

О. М. Корень,
к. т. н., доцент кафедри інформаційних технологій,
Придніпровський інститут ПрАТ "ВНЗ "МАУП"
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7106-7400>
О. Ф. Кришан,
к. е. н., доцент кафедри інформаційних технологій,
Придніпровський інститут ПрАТ "ВНЗ "МАУП"
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2967-0126>
В. М. Прилипко,
к. е. н., доцент, доцент кафедри загальної педагогіки та права,
Придніпровський інститут ПрАТ "ВНЗ "МАУП"
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6271-2148>

DOI: 10.32702/2306-6814.2025.21.166

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ВИТРАТ ПІДПРИЄМСТВА

О. Koren,
PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technologies, Prydniprovsk Institute
the Private Joint-Stock Company "Higher Education Institution "Interregional Academy of Personnel Management"
О. Kryshan,
PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Information Technologies, Prydniprovsk Institute
the Private Joint-Stock Company "Higher Education Institution "Interregional Academy of Personnel Management"
V. Prylypko,
PhD in Pedagogy, Associate Professor of the Department of General Pedagogy and Law, Prydniprovsk Institute
the Private Joint-Stock Company "Higher Education Institution "Interregional Academy of Personnel Management"

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR DECISION SUPPORT TO OPTIMIZE THE ENTERPRISES' LOGISTICS COSTS

У статті обгрунтовано науково-практичні засади створення інформаційної системи підтримки прийняття рішень, спрямованої на оптимізацію логістичних витрат підприємства в умовах зростання динамічності ланцюгів постачання та високої невизначеності зовнішнього середовища. Розглянуто принципи поєднання економіко-математичного моделювання, модулів прогнозової аналітики, механізмів прескриптивної оптимізації та інтерфейсів сценарного планування як базису для зниження сукупних логістичних витрат, підвищення рівня обслуговування споживачів, скорочення часу реагування і мінімізації операційних ризиків. Запропоновано багатопланову архітектуру системи, яка передбачає інтеграцію внутрішніх інформаційних систем підприємства, систем управління складом і транспортом, даних телеметрії та мережі підключених сенсорів, зовнішніх джерел інформації, а також організацію процесів вилучення, перетворення й завантаження даних, централізованого сховища й спеціалізованого репозиторію ознак для моделей прогнозування. Описано застосування статистичних та алгоритмічних ме-

тодів прогнозування попиту, методів виявлення аномалій у операційних даних, формулювання задач цілочисельного лінійного програмування й застосування метаевристичних алгоритмів для задач маршрутизації та планування запасів з урахуванням невизначеності; обґрунтовано використання цифрового двійника та симуляційного модуля для тестування сценаріїв і підвищення надійності рішень, а також запровадження процедур пояснюваності результатів алгоритмів машинного навчання для забезпечення прозорості управлінських рекомендацій. Аргументовано доцільність реалізації через аналіз показника рентабельності інвестицій і чистої приведеної вартості, що підкреслює потенціал системи до масштабування, адаптації під різні галузі та інтеграції екологічних і регуляторних критеріїв у процедури багатоцільової оптимізації.

The article substantiates the scientific and practical principles of creating an information system for decision support aimed at optimizing the logistics costs of an enterprise in the conditions of increasing supply chain dynamics and high uncertainty of the external environment. The principles of combining economic and mathematical modeling, predictive analytics modules, prescriptive optimization mechanisms, and scenario planning interfaces as a basis for reducing total logistics costs, increasing the level of customer service, reducing response time, and minimizing operational risks are considered. A multi-layered system architecture is proposed, which involves the integration of internal information systems of the enterprise, warehouse and transport management systems, telemetry data and a network of connected sensors, and external sources of information, as well as the organization of data extraction, transformation, and loading processes, a centralized storage, and a specialized repository of features for forecasting models. The application of statistical and algorithmic methods for demand forecasting, methods for detecting anomalies in operational data, formulation of integer linear programming problems, and application of metaheuristic algorithms for routing and inventory planning problems taking into account uncertainty are described; the use of a digital twin and a simulation module for testing scenarios and increasing the reliability of solutions is justified, as well as the introduction of procedures for explaining the results of machine learning algorithms to ensure transparency of management recommendations. The feasibility of implementation is argued through the analysis of the return on investment and net present value, which emphasizes the potential of the system for scaling, adaptation to different industries, and integration of environmental and regulatory criteria into multi-objective optimization procedures.

Ключові слова: логістика, оптимізація витрат, інформаційна система підтримки прийняття рішень, прогнозування попиту, маршрутизація, управління запасами, ETL-процеси, стійка оптимізація, пояснюваність алгоритмів.

Key words: logistics, cost optimization, decision support information system, demand forecasting, routing, inventory management, ETL.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Розвиток глобалізованих і високодинамічних ринків створює для підприємств постійний тиск на зниження логістичних витрат при одночасному підвищенні якості обслуговування клієнтів [1]. Складність сучасних логістичних ланцюгів, зокрема, велика кількість учасників, багатоетапна трансформація товарів, змінні режими попиту й пропозиції та жорсткі часові обмеження, робить традиційні інструменти планування неефективними [2]. У таких умовах інформаційні системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) стають ключовим фактором забезпечення конкурентоспроможності, оскільки вони здатні інтегрувати розрізнені дані, формалізувати багатокритеріальні задачі й оперативно генерувати об-

ґрунтовані варіанти рішень. Тому розробка ІСППР, орієнтованої на оптимізацію логістичних витрат, становить предмет цього дослідження.

Постановка проблеми щодо розробки ІСППР для оптимізації логістичних витрат підприємства у загальному вигляді полягає в забезпеченні поєднання моделювання логістичних процесів, методів оптимізації та аналітики даних для прийняття своєчасних і обґрунтованих рішень в умовах невизначеності. З одного боку, необхідно формалізувати задачу як багатоцільову оптимізацію з урахуванням обмежень ресурсів, часу доставки, рівня сервісу та екологічних показників, з іншого — реалізувати механізми інтеграції даних з оперативних систем (наприклад, ERP, WMS, TMS) і зовнішніх джерел у режимі, що забезпечує прийняття рішень у реальному часі або близькому до нього. У цьому контексті ключовою технічною проблемою є побудова ар-

хітектури, що надає змогу здійснювати баланс між точністю аналітичних моделей і швидкістю їх виконання, зберігаючи при цьому прозорість і пояснюваність рішень для користувача.

При цьому наукова значущість дослідження випливає з необхідності розвитку методів комбінованої оптимізації і прогнозування, що поєднують підходи операційних досліджень, стохастичного моделювання та сучасних методів машинного навчання. До важливих наукових завдань відносяться формулювання адекватних математичних моделей логістичних процесів у присутності невизначеності, розробка масштабованих алгоритмів багатоцільової оптимізації (включно з евристичними та метаевристичними), а також створення технік для оцінки і контролю ризиків реалізації запропонованих рішень. При цьому практична значущість дослідження полягає в тому, що реалізована інформаційна система здатна забезпечити реальне скорочення логістичних витрат підприємства через оптимізацію маршрутів і завантаження, зменшення запасів при збереженні рівня сервісу, підвищення ефективності використання транспорту й складських потужностей та зниження ризиків зриву поставок.

Таким чином, на основі викладеного зазначається, що актуальність дослідження підкреслюється поєднанням економічної доцільності й технологічної можливості реалізації ІСППР у сучасних інформаційних середовищах. Запропоноване дослідження спрямоване на усунення недоліків у прийнятті рішень, зокрема, від неповноти даних до обмежень обчислювальних ресурсів, і формує методологічну базу для створення адаптивних, масштабованих і пояснюваних інформаційних систем, що підвищують стійкість і ефективність підприємств.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ. У ЗАРУБІЖНІЙ ЛІТЕРАТУРІ

Останні зарубіжні дослідження підкреслюють швидке зростання досліджень на перетині ІСППР, Інтернету речей (IoT) і логістики. Наприклад, В. Кайванфар (Kayvanfar) у [3] систематизував підходи до DSS у контексті IoT-ланцюгів поставок, виділивши рамки для інтеграції потокових даних і веб-контенту в аналітичні модулі, В. Юань у [4] показали "гарячі" напрями інтелектуальної логістики, що полягають у комбінуванні моделювання, штучного інтелекту й сценарного аналізу, К. Дуайуї у [5] акцентує увагу на впровадженні глибоких нейронних мереж для підвищення ефективності і сталості ланцюгів поставок. Наведені дослідження вказують на перехід від ізольованих оптимізаційних алгоритмів до гібридних, даних-орієнтованих DSS, але одночасно фіксують складнощі з інтеграцією потоків даних і забезпеченням пояснюваності рішень.

Класичні та прикладні дослідження в галузі оптимізації логістики (наприклад, П. Ларсон [6]) продовжують задавати теоретичну базу для математичних моделей запасів, маршрутизації та мережевого дизайну. Водночас останні огляди з оптимізації транспорту і наземних перевезень демонструють зростання ролі метаевристич, дискретно-подійного моделювання й комбінованих методів прогноз-прескрипції [7]. До авторів, чиї підходи часто цитуються при побудові ІСППР, належать М. Джен-

дро [8] (основи проектування ланцюгів поставок) та низка досліджень, що описують техніки для скорочення логістичних витрат через алгоритмічну оптимізацію і симуляцію, наприклад, [9]. Це підкреслює, що сучасна ІСППР має поєднувати як класичні операційно-дослідні методи, так і нові машинно-навчальні підходи.

Вітчизняні публікації (наприклад, А. Бень, О. Шаповалова, І. Іліна та ін.) концентруються на прикладних рішеннях для окремих доменів, наприклад, судноводіння, транспортних задач, волонтерської і гуманітарної логістики, та демонструють важливість локальних вимог (регуляторика, людський фактор, специфіка інфраструктури). Зокрема, праці А. Бєня, зокрема, [10] описують архітектури DSS для навігації та критичних операцій, при цьому О. Шаповалова у [11] досліджувала практичні програмні реалізації DSS для транспортних завдань, а І. Іліна у [12] — застосування СППР у волонтерській логістиці. Ці дослідження показують високу практичну спрямованість української науки, але також виявляють дефіцит між локальними спеціалізованими системами й універсальними корпоративними ІСППР, здатними працювати в умовах масштабування та інтеграції з ERP, WMS або TMS.

Проведений аналіз наукових досліджень з розробки ІСППР надає можливість виділити ключові незакриті наукові і прикладні питання, для вирішення яких необхідна цілеспрямована розробка ІСППР. Зазначається, що питання інтеграції гетерогенних і потокових джерел (IoT, ERP, зовнішні дані) у режимі реального часу зі збереженням консистентності та лаконічного інтерфейсу для аналітики, поєднання предиктивних моделей і прескриптивних алгоритмів із гарантіями стабільності рішень при невизначеності і збо-ях (резильєнтність до геополітичних чи кризових збурень), забезпечення прозорості й інтерпретованості моделей (explainable AI) для довіри користувача та відповідності регуляторним вимогам, масштабування обчислювальних методів і адаптація їх під обмежені ресурси малого чи середнього бізнесу, а інтеграція екологічних, соціальних і регуляторних критеріїв у багатоцільову оптимізацію.

Таким чином, проаналізовані наукові праці як зарубіжних (Kayvanfar, Yuan, Dalal, Simchi-Levi), так і українських авторів (Бень, Шаповалова, Іліна) підтверджують швидкий перехід теорії та практики в бік інтегрованих DSS для логістики, але водночас відзначають низку критичних прогалин, зокрема, інтеграцію в реальному часі, пояснюваність, адаптивну багатоцільову оптимізацію та оперативну резильєнтність. Тому розробка ІСППР, орієнтованої на вирішення цих завдань, є логічним і нагальним кроком для подолання як теоретичних бар'єрів, так і практичних перешкод впровадження цифрових рішень у підприємствах.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)

Метою дослідження є розробка теоретико-методологічних основ та практична реалізація інформаційної системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) для оптимізації логістичних витрат підприємства, яка інтегрує гетерогенні джерела даних, поєднує предиктивну аналітику з багатоцільовою прескриптивною оптимізацією й забезпечує пояснюваність, масштабованість та стійкість рішень в умовах невизначеності.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

ІСППР — модульна платформа, що поєднує збори й очищення даних (ETL), предиктивну аналітику (прогноз попиту або часів поставок), прескриптивну оптимізацію (маршрутизація, планування запасів, завантаження транспорту), симуляцію сценаріїв і інтерфейс "людина-в-циклі" для прийняття та валідації рішень. Система працює в офлайн (пакетні звіти), і в режимі близькому до реального часу (стрімінг даних від GPS або телематики, замовлень, WMS або ERP). Пропонується шарова архітектура розробленої ІСППР відповідно до схеми "джерела → ETL або стрім → сховище й сховище функцій → моделі прогнозування → модулі оптимізації → інтеграція з виконавчими системами (наприклад, TMS, WMS або ERP)".

Модель загальних логістичних витрат ґрунтується на прийнятті періоду планування як $t = 1 \dots T$, при цьому загальні логістичні витрати мінімізуються як:

$$\min(C_{\text{заг}}) = C_{\text{транс}} + C_{\text{збер}} + C_{\text{фікс}} + C_{\text{склад}} + C_{\text{штраф}} + C_{\text{зовн}} \quad (1),$$

де $C_{\text{транс}} = \sum_{i,j,t} c_{ij} \cdot x_{ij,t}$ — транспортні витрати (вартість км/тон-км або за рейс), $C_{\text{збер}} = \sum_{k,t} h_k \cdot I_{k,t}$ — витрати на зберігання, $C_{\text{фікс}} = \sum_{k,t} K_k \cdot y_{k,t}$ — фіксовані витрати на оформлення або завантаження (де K має фіксоване значення), $C_{\text{склад}} = \sum_{\omega,t} \omega_{\omega} \cdot u_{\omega,t}$ — змінні (або фіксовані) витрати складування, $C_{\text{штраф}} = \sum_{k,t} p_k \cdot b_{k,t}$ — штрафи за недовиконання сервісного рівня, $C_{\text{зовн}} = \gamma \cdot \sum_{i,j,t} e_{ij} \cdot x_{ij,t}$ — опціональні зовнішні (зокрема, екологічні) витрати (емісії $\times$ ціна), $x_{ij,t}$ — об'єми (кількість) перевезень між i та j у період t ; $I_{k,t}$ — рівень запасів товару k на початок або кінець періоду; $y_{k,t} \in \{0, 1\}$ — тригер, що сигналізує про те, чи було роблено замовлення.

При цьому баланс запасів (або динаміка запасів) описується виразом:

$$I_{k,t} + 1 = I_{k,t} + Q_{k,t} - D_{k,t} + S_{k,t} - L_{k,t} \quad (2),$$

де $Q_{k,t}$ — отримане поповнення, $D_{k,t}$ — попит, $S_{k,t}$ — внутрішні переміщення, $L_{k,t}$ — втрати (брак).

У цьому контексті обмеження виступають задоволення попиту ($\forall k, t$), ємності транспорту ($\sum_k \omega_k \cdot x_{ij,t}$) (або складу — $\sum_k \text{vol}_k(I_{k,t})$) та вікна доставки та часові обмеження:

$$\forall k, t: D_{k,t} \leq I_{k,t} + Q_{k,t} + b_{k,t} \quad (3),$$

$$\sum_k \omega_k \cdot x_{ij,t} \leq \text{Cap}_{\text{veh}}, \sum_k \text{vol}_k(I_{k,t}) \leq \text{Cap}_{\text{wh}}$$

де Cap_{veh} — місткість одного транспортного засобу, Cap_{wh} — місткість одного складу.

Вікна доставки та часові обмеження впливають із умови: "якщо маршрут g обирається, то час прибуття має задовольняти часові вікна $a_i \leq t_i \leq b_i$ ".

У багатоцільовій постановці задачі оптимізації логістичних витрат підприємства при за наявності зовнішнього (екологічного) впливу застосовується підхід зваженої суми, поданий як:

$$\min \left(\alpha_1 \cdot \frac{C_{\text{заг}}}{C^*} - \alpha_2 \cdot \frac{SL}{SL^*} + \alpha_3 \cdot \frac{E}{E^*} \right) \quad (4),$$

де SL — рівень обслуговування, E — емісії.

Оцінка економічної доцільності впровадження ІСППР здійснюється через порівняння очікуваних річних заощаджень $S_{\text{щорічні}}$ та витрат на впровадження й експлуатацію. У цьому контексті капітальні та одноразові витрати узагальнюються в $C_{\text{впров}}$, щорічні витрати на підтримку та амортизацію — в $C_{\text{щорічні, впров}}$. Ключовим індикатором швидкої оцінки є показник рентабельності інвестицій (ROI), який визначається як:

$$ROI = \frac{S_{\text{щорічні}} - S_{\text{щорічні, впров}}}{S_{\text{впров}}} \quad (5),$$

і інтерпретується як частка повернення чистих щорічних вигод відносно початкових інвестицій (чисте позитивне значення свідчить про економічну привабливість за заданих умов). Для врахування часової вартості грошей застосовується показник чистої приведеної вартості (NPV):

$$NPV = -S_{\text{впров}} + \sum_{t=1}^N \frac{S_t - O_t}{(1+r)^t} \quad (6),$$

де S_t — очікувані заощадження в році t , O_t — додаткові річні витрати на підтримку в році t , r — дисконтна ставка, N — горизонт прогнозу. Отже, проєкт вважається прийнятним за цим критерієм при $NPV > 0$.

На основі викладеного запропонована ІСППР передбачає багатоістотну інтеграцію джерел даних, що включає внутрішні системи (ERP — замовлення і постачання, WMS — інвентар, TMS — маршрути, CRM — продажі, облікові системи), оперативні стріми (GPS або телематика, IoT-сенсори для моніторингу температури та вологості, EDI-повідомлення від партнерів) та зовнішні дані (метеопрогнози, дорожні умови, тарифні коригування перевізників, інформація від постачальників). Архітектура даних реалізується як шарова платформа, в якій механізми ETL і пакетні процеси на Airflow та стрімінг через Kafka забезпечують попередню обробку, центральне сховище реалізується через комбіновану інфраструктуру транзакційної бази даних, колончатого аналітичного сховища та озера даних, а для машинного навчання застосовується сховище функцій із версіонуванням ознак; компонентна частина включає модулі прогнозування (ARIMA, градієнтні бустинги), модулі виявлення аномалій у телеметрії, оптимізаційний рушій (наприклад, евристики та метаетвристики), симулятор для тестування сценаріїв ризику, засоби модельного сервісингу, візуалізації (дашборди, картографічні сервіси, планувальник сценаріїв) та модулі аудитності й пояснювальності (логування рішень), при цьому інфраструктура передбачає політики безпеки та управління (рольова модель доступу, шифрування, відповідність регламентам).

Оперативний pipeline обробки та генерації рішень реалізовано як послідовність етапів, серед яких, збір і валідація даних, очищення та формування ознак, прогнозування попиту й ЕТА, оптимізація маршрутів та поповнень (через евристичні підходи), валідація вибраного рішення шляхом дискретно-подібної симуляції та контролю ризиків, автоматизоване відтворення команд у TMS або WMS і постійний моніторинг з циклом зворотного навчання. При цьому для прогнозування попиту доцільно застосовувати комбіновані підходи (ETS у

ІСППР — Оптимізація логістичних витрат

Фільтри & Сценарії		MAP PLACENHOLDER	
Region:			
Куч:			
Діапазон дат:	2025-10-01 — 2025-10-31		
What-if: Сценарій:	—		
Ціна палива:	1.20		
Доступні ТЗ:	24		
Оповіщення:	ETA deviation > 60 min for route #A-23 Safety stock below threshold for SKU 436		
Щомісячні витрати		On-time delivery	Load factor
1,200,000 €		92.5%	78%

Рекомендовані альтернативи	
Оптимізація маршрутів (heuristic) 1,104,000 € SL 91.0% · Risk: Low	Прийняти
Агрегація замовлень + маршрутизація 1,056,000 € SL 90.5% · Risk: Medium	Прийняти
Змішана стратегія: оптимізація + податковий запас 1,140,000 € SL 94.0% · Risk: Low	Прийняти
Прогноз попиту: сезонність, акції, історія продажів. · Тарифні параметри впливають на кітиму вартість альтернатив. ·	

Рис. 1. Інтерфейс розробленої інформаційної системи підтримки прийняття рішень для оптимізації логістичних витрат підприємства

Джерело: створено авторами.

поєднанні з моделями на основі машинного навчання та ансамблями для корекції під акційні і сезонні ефекти), для детекції аномалій — методи статистичного контролю та аналізу телеметрії на основі машинного навчання, а для управління запасами використовувати класичні політики з урахуванням характеру попиту, де економічно обгрунтована *EOQ* визначається як:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot K}{h}} \quad (7),$$

де D — річний попит, K — фіксована вартість розміщення замовлення, h — одиничні річні витрати зберігання; стійкість до невизначеності забезпечується через робастну оптимізацію (параметричні буфери), стохастичне програмування на основі сценаріїв (апроксимація вибіркового середнього) або застосування обмеження випадковості для забезпечення заданого рівня сервісу.

Інтерфейс прийняття рішень ІСППР проектується з урахуванням принципу "людина-в-циклі" та повинен надавати режим рекомендованих рішень (генерація кількох альтернатив із розрахунком економічних показників — витрати, вплив на рівень сервісу, ризик), пояснювану панель пояснювальності (обгрунтування вибору маршруту або політики поповнення через ключові фактори: прогноз попиту, тарифні параметри, доступність парку), інтерактивний модуль "що якщо" (миттєвий перерахунок KPI при зміні параметрів: ціна палива, вихід перевізника тощо) та систему оповіщень про ризикові події (відхилення ETA, критичні значення страховий запас).

На рисунку 1 наведено інтерфейс розробленої ІСППР, де відображено ключові показники логістичних витрат, рекомендовані альтернативи оптимізації, сценарні параметри та панель оповіщень для контролю ризиків.

Представлений на рисунку інтерфейс інформаційної системи підтримки прийняття рішень демонструє інтегровану візуалізацію ключових елементів управління логістичними витратами. У верхній частині відображено агреговані показники ефективності, зокрема щомісячні витрати, своєчасність доставки та рівень завантаженості транспортних засобів. Пропоноване компонування забезпечує оперативне оцінювання стану логістичної системи та дає змогу швидко ідентифікувати відхилення від цільових параметрів. Блок картографічної візуалізації маршрутів надає змогу здійснювати просторовий аналіз перевезень і контролювати відповідність фактичних траєкторій оптимізаційним моделям.

У лівій частині інтерфейсу розміщено модуль фільтрації та сценарного моделювання, що забезпечує адаптивність системи до змін зовнішніх і внутрішніх умов, таких як коливання вартості палива чи доступність транспортного парку. Окремо виділений блок оповіщень виконує функцію раннього попередження щодо критичних подій, включаючи відхилення у часі прибуття або зниження страхових запасів, що підвищує стійкість логістичних процесів до ризиків. Праворуч наведено рекомендовані альтернативи рішень із зазначенням витрат, рівня сервісу та ризику, що створює основу для багатокритеріального вибору та обгрунтованого управ-

лінського втручання. Блок пояснюваності доповнює функціональність, забезпечуючи прозорість логіки прийняття рішень і підвищуючи довіру до результатів автоматизованої оптимізації.

Таким чином, розроблена ІСППР виступає комплексним інструментом підтримки управлінських рішень у сфері логістики, поєднуючи аналітичні, візуалізаційні та оптимізаційні механізми в єдиному інтегрованому середовищі. Її архітектура забезпечує не лише моніторинг ключових показників ефективності, але й динамічне формування альтернатив із можливістю сценарного моделювання та оцінки ризиків. Завдяки поєднанню модулів прогнозування, оптимізації, симуляції та пояснюваності, система дозволяє мінімізувати витрати, підтримувати необхідний рівень сервісу та оперативно реагувати на зміни у зовнішньому і внутрішньому середовищі.

Крім того, інтерактивні панелі, механізми виявлення критичних відхилень та функціонал "що якщо" підвищують адаптивність логістичних процесів і сприяють зниженню ймовірності управлінських помилок. Таким чином, поєднання автоматизованого аналізу, рекомендаційних підсистем і можливостей людського контролю забезпечує гнучку взаємодію між системою й користувачем, що робить ІСППР придатною як для оперативного, так і для стратегічного рівня планування.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Розроблена інформаційна система підтримки прийняття рішень для оптимізації логістичних витрат підприємства забезпечує інтеграцію гетерогенних джерел даних, поєднання предиктивної та прескриптивної аналітики, а також формування обґрунтованих управлінських рішень у режимі, наближеному до реального часу. Запропонована архітектура системи дозволяє мінімізувати витрати шляхом оптимізації маршрутів, скорочення запасів, раціонального використання ресурсів і зниження ризиків зриву постачання. Значущим результатом дослідження є поєднання математичної моделі логістичних витрат, алгоритмів багатоцільової оптимізації та модулів оцінки економічної доцільності, що забезпечує практичну придатність системи для впровадження на підприємствах різних масштабів.

У межах проведеного дослідження також сформовано технічну інфраструктуру системи, яка включає ETL-процеси, сховища даних, модулі машинного навчання, симуляційні компоненти та інтерфейс "людина-в-циклі". Продemonстровано можливість використання метаевристик, методів робастної оптимізації та аналізу сценаріїв для прийняття ефективних рішень в умовах невизначеності. Представлений інтерфейс ІСППР підтверджує практичну реалізованість концепції та надає інструменти для моніторингу KPI, сценарного планування та вибору альтернатив із поясненням логіки системи.

Перспективи подальших розвідок полягають у вдосконаленні механізмів адаптивної оптимізації з урахуванням динамічних змін у попиті, ринку перевезень і зовнішніх чинниках ризику. Доцільним напрямом є також розвиток цифрових двійників логістичних систем, розширення застосування глибинного навчання для прогнозування й кластеризації операційних даних, інтегра-

ція ESG-критеріїв та екологічних обмежень у модель витрат. Окремого значення набуває створення хмарних або гібридних версій ІСППР з можливістю масштабування для малого й середнього бізнесу, а також забезпечення кіберстійкості, інтероперабельності та комплаєнсу з регуляторними вимогами. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на автоматизацію самонавчання моделей, побудову мультиагентних систем прийняття рішень та інтеграцію блокчейн-технологій для підвищення прозорості логістичних операцій.

Література:

1. Katsela K. Viable business models for city logistics: exploring the cost structure and revenue streams of fourteen European cases. *Transportation Research Procedia*. 2025. Vol. 82. P. 3889—3899. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.12.007>
2. Guerlain C., Renault S., Ferrero F., Faye S. Decision Support Systems for Smarter and Sustainable Logistics of Construction Sites. *Sustainability*. 2019. Vol. 11, no. 10. 2762. <https://doi.org/10.3390/su11102762>
3. Kayvanfar V., Elomri A., Kerbache L., Vandchali H. R., El Omri A. A review of decision support systems in the internet of things and supply chain and logistics using web content mining. *Supply Chain Analytics*. 2024. Vol. 6. 100063. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2024.100063>
4. Yuan B. Trends and Hotspots in Intelligent Logistics Research: Insights from a Bibliometric Perspective. In *Proceedings of the 2024 4th International Conference on Computational Modeling, Simulation and Data Analysis*, Hangzhou China, December 6—8, 2024. P. 89—94. <https://doi.org/10.1145/3727993.3728009>
5. Douaioui K., Oucheikh R., Benmoussa O., Mabrouki C. Machine Learning and Deep Learning Models for Demand Forecasting in Supply Chain Management: A Critical Review. *Applied System Innovation*. 2024. Vol. 7, no. 5. 93. <https://doi.org/10.3390/asi7050093>
6. Larson P. D. Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies, David Simchi-Levi Philip Kaminsky Edith Simchi-Levi. *Journal of Business Logistics*. 2001. Vol. 22, no. 1. P. 259—261. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00165.x>
7. Elshaer R., Awad H. A taxonomic review of metaheuristic algorithms for solving the vehicle routing problem and its variants. *Computers & Industrial Engineering*. 2020. Vol. 140. 106242. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106242>
8. Gendreau M., Hertz A., Laporte G. A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem. *Management Science*. 1994. Vol. 40, no. 10. P. 1276—1290. <https://doi.org/10.1287/mnsc.40.10.1276>
9. Zrelli I., Rejeb A. A bibliometric analysis of IoT applications in logistics and supply chain management. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, no. 16. e36578. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36578>
10. Nosov P., Zinchenko S., Ben A., Prokopchuk Y., Mamenko P., Popovych I., Moiseienko V., Kruglyj D. Navigation safety control system development through navigator action prediction by data mining means. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 2, no. 9 (110). P. 55—68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229237>

11. Шаповалова О. О., Камардін А. С., Петухова О. А. Система підтримки прийняття рішень при виконанні логістичних завдань. Системи обробки інформації. 2018. Том 3, № 154. С. 57—63. <https://doi.org/10.30748/soi.2018.154.08>

12. Ільїна І. В., Токарев В. В., Яковлев А. В., Шевченко І. І. Використання системи підтримки прийняття рішень для організації гуманітарної логістики. Системи управління, навігації та зв'язку. 2024. Том 1, № 75. С. 88—90. <https://doi.org/10.26906/sunz.2024.1.088>

References:

1. Katsela, K. (2025), "Viable business models for city logistics: exploring the cost structure and revenue streams of fourteen European cases", *Transportation Research Procedia*, vol. 82, pp. 3889—3899. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2024.12.007>

2. Guerlain, C., Renault, S., Ferrero, F., and Faye, S. (2019), "Decision Support Systems for Smarter and Sustainable Logistics of Construction Sites", *Sustainability*, vol. 11, no. 10, 2762. <https://doi.org/10.3390/su11102762>

3. Kayvanfar, V., Elomri, A., Kerbach, L., Vandchali, H. R., and El Omri, A. (2024), "A review of decision support systems in the internet of things and supply chain and logistics using web content mining", *Supply Chain Analytics*, vol. 6, 100063. <https://doi.org/10.1016/j.sca.2024.100063>

4. Yuan, B. (2024), "Trends and Hotspots in Intelligent Logistics Research: Insights from a Bibliometric Perspective", *Proceedings of the 2024 4th International Conference on Computational Modeling, Simulation and Data Analysis*, Hangzhou, China, December 6—8, pp. 89—94. <https://doi.org/10.1145/3727993.3728009>

5. Douaoui, K., Oucheikh, R., Benmoussa, O., & Mabrouki, C. (2024), "Machine Learning and Deep Learning Models for Demand Forecasting in Supply Chain Management: A Critical Review", *Applied System Innovation*, vol. 7, no. 5, 93. <https://doi.org/10.3390/asi7050093>

6. Larson, P. D. (2001), "Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies, David Simchi-Levi Philip Kaminsky Edith Simchi-Levi", *Journal of Business Logistics*, vol. 22, no. 1, pp. 259—261. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00165.x>

7. Elshaer, R., and Awad, H. (2020), "A taxonomic review of metaheuristic algorithms for solving the vehicle routing problem and its variants", *Computers & Industrial Engineering*, vol. 140, 106242. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106242>

8. Gendreau, M., Hertz, A., & Laporte, G. (1994), "A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem", *Management Science*, vol. 40, no. 10, pp. 1276—1290. <https://doi.org/10.1287/mnsc.40.10.1276>

9. Zrelli, I., & Rejeb, A. (2024), "A bibliometric analysis of IoT applications in logistics and supply chain management", *Heliyon*, vol. 10, no. 16, e36578. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36578>

10. Nosov, P., Zinchenko, S., Ben, A., Prokopchuk, Y., Mamenko, P., Popovych, I., Moiseienko, V., and Kruglyj, D. (2021), "Navigation safety control system development through navigator action prediction by data mining means",

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, vol. 2, no. 9 (110), pp. 55—68. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229237>

11. Shapovalova, O. O., Kamardin, A. S., and Petukhova, O. A. (2018), "Decision support system for logistics tasks. *Information Processing Systems*", vol. 3, no. 154, pp. 57—63. <https://doi.org/10.30748/soi.2018.154.08>

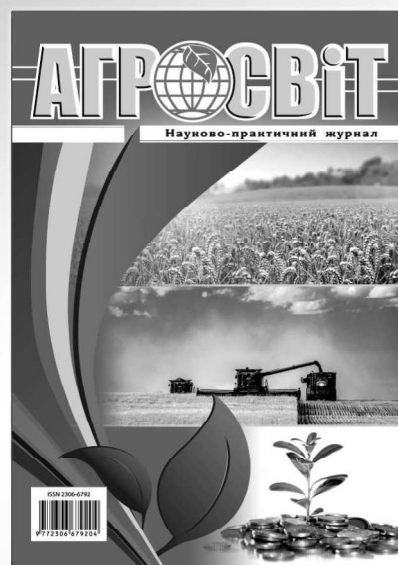
12. Ilina, I., Tokarev, V., Yakovlev, A., & Shevchenko, I. (2024), "Using a decision support system to organize humanitarian logistics", *Control, Navigation and Communication Systems*, vol. 1, no. 75, pp. 88—90. <https://doi.org/10.26906/sunz.2024.1.088>

Стаття надійшла до редакції 27.10.2025 р.

АГРОСВІТ

<https://nayka.com.ua>

Передплатний індекс: 23847



Виходить 24 рази на рік

**Журнал включено до переліку
наукових фахових видань України
з ЕКОНОМІЧНИХ НАУК (Категорія «Б»)**

Спеціальності – 051, 071, 072, 073, 075, 076, 292