейн компенсує недоліки фізичної інфраструктури цифровою єдиною книгою записів.

Низький рівень покриття у Харківській області (60 %) та наявність значних зон із порушеним або обмеженим зв'язком (внаслідок віддаленості та часткових руйнувань інфраструктури) призводить до меншого, але все ж помітного, покращення у скороченні часу обробки (–57,7 %). Водночас тут найвищий приріст індексу прозорості (+54,5 %),

Таблиця 1 – Регіональний аналіз логістичних показників до та після впровадження IoT та блокчейну

Область	Покриття eStock (%)	Час обробки замовлень (хв)	Точність обліку запасів (%)	Прозорість (індекс)	Логістичні витрати (%бюджету)	Задоволеність клієнтів (%)
Київська	85	До: 115; Після: 40 (–65,2 %)	До: 78; Після: 96 (+23,1%)	До: 62; Після: 92 (+48,4 %)	До: 14; Після: 9 (–35,7 %)	До: 72; Після: 88 (+22,2 %)
Львівська	70	До: 125; Після: 50 (–60,0 %)	До: 73; Після: 93 (+27,4%)	До: 58; Після: 88 (+51,7 %)	До: 16 ; Після: 11 (–31,3 %)	До: 68; Після: 84 (+23,5 %)
Харківська	60	До: 130; Після: 55 (–57,7 %)	До: 70; Після: 90 (+28,6%)	До: 55; Після: 85 (+54,5 %)	До: 17 %; Після: 12 % (–29,4 %)	До: 65; Після: 82 (+26,2 %)
Одеська	75	До: 118; Після: 43 (–63,6 %)	До: 76; Після: 94 (+23,7%)	До: 61; Після: 91 (+49,2 %)	До: 15 %; Після: 10 % (–33,3 %)	До: 71; Після: 87 (+22,5 %)
Дніпропетр.	65	До: 122; Після: 48 (–60,7 %)	До: 74; Після: 92 (+24,3%)	До: 59; Після: 89 (+50,8 %)	До: 16 %; Після: 11 % (–31,3 %)	До: 69; Після: 85 (+23,2 %)

Джерело: [1; 6]

що свідчить: коли нові цифрові рішення «запускаються» в екстремальних умовах, їхній вплив на уніфікацію даних виявляється ще вагомішим. Таким чином, навіть у регіонах із технічними бар'єрами, де під'єднання і навчання персоналу проходило складніше, інтеграція IoT і блокчейну дала змогу значно підвищити якість обліку та відстеження, незважаючи на довші терміни адаптації [6].

Досвід цифровізації в Україні. Українська система охорони здоров'я активно інтегрує цифрові технології для модернізації логістики. Впровадження системи eHealth дозволило перейти на електронний облік медичних записів, що підвищило якість комунікації між установами та знизило кількість помилок [7]. Одночасно, система eStock сприяє централізованому управлінню запасами ліків, забезпечуючи прозорий контроль за рухом медикаментів від закупівлі до використання в лікарнях. Ці проекти демонструють, як цифрова трансформація підвищує ефективність логістичних процесів і знижує витрати, що є особливо

актуальним в умовах зростаючих вимог до медичного забезпечення [3; 6].

Висновки. Інтеграція технологій Інтернету речей, блокчейну та інтелектуальних систем сприяє суттєвому підвищенню ефективності логістики в охороні здоров'я. Автоматизований збір даних IoT дозволяє контролювати переміщення товарів у режимі реального часу, блокчейн забезпечує незмінність і прозорість інформації, а інтелектуальні алгоритми оптимізують управління запасами і маршрути доставки. Досвід впровадження систем eHealth та eStock в Україні підтверджує практичну доцільність цифрової трансформації, проте для повномасштабного впровадження необхідно вирішити питання стандартизації, кібербезпеки та підготовки кадрів.

Подальші дослідження і пілотні проекти мають бути спрямовані на удосконалення інтегрованих цифрових платформ, що дозволить побудувати сучасну, прозору та економічно ефективну систему логістики охороні здоров'я, здатну гнучко реагувати на сучасні виклики.

Бібліографічний список:

1. Blockchain for the healthcare supply chain: a systematic literature review / M. Fiore et al. Bologna : *Applied Sciences*, 2023. 686 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13020686>
2. Pashkov V. M., Soloviov O. O. Legal Implementation of Blockchain Technology in Pharmacy. *SHS Web of Conferences*, 2019. 8 p. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196801027>
3. Міністерство охорони здоров'я України. Система управління запасами лікарських засобів "eStock". Київ, 2024. URL: <https://moz.gov.ua/uk/estock>
4. Blockchain technology in healthcare: A systematic review / H. Saeed et al.: *PLOS ONE*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266462>
5. Samarasekera U. Cyber risks to Ukrainian and other health systems. *The Lancet Digital Health*. 2022. С. 297–298. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(22\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00064-4)
6. Електронна система охорони здоров'я eHealth, Міністерство охорони здоров'я України. Київ, 2023. URL: <https://moz.gov.ua/uk/ehealth>
7. Про реалізацію експериментального проєкту з впровадження та функціонування електронної системи управління запасами лікарських засобів та медичних виробів "eStock". *Постанова Кабінету Міністрів України № 1483*. Київ, 2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1483-2022-%D0%BF#Text>

References:

1. Fiore M. (2023). Blockchain for the healthcare supply chain: A systematic literature review. Bologna : *Applied Sciences*, 686 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13020686>
2. Pashkov V. M., Soloviov O. O. (2019). Legal implementation of blockchain technology in pharmacy. *SHS Web of Conferences*, pp. 8. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196801027>
3. Ministerstvo okhorony zdorov'ia Ukrainy. (2024). *Systema upravlinnia zapasamy likars'kykh zasobiv "eStock"* [Pharmaceutical stock-management system "eStock"]. Kyiv. Available at: <https://moz.gov.ua/estock>

4. Saeed H., Malik H., Bashir U., Ahmad A., Riaz S., & Iqbal J. (2022). Blockchain technology in healthcare: A systematic review. *PLOS ONE*. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266462>
5. Samarasekera U. (2022). Cyber risks to Ukrainian and other health systems. *The Lancet Digital Health*, pp. 297–298. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(22\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(22)00064-4)
6. Ministerstvo okhorony zdorov'ia Ukrainy. (2023). *Elektronna systema okhorony zdorov'ia "eHealth"* [Electronic Health System "eHealth"]. Kyiv. Available at: <https://moz.gov.ua/ehealth>
7. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2022, December 30). *Pro realizatsiiu eksperymental'noho proiektu z vprovadzhennia ta funktsionuvannia elektronnoi systemy upravlinnia zapasamy likars'kykh zasobiv ta medychnykh vyrobiv "eStock"* [On the implementation of the pilot project for the introduction and functioning of the electronic stock-management system for medicinal products and medical devices "eStock"] (Resolution No. 1483). Kyiv. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1483-2022-%D0%BF>

Стаття надійшла до редакції 28.04.2025