

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2026-62-25>

УДК 004.89:005.52:658.7

Забара Станіслав Сергійович¹, д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0001-9554-7575>

Дуднік Андрій Сергійович¹, д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0003-1339-7820>

Ізварін Ігор Вікторович¹, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0009-0004-4827-9968>

Шевчик Віталій Васильович², к.ф.-м.н, доцент

<https://orcid.org/0000-0003-2054-7575>

Якубовський Володимир Петрович², к.ю.н, доцент

<https://orcid.org/0009-0003-5169-3484>

¹Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», м. Київ, Україна

²ЗВО «Університет Короля Данила», м. Івано-Франківськ, Україна

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНЗАКЦІЙ У ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГАХ

Забара С.С., Дуднік А.С., Ізварін А.С., Шевчик В.В., Якубовський В.П. Система підтримки рішень для оптимізації транзакцій у логістичних ланцюгах. У статті запропоновано архітектуру інтелектуальної системи підтримки рішень для оптимізації транзакцій у логістичних ланцюгах. Актуальність роботи зумовлена необхідністю комплексного врахування багатокритеріальності, змінності середовища, обмежених обчислювальних ресурсів та потреби у прогнозуванні при прийнятті рішень у сфері цифрової логістики. Система включає модулі збору та обробки даних, прогнозування транзакційної активності з використанням фільтра Калмана, оптимізації за допомогою адаптованого генетичного алгоритму, а також інтерфейс користувача. Здійснено формалізацію задачі оптимізації у вигляді векторної цільової функції з ваговими коефіцієнтами та обмеженнями на час, вартість і ризик. Проведено експериментальне дослідження із порівнянням трьох підходів до управління транзакціями: ручного, евристичного та запропонованого. Результати показали перевагу розробленої системи за всіма критеріями оптимізації. Додатково проаналізовано вплив вагових коефіцієнтів на вибір оптимального сценарію. Представлено приклади у вигляді схем, графіків і таблиць, які відображають логіку функціонування системи та результати її роботи. Описано реалізацію програмного прототипу з використанням мови Python та спеціалізованих бібліотек для обробки даних, фільтрації та оптимізації. Запропоноване рішення вирізняється поєднанням механізмів багатокритеріальної оптимізації з динамічним прогнозуванням у межах єдиної програмної архітектури. Система забезпечує гнучке налаштування під потреби користувача, здатна адаптуватися до змін у логістичному середовищі та оперативно формувати оптимальні сценарії транзакцій у режимі, наближеному до реального часу. Подальші дослідження передбачають розширення функціоналу за рахунок впровадження гібридних алгоритмів та машинного навчання для підвищення точності, швидкодії та адаптивності в умовах масштабних логістичних операцій.

Ключові слова: система підтримки рішень, логістичні транзакції, багатокритеріальна оптимізація, генетичний алгоритм, фільтр Калмана, прогнозування.

Zabara S., Dudnik A., Izvarin A., Shevchyk V., Yakubovskyy V. Decision support system for optimizing transactions in logistics chains. The paper presents the architecture of an intelligent decision support system aimed at optimizing transactions within logistics chains. The relevance of the study is driven by the growing need to simultaneously address multiple criteria, environmental variability, limited computing resources, and the necessity for real-time forecasting in digital logistics. The system integrates several functional modules, including data acquisition and preprocessing, transaction activity forecasting using the Kalman filter, optimization based on an adapted genetic algorithm, and a user-oriented interface. The optimization task is formalized as a vector objective function with adjustable weight coefficients and constraints related to time, cost, and risk. An experimental study was conducted to compare three transaction management strategies: manual control, static heuristic selection, and the proposed system. The obtained results demonstrate the superiority of the developed approach across all target indicators. The impact of weight coefficient adjustment on the choice of an optimal transaction execution scenario is also analyzed. Key structural components and results are presented through logically organized content supported by structured diagrams, charts, and comparative tables. The system was implemented using the Python programming language and relevant libraries for data processing, filtering, and algorithmic optimization. The solution combines multi-criteria optimization methods with dynamic forecasting within a unified software framework. The system can adapt to environmental changes and allows users to dynamically prioritize optimization goals, enabling near real-time adjustment of transaction strategies. Future development directions include integrating hybrid algorithms and machine learning techniques to improve adaptability, scalability, and computational efficiency in large-scale logistics networks.

Key words: decision support system, logistics transactions, multi-criteria optimization, genetic algorithm, Kalman filter, forecasting.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. У сучасних умовах високої конкуренції, цифровізації та глобалізації економіки особливого значення набуває ефективність логістичних ланцюгів, зокрема управління

транзакціями в них [1]. Транзакції, як ключові одиниці передачі даних, товарів і фінансів між учасниками логістичної системи, мають бути не лише точними й своєчасними, але й оптимізованими з погляду витрат, часу та ризиків [2]. Зростаючий обсяг даних, складність процесів постачання, багатоваріантність сценаріїв доставки та взаємозв'язок між елементами логістичного ланцюга ускладнюють ручне управління та прогнозування. Це зумовлює потребу в інтелектуальних підходах до підтримки прийняття рішень.

Розробка систем підтримки рішень, що здатні враховувати численні критерії оптимальності, є актуальним напрямом у сфері комп'ютерного моделювання логістичних процесів. Особливу ефективність демонструє використання алгоритмів багатокритеріальної оптимізації, таких як генетичні алгоритми, що дозволяють шукати компромісні рішення між суперечливими критеріями, наприклад, мінімізацією вартості та часу доставки [3]. Додаткову точність у прогнозуванні стану системи можуть забезпечити методи фільтрації, зокрема фільтр Калмана, що дає змогу знижувати вплив шумів і невизначеності під час обробки даних у динамічних умовах [4].

Існуючі програмні рішення здебільшого орієнтовані на окремі етапи логістичних процесів або не враховують складної структури транзакційної взаємодії в розподілених ланцюгах постачання. Крім того, часто ігноруються обмеження на обчислювальні ресурси при впровадженні таких систем у реальних умовах, де важлива не лише точність, а й швидкодія. Це зумовлює потребу в комплексному підході до побудови інтелектуальної системи, яка поєднує методи оптимізації, прогнозування та підтримки прийняття рішень.

Метою дослідження є розробка інтелектуальної системи підтримки рішень для оптимізації транзакцій у логістичних ланцюгах на основі алгоритмів багатокритеріальної оптимізації та методів фільтрації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблематика оптимізації транзакцій у логістичних ланцюгах активно досліджується в контексті застосування інтелектуальних алгоритмів, систем підтримки прийняття рішень та цифрових технологій [5]. У науковій літературі простежується кілька напрямів, що мають безпосередній зв'язок із предметом дослідження.

Перший напрям стосується побудови систем підтримки прийняття рішень у логістиці. Більшість сучасних моделей зосереджені на інтеграції ERP та SCM-систем, однак здебільшого орієнтуються на статичні сценарії та не враховують непередбачувані зміни в логістичних процесах [6]. В ряді робіт описує концепції адаптивного прийняття рішень в умовах динамічного середовища, але залишається відкритим питання швидкодії таких систем при великій кількості транзакцій [7, 8].

Другий напрям – багатокритеріальна оптимізація логістичних процесів [9]. У публікаціях, присвячених цьому питанню, перевага часто надається методам генетичного програмування та алгоритмів роїв [10]. Генетичні алгоритми вирізняються здатністю до ефективного пошуку глобального оптимуму при складній структурі цільової функції, що робить їх придатними для задач оптимізації маршрутів, складу замовлень і черговості обробки транзакцій. Проте окремі дослідження зазначають обмеження генетичних алгоритмів у випадках, коли потрібно враховувати оперативну зміну параметрів середовища.

Третій напрям пов'язаний із застосуванням фільтра Калмана та його модифікацій для прогнозування станів логістичної системи. Цей підхід широко використовується у транспортній логістиці для оцінки місцезнаходження вантажів і передбачення часу доставки [11]. У той же час його поєднання з механізмами прийняття рішень та оптимізаційними моделями досі розглядається обмежено, що створює перспективу для наукових розробок у цьому напрямі.

Окрему увагу приділяють дослідники побудові транзакційно-орієнтованих моделей для цифрової логістики [12]. В роботах останніх років розглядається концепція децентралізованих логістичних платформ, де транзакції відбуваються у режимі peer-to-peer із використанням смарт-контрактів [13]. Проте в таких моделях часто ігнорується проблема оптимізації сукупного навантаження та обчислювальних витрат при масштабуванні.

Попри значну кількість досліджень, наявні підходи не забезпечують комплексного врахування ключових факторів – багатокритеріальності, динамічності середовища, обмежених обчислювальних ресурсів і необхідності прогнозування в реальному часі. Актуальність дослідження полягає в необхідності об'єднання цих аспектів у єдину інтелектуальну систему підтримки рішень, здатну ефективно оптимізувати транзакції в логістичних ланцюгах.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. У Запропонована система підтримки рішень складається з декількох логічно взаємопов'язаних

модулів, кожен з яких виконує специфічну функцію у процесі оптимізації транзакцій у логістичних ланцюгах. До основних компонентів системи належать: модуль збору даних, модуль попередньої обробки, модуль прогнозування транзакційної активності, модуль оптимізації та користувацький інтерфейс. Дані надходять у систему з логістичних сенсорів, ERP-систем або ручного введення, після чого проходять етапи очищення, нормалізації та уніфікації.

Центральне місце в архітектурі займає модуль прогнозування, який на основі історичних і поточних даних оцінює стан логістичних вузлів і прогнозує навантаження. Отримані прогнозні дані передаються до модуля багатокритеріальної оптимізації, де приймається рішення щодо маршруту, порядку виконання або черговості транзакцій. Результати обчислень виводяться в інтерфейсі користувача у вигляді таблиць, графіків або текстових підказок. Структурна схема взаємодії компонентів представлена на рис. 1.

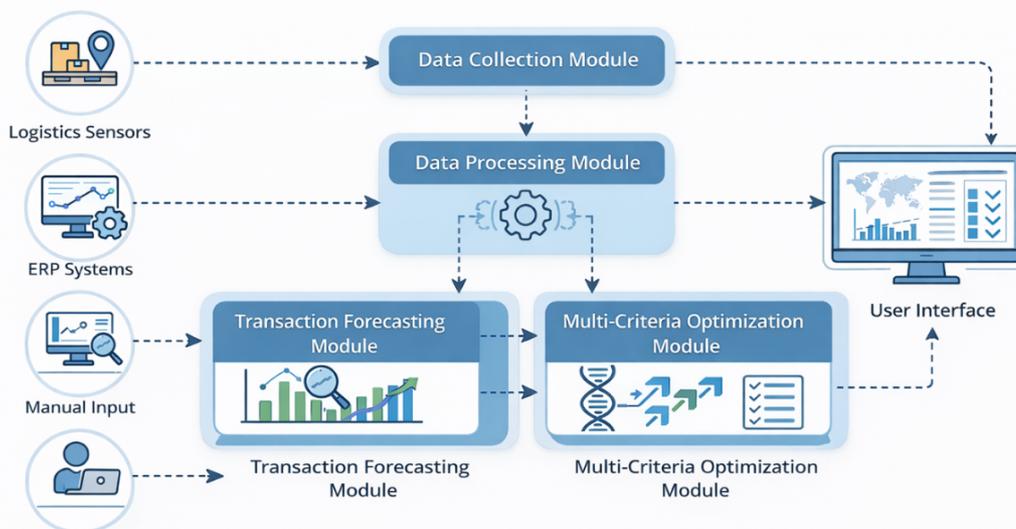


Рис. 1 – Архітектура системи підтримки рішень для оптимізації транзакцій у логістичних ланцюгах

Схема демонструє потік даних між модулями, що забезпечує наскрізну обробку – від отримання сировинних транзакцій до формування оптимізованого сценарію їх виконання в логістичному середовищі.

Метод оптимізації, покладений в основу роботи системи, базується на адаптованому генетичному алгоритмі, здатному ефективно вирішувати задачі з багатьма суперечливими критеріями. Основними критеріями оптимізації виступають: мінімізація часу обробки транзакцій, мінімізація витрат на виконання операцій і зменшення ризику затримок або порушень у ланцюгах постачання. Для цього було сформульовано векторну цільову функцію з ваговими коефіцієнтами, що дозволяє налаштувати пріоритети залежно від конкретного сценарію.

Формально модель описується множиною транзакцій $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, для кожної з яких визначаються параметри часу виконання τ_i , вартості c_i та ризику r_i . Задача зводиться до знаходження такої перестановки $P(T)$, яка мінімізує агреговану функцію (1).

$$F(P) = w_1 * \sum \tau_i(P) + w_2 * \sum c_i(P) + w_3 * \sum r_i(P) \quad (1)$$

де w_1, w_2, w_3 – вагові коефіцієнти важливості відповідних критеріїв. Обмеження включають допустимий час доставки, пріоритети транзакцій, взаємозалежності між подіями.

Алгоритм ініціалізується множиною хромосом, кожна з яких відповідає можливій послідовності транзакцій. На кожній ітерації відбувається відбір, кросовер та мутація, після чого обчислюється значення цільової функції для кожного нащадка. В процесі еволюції зберігаються найкращі особини, що дозволяє поступово наблизитися до оптимального або близького до оптимального рішення.

На рис. 2 представлено блок-схему алгоритму, що використовується для оптимізації транзакцій. Запропонований алгоритм враховує обмеження на час виконання, вартість логістичних операцій та рівень ризику, перетворюючи задачу в багатокритеріальну оптимізацію. Генетичний підхід дозволяє ефективно знаходити наближено оптимальні рішення в умовах високої складності пошукового простору. На кожному етапі відбору розглядаються комбінації можливих маршрутів та дій, які оцінюються за векторною функцією корисності. Використання механізмів мутації та

схрещування забезпечує адаптивність до змін середовища, а селекція – збереження найкращих рішень. Алгоритм передбачає можливість налаштування вагових коефіцієнтів, що дає змогу гнучко змінювати пріоритети оптимізації відповідно до поточних умов чи політик компанії.

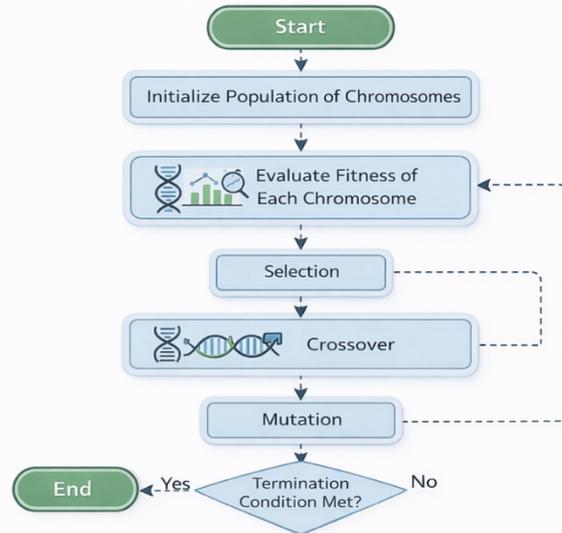


Рис. 2 – Алгоритм оптимізації транзакцій на основі генетичного підходу

У таблиці 1 подано приклад значень критеріальних функцій для кількох сценаріїв виконання транзакцій.

Таблиця 1 – Порівняння значень критеріальних функцій для різних перестановок транзакцій

Сценарій	Сума часу, τ (од.)	Сума вартості, c (ум. од.)	Сума ризику, r (балів)	Значення $F(P)$ при $w_1=0.5, w_2=0.3, w_3=0.2$
A	120	400	15	222
B	100	430	20	219
C	130	380	10	221

Як видно з таблиці, система дозволяє здійснювати гнучке керування критеріями та формувати оптимальні сценарії відповідно до заданих пріоритетів.

Для забезпечення передбачуваності в роботі логістичних ланцюгів та підвищення ефективності транзакційної взаємодії в системі передбачено окремий модуль прогнозування. Його основна функція полягає в оцінці майбутнього стану системи на основі поточних даних і тенденцій. У якості базового підходу до прогнозування обрано фільтр Калмана, який дозволяє враховувати як спостережувані значення, так і оцінки попередніх станів із відповідним зважуванням похибки. Такий метод показав високу ефективність у динамічних і шумних середовищах, типових для логістики.

Фільтр Калмана застосовується для оцінки ключових параметрів – затримок доставки, ймовірності збоїв, перевантаження вузлів та зміни обсягу транзакцій. У моделі стан системи подається у вигляді векторів, що містять історичні та поточні значення показників, а перехід між станами описується системою лінійних рівнянь з урахуванням випадкових збурень. Прогнозні значення, які генерує модель, надходять до модуля оптимізації як вагові коефіцієнти або граничні обмеження, що впливають на кінцеву конфігурацію сценарію виконання транзакцій.

Модуль прогнозування інтегровано в загальну архітектуру системи як елемент, що опрацьовує оброблені дані після їхньої агрегації та нормалізації. Його зв'язок із модулями обробки даних і оптимізації зображено в архітектурній схемі, рис. 1. Прогнозна модель є динамічною і може адаптуватися до змін середовища шляхом постійного оновлення параметрів на основі нових вхідних даних.

Програмна реалізація системи була здійснена з використанням мови Python, що забезпечує широкі можливості роботи з математичними моделями, обробкою даних та інтеграцією з інтерфейсами. Для побудови серверної частини застосовано фреймворк Flask, а для обчислювальних операцій – бібліотеки NumPy, SciPy, Pandas та PyKalman для реалізації

фільтрації. Оптимізаційні алгоритми реалізовано за допомогою бібліотеки DEAP, що підтримує генетичні й еволюційні методи.

Користувачський інтерфейс побудовано як веб-застосунок із використанням HTML5, CSS3 та JavaScript з інтеграцією бібліотек для побудови графіків (Plotly, Chart.js). Інтерфейс реалізує відображення основних етапів проходження транзакцій, прогнозованих ризиків, оптимізованих сценаріїв виконання та детальних показників ефективності. Користувач може задавати вагові коефіцієнти критеріїв, переглядати результат у графічному та табличному форматах.

На рис. 3 представлено відображення прогнозу навантаження логістичних вузлів у часовому розрізі, а на рис. 4 – результат оптимізації з виділенням кращого сценарію виконання транзакцій.

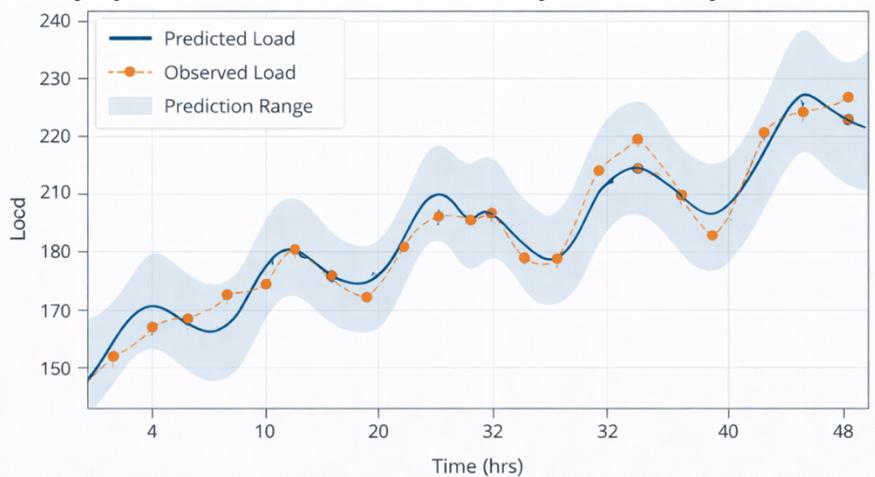


Рис. 3 – Графік прогнозу навантаження логістичних вузлів на основі фільтра Калмана

Результати, що формуються в процесі обчислень, відображаються в інтерфейсі користувача у зручному для аналізу форматі. Зокрема, для моніторингу навантаження на логістичні вузли система дозволяє простежити динаміку змін ключових параметрів у часі, що дає змогу виявляти критичні моменти та потенційні затримки. Інформація подається у вигляді лінійних діаграм, які наочно відображають зміну прогнозованих значень на основі фільтра Калмана, даючи змогу користувачу оперативно реагувати на відхилення. Це забезпечує кращу керованість процесами та дозволяє заздалегідь коригувати маршрути чи пріоритети обробки транзакцій.

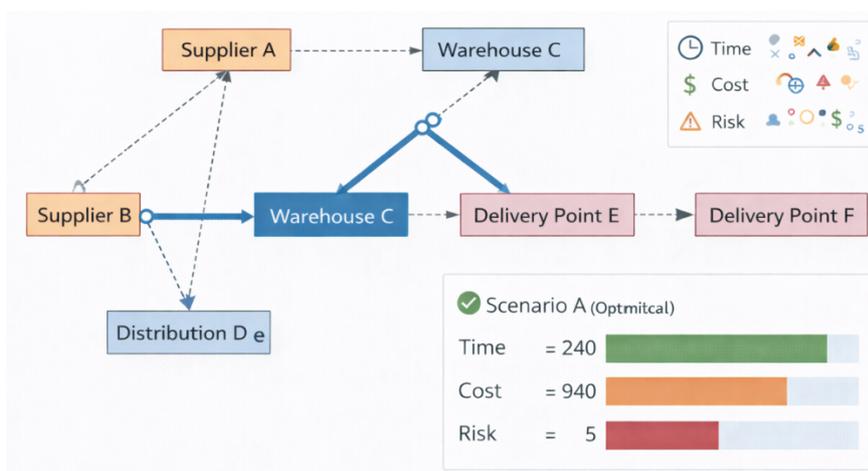


Рис. 4 – Результат оптимізації транзакцій з урахуванням багатокритеріальних обмежень

Таке поєднання алгоритмів і гнучкого інтерфейсу забезпечує адаптивність системи до потреб користувачів і умов зовнішнього середовища.

Для перевірки працездатності запропонованої системи підтримки рішень було проведено експериментальне дослідження у тестовому середовищі, яке моделює типову логістичну мережу з кількома постачальниками, проміжними складами та пунктами доставки. В якості вхідних даних використовувалися синтетично згенеровані транзакції, що відображають реальні параметри

логістичних операцій: час доставки, вартість обробки, ймовірність затримок, обсяги вантажів і маршрути. Дослідження проводилося в середовищі Python із використанням вбудованих засобів моніторингу ресурсів і продуктивності.

Було змодельовано три сценарії: перший базувався на ручному виборі маршрутів (традиційний підхід), другий – на застосуванні статичної евристики (наприклад, найкоротшої відстані), третій – на використанні запропонованої системи з багатокритеріальною оптимізацією та прогнозуванням. Порівняльний аналіз охоплював оцінювання сумарного часу виконання всіх транзакцій, загальних витрат і інтегрального ризику в системі. У таблиці 2 наведено результати оптимізації для трьох підходів.

Таблиця 2 – Порівняння результатів оптимізації за трьома підходами

Підхід	Час виконання (од.)	Вартість (ум. од.)	Ризик (балів)
Ручне управління	290	1120	9
Статична евристика	260	1030	7
Запропонована система	240	940	5

Згідно з отриманими результатами, система на основі генетичного підходу та фільтра Калмана демонструє найкращі показники за всіма критеріями. Додатково було досліджено вплив вагових коефіцієнтів на конфігурацію оптимального сценарію. У таблиці 3 подано приклади зміни результатів залежно від пріоритетів користувача.

Таблиця 3 – Вплив вагових коефіцієнтів на вибір оптимального сценарію

Ваги (час / вартість / ризик)	Обраний сценарій	Значення F(P)
0.5 / 0.3 / 0.2	A	222
0.4 / 0.4 / 0.2	B	215
0.3 / 0.4 / 0.3	C	210

На рис. 5 показано графічне представлення ефективності кожного підходу, що дозволяє порівняти їхню результативність у форматі «час – вартість – ризик».

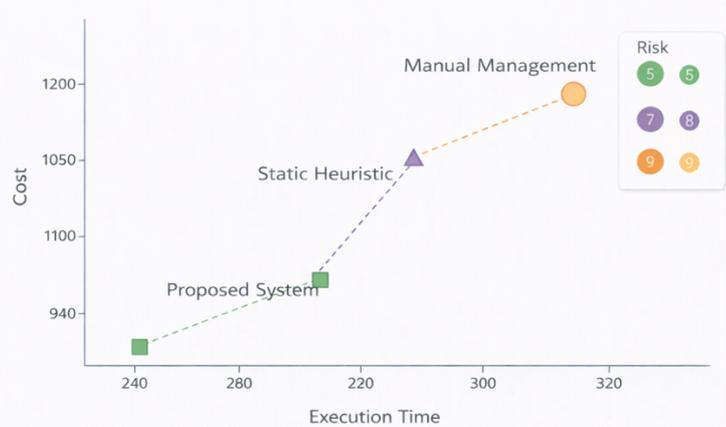


Рис. 5 – Порівняння підходів до оптимізації транзакцій у логістичному ланцюгу

Запропонований підхід має кілька ключових наукових переваг. По-перше, він поєднує у межах однієї системи методи багатокритеріальної оптимізації та динамічного прогнозування, що рідко реалізується в суміжних дослідженнях. По-друге, застосування фільтра Калмана дозволяє системі адаптуватися до змін стану логістичних вузлів у режимі наближеного реального часу. По-третє, реалізована система дозволяє проводити сценарний аналіз з урахуванням пріоритетів користувача без втрати оптимізаційної ефективності.

Практична цінність полягає в здатності швидко перераховувати оптимальні сценарії в умовах постійної зміни вхідних даних, що особливо актуально для підприємств із високим рівнем транзакційної динаміки. Система здатна зменшити загальні витрати на логістику, знизити ризики затримок і забезпечити більшу гнучкість у прийнятті оперативних рішень.

Серед обмежень варто відзначити потребу в попередньому налаштуванні параметрів оптимізації для кожного конкретного випадку, залежність точності від якості вхідних даних та обмежену масштабованість при великій кількості одночасних транзакцій без додаткової оптимізації

коду. У перспективі доцільно розширити модель за рахунок застосування гібридних алгоритмів та машинного навчання для автоматичного налаштування параметрів і підвищення адаптивності системи.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У межах дослідження було запропоновано та реалізовано інтелектуальну систему підтримки рішень для оптимізації транзакцій у логістичних ланцюгах, яка поєднує можливості багатокритеріальної оптимізації та динамічного прогнозування. Розроблена архітектура охоплює модулі збору й обробки даних, прогнозування навантаження на основі фільтра Калмана, оптимізаційного блоку на базі генетичного алгоритму та користувацького інтерфейсу для інтерактивної взаємодії з користувачем.

Результати експериментального моделювання підтвердили переваги запропонованого підходу над традиційними методами управління, зокрема щодо зниження витрат, часу виконання транзакцій та ризику збоїв у логістичному ланцюгу. Система продемонструвала здатність адаптуватися до змін у середовищі завдяки інтеграції прогнозних механізмів, а також забезпечила гнучке налаштування пріоритетів оптимізації відповідно до потреб користувача.

До основних перспектив подальших досліджень належать удосконалення алгоритмів адаптації параметрів оптимізації на основі методів машинного навчання, розширення системи підтримки рішень на випадки із більшим масштабом і кількістю транзакцій, а також інтеграція з децентралізованими платформами управління логістикою. Доцільним також є дослідження можливостей автоматичного виявлення аномалій у транзакційній поведінці та включення додаткових критеріїв оптимізації, зокрема екологічних показників.

Список бібліографічного опису

1. Di Capua, M., Ciaramella, A., De Prisco, A. Machine learning and computer vision for the automation of processes in advanced logistics: The integrated logistic platform (ILP) 4.0. *Procedia Computer Science*. 2023. Vol. 217. P. 326–338. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.228>
2. Cherchata, A., Popovychenko, I., Andrusiv, U., Gryn, V., Shevchenko, N., Shkuropatskyi, O. Innovations in logistics management as a direction for improving the logistics activities of enterprises. *Management Systems in Production Engineering*. 2022. Vol. 30. No. 1. P. 9–17. DOI: <https://doi.org/10.2478/mspe-2022-0002>
3. Chen, W., Men, Y., Fuster, N., Osorio, C., Juan, A. A. Artificial intelligence in logistics optimization with sustainable criteria: A review. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. No. 21. Article 9145. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16219145>
4. Zhang, C., Wei, W. IoT network for international trade cold chain logistics tracking based on Kalman algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022. Vol. 2022. Article 1608167. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/1608167>
5. Ren, J., Salleh, S. S. Logistics distribution model and storage planning design based on multi-source information positioning in smart city development. *Edelweiss Applied Science and Technology*. 2024. Vol. 8. No. 4. P. 1617–1629. DOI: 10.55214/25768484.v8i4.1532
6. Kaup, M., Wiktorowska-Jasik, A., Smacki, A., Baszak, K. Information systems and technologies supporting decision-making processes in logistics companies. *Procedia Computer Science*. 2024. Vol. 246. P. 5506–5515. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.699>
7. Canon, J. G. F., dos Santos, R. J. R., de Carvalho, V. D. H., Monte, M. B. D. S., de Barros, T. L. Integrated logistics management through ERP system: A case study in an emerging regional market. *Logistics*. 2025. Vol. 9. No. 2. P. 59. <https://doi.org/10.3390/logistics9020059>
8. Grobler-Dębska, K., Żak, B., Fijas, M., Kowalski, M., Kopa, M., Kucharska, E., Baranowski, J. Logistics processes optimization in ERP systems. *Proceedings of the 26th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics*. 2022. P. 176–180. IEEE. DOI: [10.1109/MMAR55195.2022.9874280](https://doi.org/10.1109/MMAR55195.2022.9874280)
9. Popović, V., Pamučar, D., Stević, Ž., Lukovac, V., Jovković, S. Multicriteria optimization of logistics processes using a grey FUCOM-SWOT model. *Symmetry*. 2022. Vol. 14. No. 4. P. 794. <https://doi.org/10.3390/sym14040794>
10. Xin, L., Xu, P., Manyi, G. Logistics distribution route optimization based on genetic algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022. Vol. 2022. 8468438. <https://doi.org/10.1155/2022/8468438>
11. Li, H., Yuan, H., Zeng, D., Wu, T., Wang, Y., Su, Y., Zhang, B. Kalman filter based improved beluga whale optimization algorithm. *Proceedings of the 13th International Conference on Information Science and Technology*. 2023. P. 222–231. IEEE. DOI: [10.1109/ICIST59754.2023.10367105](https://doi.org/10.1109/ICIST59754.2023.10367105)
12. Franko, A., Mate, A., Varga, P. Intercompany business transaction platform architecture: Concept and design. *Proceedings of the 21st International Conference on Network and Service Management*. 2025. P. 1–6. IEEE. DOI: [10.23919/CNSM67658.2025.11297521](https://doi.org/10.23919/CNSM67658.2025.11297521)
13. Pelé, P., Schulze, J., Piramuthu, S., Zhou, W. IoT and blockchain based framework for logistics in food supply chains. *Information Systems Frontiers*. 2023. Vol. 25. No. 5. P. 1743–1756. <https://doi.org/10.1007/s10796-022-10343-9>

References

1. Di Capua, M., Ciaramella, A., De Prisco, A. Machine learning and computer vision for the automation of processes in advanced logistics: The integrated logistic platform (ILP) 4.0. *Procedia Computer Science*. 2023. Vol. 217. P. 326–338. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.228>
2. Cherchata, A., Popovychenko, I., Andrusiv, U., Gryn, V., Shevchenko, N., Shkuropatskyi, O. Innovations in logistics

- management as a direction for improving the logistics activities of enterprises. *Management Systems in Production Engineering*. 2022. Vol. 30. No. 1. P. 9–17. DOI: <https://doi.org/10.2478/mspe-2022-0002>
3. Chen, W., Men, Y., Fuster, N., Osorio, C., Juan, A. A. Artificial intelligence in logistics optimization with sustainable criteria: A review. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. No. 21. Article 9145. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16219145>
4. Zhang, C., Wei, W. IoT network for international trade cold chain logistics tracking based on Kalman algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022. Vol. 2022. Article 1608167. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/1608167>
5. Ren, J., Salleh, S. S. Logistics distribution model and storage planning design based on multi-source information positioning in smart city development. *Edelweiss Applied Science and Technology*. 2024. Vol. 8. No. 4. P. 1617–1629. DOI: 10.55214/25768484.v8i4.1532
6. Kaup, M., Wiktorowska-Jasik, A., Smacki, A., Baszak, K. Information systems and technologies supporting decision-making processes in logistics companies. *Procedia Computer Science*. 2024. Vol. 246. P. 5506–5515. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.699>
7. Canon, J. G. F., dos Santos, R. J. R., de Carvalho, V. D. H., Monte, M. B. D. S., de Barros, T. L. Integrated logistics management through ERP system: A case study in an emerging regional market. *Logistics*. 2025. Vol. 9. No. 2. P. 59. <https://doi.org/10.3390/logistics9020059>
8. Grobler-Dębska, K., Żak, B., Fijas, M., Kowalski, M., Kopa, M., Kucharska, E., Baranowski, J. Logistics processes optimization in ERP systems. *Proceedings of the 26th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics*. 2022. P. 176–180. IEEE. DOI: [10.1109/MMAR55195.2022.9874280](https://doi.org/10.1109/MMAR55195.2022.9874280)
9. Popović, V., Pamučar, D., Stević, Ž., Lukovac, V., Jovković, S. Multicriteria optimization of logistics processes using a grey FUCOM-SWOT model. *Symmetry*. 2022. Vol. 14. No. 4. P. 794. <https://doi.org/10.3390/sym14040794>
10. Xin, L., Xu, P., Manyi, G. Logistics distribution route optimization based on genetic algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022. Vol. 2022. 8468438. <https://doi.org/10.1155/2022/8468438>
11. Li, H., Yuan, H., Zeng, D., Wu, T., Wang, Y., Su, Y., Zhang, B. Kalman filter based improved beluga whale optimization algorithm. *Proceedings of the 13th International Conference on Information Science and Technology*. 2023. P. 222–231. IEEE. DOI: [10.1109/ICIST59754.2023.10367105](https://doi.org/10.1109/ICIST59754.2023.10367105)
12. Franko, A., Mate, A., Varga, P. Intercompany business transaction platform architecture: Concept and design. *Proceedings of the 21st International Conference on Network and Service Management*. 2025. P. 1–6. IEEE. DOI: [10.23919/CNSM67658.2025.11297521](https://doi.org/10.23919/CNSM67658.2025.11297521)
13. Pelé, P., Schulze, J., Piramuthu, S., Zhou, W. IoT and blockchain based framework for logistics in food supply chains. *Information Systems Frontiers*. 2023. Vol. 25. No. 5. P. 1743–1756. <https://doi.org/10.1007/s10796-022-10343-9>

Історія статті:

Отримано: 19.02.2026 Доопрацьовано: 27.02.2026 Прийнято до друку: 23.03.2026 Опубліковано: 29.03.2026