

УДК 658.7:519.8:658.72

Б. О. Решетняк,
аспірант, Київський національний економічний університет ім. Вадима Гетьмана
ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-0318-4579>

DOI: 10.32702/2306-6792.2026.2.207

МЕТАМОДЕЛЬ ТА КРИТЕРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ЛОГІСТИЧНОГО АУТСОРСИНГУ

B. Reshetniak,
PhD student, Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman

METAMODEL AND OPTIMIZATION CRITERIA FOR THE SUPPLY CHAIN BASED ON LOGISTICS OUTSOURCING

У статті розглянуто проблему оптимізації ланцюга постачання на основі логістичного аутсорсингу в умовах глобальної конкуренції та зростання складності логістичних систем. Запропоновано багатокритеріальну метамодель, що базується на теорії корисності та дозволяє формалізувати процес вибору оптимальної стратегії аутсорсингу (3PL або 4PL). Модель враховує гетерогенні критерії: фінансові витрати, рівень сервісу, операційні ризики та стратегічну відповідність. Використано методи нормалізації показників і аналізу ієрархій для визначення вагових коефіцієнтів. Розроблений підхід забезпечує комплексну оцінку альтернатив та обґрунтований вибір оптимальної логістичної стратегії для підвищення ефективності та стійкості ланцюга постачання.

The article addresses the challenge of optimizing supply chains through logistics outsourcing under conditions of global competition and increasing complexity of logistics systems. A multi-criteria metamodel based on utility theory is proposed to formalize the decision-making process for selecting the optimal outsourcing strategy (3PL or 4PL). Unlike traditional approaches focused on operational aspects, the developed framework integrates heterogeneous criteria—financial costs, service level, operational risk, and strategic alignment—into a unified optimization function. The metamodel employs additive utility aggregation, supported by linear normalization techniques to ensure comparability of diverse indicators and the Analytic Hierarchy Process (AHP) for determining weight coefficients. This approach enables a structured evaluation of outsourcing alternatives, considering both quantitative and qualitative factors, and facilitates the identification of a compromise solution that maximizes overall utility within given resource constraints.

The research emphasizes the strategic dimension of outsourcing decisions, highlighting the differences between 3PL models, which optimize isolated logistics functions, and 4PL models, which provide integrated supply chain management and long-term adaptability. The proposed methodology offers a universal conceptual tool applicable across industries and scales, supporting enterprises in achieving cost efficiency, service quality, resilience, and strategic growth. Future research directions include empirical validation of the metamodel and development of specialized models for calculating primary criteria values to enhance practical applicability in dynamic business environments.

Additionally, the study contributes to the theoretical advancement of supply chain management by introducing a formalized approach that bridges the gap between operational optimization and strategic decision-making. By leveraging utility theory and multi-criteria analysis, the proposed metamodel ensures transparency and consistency in evaluating complex trade-offs inherent in outsourcing strategies. This makes the framework particularly relevant for companies operating in volatile markets, where adaptability and risk mitigation are critical for sustaining competitive advantage.

Ключові слова: ланцюг постачання, логістичний аутсорсинг, метамодель, оптимізація, теорія корисності, 3PL та 4PL моделі, багатокритеріальний аналіз

Keywords: supply chain, logistics outsourcing, metamodel, optimization, utility theory, 3PL and 4PL models, multi-criteria analysis

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

Оптимізація ланцюга постачання є однією з ключових задач сучасного управління підприємством. Загалом процес оптимізації включає не лише вдосконалення окремих елементів ланцюга, але й інтеграцію його різних функцій, що дозволяє досягти високого рівня ефективності, зниження витрат та підвищення якості обслуговування клієнтів. Раціональне вирішення завдання оптимізації передбачає комплексний підхід, який включає аналіз, планування та управління всіма аспектами ланцюга постачання з метою забезпечення максимального рівня ефективності при мінімальних затратах.

Складність вирішення такого завдання обумовлена визначенням змісту та вибором критеріїв оптимізації ланцюга постачання певного господарюючого суб'єкта. Прийняття рішення про вибір оптимального способу організації ланцюга постачання має базуватися на урахуванні контекстних умов та обмежень, в яких функціонує підприємство, стану галузевої конкуренції та ключових факторів успіху, власних ресурсів компанії та компетенцій його співробітників. Сфера невизначеності та ризиків в прийнятті рішення щодо організації ланцюга постачання окреслюється багатоваріантністю підходів та розмаїттям критеріїв оптимізації в управлінні ланцюгом постачання відповідно до характеру та спрямованості оптимізаційних завдань.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В умовах посилення глобальної конкуренції та ускладнення ланцюгів постачання, підприємства стикаються з необхідністю підвищення

ефективності своєї логістичної діяльності задля забезпечення конкурентоспроможності та виживання бізнесу, зазначає Шарван М. Б. [1].

Chen X., Cheng G., He Y.; Kocaoglu Y. виділяють широкий спектр підходів до оптимізації функціонування ланцюгів постачання: від реінжинірингу бізнес-процесів, цифровізації логістичних операцій та впровадження інформаційних систем управління потоками до перегляду транспортної й складської політики [2; 3]. Однак дедалі більшої популярності набуває стратегічний перехід до моделей логістичного аутсорсингу, насамперед із залученням 4PL-провайдерів, які забезпечують інтегроване управління всім ланцюгом постачання. Наявна внутрішня логістика часто виявляється негнучкою та ресурсозатратною, що робить її не конкурентною альтернативою, а проблемним статус-кво, який потребує вдосконалення. У цьому контексті логістичний аутсорсинг через 3PL/4PL операторів стає перспективним інструментом стратегічної оптимізації.

Проте сам по собі перехід на логістичний аутсорсинг не є універсальним рішенням і не гарантує досягнення бажаного ефекту. Для окремих підприємств характерні специфічні обмеження та вимоги, зумовлені особливостями їх діяльності. Brucker A. D., Yalman S зазначають про підвищені вимоги до конфіденційності інформації, Farhan M. F. Наголошує на стратегічній важливості контролю над окремими логістичними процесами, галузевих регуляторних обмеженнях, а також критичній залежності від стабільності та безперервності поставок [4; 5]. За таких умов стандартні аутсорсингові моделі можуть виявитися непридатними або економічно неефективними.

Крім того, логістичні рішення формуються під впливом сукупності різномірних та часто суперечливих факторів, серед яких ключовими є рівень витрат, якість та швидкість логістично-

го сервісу, рівень операційних і стратегічних ризиків, а також здатність системи до адаптації в умовах нестабільного зовнішнього середовища. Оптимізація за одним критерієм неминує призводити до погіршення інших, що зумовлює багатокритеріальний характер задачі вибору аутсорсингової моделі.

У зв'язку з цим виникає об'єктивна потреба у розробці формалізованого науково-методичного підходу, заснованого на використанні математичних моделей оптимізації. Такий підхід дає змогу кількісно оцінити альтернативні логістичні стратегії, врахувати специфічні обмеження конкретного підприємства та здійснити пошук компромісного рішення, яке забезпечує максимально можливий оптимізаційний ефект у межах заданих умов і ресурсних обмежень.

Класичним інструментарієм для вирішення подібних задач є теорія корисності, яка дозволяє формалізувати процес вибору шляхом агрегування різнорідних критеріїв в єдиний інтегральний показник. Аналіз наукових праць показує, що теорія корисності активно застосовується для моделювання складних економічних систем та оптимізаційних задач у ланцюгах постачання. До поширених напрямів можна віднести вибір постачальників, вибір рівноважної ціни продукції тощо, що виокремлюють Ganapathy S.; Kainuma Y., Tawara N., Narayanan S. Srinivasan K.; A. R. Ravindran [6; 7; 8]. У роботі N. Wang et al. лінійна функція корисності використовується для моделювання поведінкових факторів учасників ланцюга постачання, доводячи, що вони суттєво впливають на розподіл прибутку [9]. Автори Kyparisis G. J., Koulamas C. досліджують існування ринкової рівноваги у багаторівневих ланцюгах, використовуючи загальну функцію корисності споживача та аналізуючи її чутливість до параметрів кривої попиту [10]. У статті Li Y., Wang J. А на основі теорії консенсусу в багатоагентних системах розроблено підхід до визначення оптимальних цінових стратегій, де метою є максимізація загальної функції корисності системи [11]. Y. Li et al. пропонують нову функцію корисності на базі логістичної функції для оптимізації ціноутворення в інтелектуальних енергосистемах, що демонструє універсальність наведеного інструментарію для моделювання складних мережевих систем [12].

Іншим вектором досліджень є двокритеріальні задачі. У праці Ebrahimi M., et al. розглядаються системи виробництва на замовлення, де одночасно максимізуються прибуток виробника та корисність для споживача, що залежить від ціни, якості та уподобань [13].

Одним із ключових етапів у застосуванні підходів на основі теорії корисності є обґрунтоване визначення вагових коефіцієнтів, що відображають пріоритетність критеріїв. Таким методом може слугувати метод аналізу ієрархій (MAI), застосований Basak I., Saaty T.; Lipovetsky S. — один з визнаних та поширених інструментів для вирішення саме цієї задачі. [14; 15]. Його цінність полягає у можливості структурувати проблему у вигляді ієрархії та отримувати кількісні ваги на основі серії попарних порівнянь, що є природним для експертів. Ефективність MAI для вибору логістичних провайдерів та постачальників підтверджується у численних працях; так, у роботі Vijayvargiya A., Deu A. K. розроблено модель вибору 3PL-оператора, що враховує вартість, гнучкість та якість IT-систем, у праці C. L. Tramarico et al. наведено огляд досліджень, де MAI застосовується для вибору постачальників, тоді як робота Sipahi S., Timor M. демонструє широкі можливості методу, зокрема при роботі з невизначеністю [16; 17; 18].

Водночас попри значний науковий доробок, аналіз літератури показує, що більшість досліджень зосереджена переважно на операційних аспектах логістики — ціноутворенні, управлінні запасами, плануванні транспортних потоків — або на тактичних питаннях вибору зовнішнього провайдера. Натомість стратегічний вимір ухвалення рішень щодо моделі аутсорсингу досліджений недостатньо, особливо в частині використання теорії корисності як інструменту обґрунтування оптимального вибору.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ (ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)

Метою статті є визначення комплексу критеріїв та розробка універсальної метамоделі оптимізації ланцюга постачання підприємств на основі логістичного аутсорсингу.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Наявні підходи переважно не дають можливості комплексно узгодити різнорідні критерії, що впливають на ефективність логістичної системи. Бракує методики, яка б дозволяла інтегрувати в одній моделі як кількісні фінансові параметри, так і якісні експертні оцінки, забезпечуючи їх порівнянність і узгодженість.

Крім того, відсутня універсальна модель верхнього рівня, здатна абстрагуватися від конкретних методів розрахунку первинних даних і водночас забезпечувати дослідника концеп-

туальною основою для їх подальшого агрегування у єдину цільову функцію оптимізації. Така модель має виконувати роль гнучкого інструменту, що дозволяє оцінювати стратегічні альтернативи аутсорсингу незалежно від галузі, масштабу підприємства чи специфіки вихідних параметрів.

Передбачаємо, що науковим базисом розробки моделі доречно обрати теорію корисності, основні положення якої можуть бути використані як теоретичне підґрунтя для розробки концептуального підходу та методичного інструментарію побудови моделі оптимізації. Водночас для побудови адекватної оптимізаційної моделі принципово важливим є чітке розмежування філософії управління та оптимізації, яку реалізують 3PL та 4PL-провайдери. Їх відмінність полягає не лише в переліку наданих логістичних послуг, але й насамперед у глибині інтеграції в ланцюг постачання, рівні управлінської відповідальності та масштабі прийнятих оптимізаційних рішень, що зазначають Dyczkowska J.; Vishnu P. K.; Vivaldini M., Pires S., Souza F. [19; 20; 21]:

— Модель 3PL передбачає делегування окремих логістичних функцій зовнішньому оператору з метою підвищення їх операційної ефективності. 3PL-провайдер оптимізує передані йому процеси в межах чітко визначених контрактних параметрів: зниження витрат, підвищення швидкості виконання операцій або поліпшення рівня сервісу. Оптимізація має локальний характер і не змінює логіку побудови ланцюга постачання в цілому. Наприклад, удосконалення маршрутів доставки чи підвищення коефіцієнта використання складських площ відбуваються без перегляду стратегічної доцільності розміщення складів або конфігурації транспортної мережі. За такої моделі підприємство зберігає повний контроль над стратегічними рішеннями та критичними даними, що є важливим для компаній із підвищеними вимогами до конфіденційності та управлінської незалежності;

— 4PL-модель, на відміну від 3PL, ґрунтується на інтегрованому управлінні всім ланцюгом постачання та передбачає перехід оптимізаційної діяльності на стратегічний рівень. 4PL-провайдер виступає логістичним інтегратором, який аналізує мережу постачань у цілому, управляє інформаційними потоками, здійснює координацію діяльності кількох 3PL-операторів та ініціює реінжиніринг бізнес-процесів. Оптимізаційні рішення спрямовані не на окремі функції, а на досягнення глобальних бізнес-цілей клієнта — підвищення адаптив-

ності, стійкості та масштабованості логістичної системи в умовах мінливого зовнішнього середовища. Такий підхід дозволяє досягти синергетичного ефекту за рахунок узгодження рішень на всіх рівнях управління, що робить 4PL-модель найбільш розвиненим інструментом довгострокової стратегічної оптимізації ланцюгів постачання.

Враховуючи вищезазначене, завдання вибору критеріїв зводиться до пошуку оптимального рівня глибини оптимізації, який відповідає пріоритетам підприємства. На цьому міркуванні базуватиметься розробка науково-методичного підходу до обґрунтування вибору стратегії оптимізації ланцюга постачання підприємства на основі математичної метамоделі. Ця модель дозволяє провести порівняльний аналіз альтернативних аутсорсингових стратегій та визначити оптимальний варіант, що максимізує загальний позитивний ефект.

Оцінювання альтернатив здійснюватиметься шляхом формалізованого розрахунку їх інтегральної корисності, що відображає узагальнену перевагу кожного варіанта з урахуванням пріоритетних для підприємства критеріїв оптимізації. Для кожної альтернативи розраховуватиметься функція корисності u_i , яка агрегує часткові оцінки за всіма критеріями з урахуванням їх вагомості. Таким чином, сам процес вибору альтернативи з максимальним значенням функції корисності є актом оптимізації, оскільки він формалізує пошук найкращого компромісу між суперечливими цілями. Формально інтегральна корисність альтернативи може бути подана у вигляді:

$$u_i = \sum_{j=1}^m \alpha_j k_{ij} \rightarrow \max(1),$$

де $u_i, i \in I = \overline{1, n}$ — інтегральна корисність для i -тої стратегії оптимізації, n — кількість альтернатив;

$\alpha_j, j \in J = \overline{1, m}$ — вага j -тої критерію оптимізації, визначена експертним шляхом; m — кількість критеріїв; ваги повинні задовольняти умову: $\sum_{j=1}^m \alpha_j = 1$;

k_{ij} — нормалізована оцінка i -тої альтернативи за j -тим критерієм, що лежить у діапазоні $[0, 1]$.

Варто зазначити, що використання адитивної форми функції корисності (1) ґрунтується на припущенні про взаємну преференційну незалежність критеріїв. Це означає, що перевага, яка надається одному значенню критерію над іншим (наприклад, вищий рівень сервісу),

не залежить від поточних значень інших критеріїв (наприклад, рівня витрат). Для задачі стратегічного вибору таке припущення є прийнятним, оскільки критерії формувалися як максимально ортогональні.

Характерною особливістю обраної системи критеріїв оптимізації є їхня гетерогенність (різнорідність). Вони мають різні одиниці виміру (гроші, відсотки, бали) та, що важливо, різні напрями оптимізації (одні потребують максимізації, інші — мінімізації). Для їх коректного зіставлення та агрегування в рамках єдиної цільової функції оптимізації (1) необхідно привести показники до єдиної безрозмірної шкали.

Для критеріїв, які потрібно максимізувати (наприклад, якість, рівень сервісу, гнучкість), Han J., Kamber M., Pei J використовують формулу лінійної нормалізації [22]:

$$k_{ij} = \frac{k'_{ij} - \min_{i \in I}(k'_{ij})}{\max_{i \in I}(k'_{ij}) - \min_{i \in I}(k'_{ij})} \quad (2),$$

де k'_{ij} — ненормалізоване (початкове) значення критерію j для альтернативи i , виражене у відповідній шкалі (витрати, ризики, відсотки тощо);

$\min_{i \in I}(k'_{ij})$ — мінімальне значення критерію j серед усіх альтернатив $i \in I$;

$\max_{i \in I}(k'_{ij})$ — максимальне значення критерію j серед усіх альтернатив $i \in I$.

У наведеній формулі найкраще значення критерію (максимальне) отримує оцінку 1, а найгірше (мінімальне) — 0.

Для критеріїв, які потрібно мінімізувати (наприклад, витрати, ризики, час доставки), використовується інвертована формула, щоб вищі значення нормалізованого показника k_{ij} також відповідали кращій альтернативі:

$$k_{ij} = \frac{\max_{i \in I}(k'_{ij}) - k'_{ij}}{\max_{i \in I}(k'_{ij}) - \min_{i \in I}(k'_{ij})} \quad (3).$$

У наведеному випадку найкраще значення (мінімальні витрати/ризики) отримує оцінку 1, а найгірше (максимальне) — 0.

Обраний метод лінійної нормалізації є поширеним та адекватним для наведеної задачі, оскільки дані моделі не мають екстремальних викидів, які могли б спотворити результати шкалювання, що забезпечує робастність нормалізованих оцінок. Однак, у разі наявності викидів, варто застосувати інший метод нормалізації серед наявних.

За своєю сутністю, запропонована метамоделі оптимізації логістичного аутсорсингу аб-

страгується від механізмів розрахунку первинних значень критеріїв (k'_{ij}), концентруючись на формалізації процедур їх узагальнення та зіставлення в рамках оптимізаційної задачі. Для практичного застосування метамоделі та отримання обґрунтованих вхідних даних для неї, перейдемо до розробки блоку спеціалізованих моделей. Кожна з них відповідатиме за розрахунок окремого критерію оптимізації (сукупні логістичні витрати, рівень сервісу, рівень ризику та стратегічна відповідність). Цей комплекс моделей дозволить отримати кількісну оцінку оптимізаційного потенціалу кожної аутсорсингової стратегії.

Розроблена метамоделі (1) є інструментом верхнього рівня, що формалізує загальну логіку багатокритеріальної оптимізації логістичного аутсорсингу. Однак її практичне застосування вимагає наповнення обґрунтованими вхідними параметрами, а саме — ненормалізованими значеннями критеріїв (k'_{ij}) для кожної альтернативи. Відтак, метою цього підрозділу є розробка комплексу спеціалізованих моделей нижнього рівня, що дозволяють кількісно виміряти оптимізаційний потенціал кожної аутсорсингової стратегії, формуючи емпіричну основу для подальшого аналізу.

Вибір критеріїв є фундаментальним етапом, що визначає валідність та об'єктивність усього дослідження. Запропонований набір з чотирьох критеріїв ґрунтується на аналізі наукових праць та відповідає сучасним підходам до оцінки ефективності логістичних систем.

Комплекс моделей включає як традиційні кількісні критерії, такі як фінансова ефективність та якість обслуговування клієнтів, значущість яких підкреслюється у дослідженні J. Cai et al., F. Hosseinzadeh Lotfi et al., Yontar E., Ersoz S., так і якісні стратегічні фактори [23; 24; 25]. До останніх належать операційна надійність (ризик) та довгострокова відповідність цілям компанії (стратегічна відповідність), необхідність врахування яких для прийняття обґрунтованих рішень відзначають, зокрема, Yontar E., Ersoz S., наголошуючи на важливості поєднання фінансових та нефінансових показників [25].

Таким чином, обраний комплекс критеріїв забезпечує всебічний та багатовимірний аналіз кожної логістичної альтернативи, охоплюючи наступні аспекти її оптимізаційного впливу:

1. Фінансовий (витрати). Базовий критерій, що відображає економічну ефективність та прямий вплив на прибутковість компанії;

2. Клієнтський (рівень сервісу). Оцінює, наскільки логістична система зможе задовольняти очікування кінцевих споживачів, що безпосередньо впливає на лояльність клієнтів та ринкову позицію;

3. Операційної надійності (рівень ризику). Характеризує здатність альтернативи забезпечити стійкість та стабільність логістичної системи, мінімізуючи ймовірність збоїв та величину потенційних збитків;

4. Стратегічного розвитку (стратегічна відповідність). Цей довгостроковий критерій визначає, наскільки обрана альтернатива підтримує глобальні цілі компанії: зростання, гнучкість, інноваційність та здатність до адаптації. Саме цей аспект найповніше розкриває переваги стратегічної 4PL-оптимізації.

Обрана сукупність критеріїв є необхідною та достатньою: вона комплексно охоплює основні аспекти прийняття стратегічного рішення, критерії є взаємодоповнюючими та максимально ортогональними — вони не дублюють один одного. Водночас, за потреби менеджмент підприємств може адаптувати модель під свої потреби, додаючи або коригуючи моделі.

Гетерогенний характер обраних критеріїв оптимізації унеможлиблює їх розрахунок за допомогою єдиної універсальної моделі. Кожен критерій вимагає власного, специфічного підходу до моделювання, тобто вимагає цілого комплексу спеціалізованих моделей, що зумовлено як логікою вибору самих критеріїв, так і їхньою різноманітною природою:

— витрати є детермінованим, кількісним показником, що розраховується на основі фінансових даних та стандартних методів калькуляції;

— рівень сервісу є композитним показником, що поєднує об'єктивні кількісні дані (статистика з ERP/WMS систем) та суб'єктивні експертні оцінки;

— рівень ризику має імовірнісну природу і моделюється на основі поєднання експертних оцінок ймовірностей та фінансових розрахунків потенційних збитків;

— стратегічна відповідність є повністю якісним, суб'єктивним критерієм, що формалізується виключно на основі експертних суджень топменеджменту.

Саме тому для розрахунку цих показників доцільна розробка комплексу моделей, де кожна модель є самостійним інструментом, адаптованим під специфіку свого критерію. Проте вони утворюють єдиний методичний комплекс,

оскільки об'єднані спільною метою: отримати вхідні параметри для метамоделі та забезпечити обґрунтовану оцінку оптимізаційного потенціалу кожної альтернативи.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Розроблений комплексний теоретико-методологічний інструментарій дозволяє вирішити завдання вибору принципів та критеріїв оптимізації ланцюгв постачання підприємства на засадах теорії корисності. Запропонована багатокритеріальна метамоделі, що ґрунтується на положеннях теорії корисності, дозволяє агрегувати різноманітні показники в єдиний інтегральний критерій — функцію корисності (u_i), що робить можливим об'єктивне порівняння та ранжування стратегічних альтернатив організації ланцюга постачання. В моделюванні взято до уваги, що набір альтернатив обмежується двома варіантами логістичного аутсорсингу: послугами компаній операторів 3PL та 4PL послуг, що відповідає сучасним стратегіям управління ланцюгом постачання в умовах поширення технологій Індустрії 4.0, глобалізаційних та інтеграційних трендів.

Література:

1. Шарван М. Б., Устенко А. О. Оптимізація логістичних процесів у постачальницько-збутовій системі підприємства. Соціальний розвиток: економіко-правові проблеми. 2025. № 4. С. 9. DOI: <https://doi.org/10.70651/3083-6018/2025.4.20>.
2. Chen X., Cheng G., He Y. Mathematical modeling and optimization of platform supply chain in the digital era: a systematic review. *Mathematics*. 2025. Vol. 13, no. 17. P. 2863. DOI: <https://doi.org/10.3390/math13172863>
3. Kocaoglu Y., Taskin Gumus A., Kocaoglu B. Supply chain optimization studies: a literature review and classification. *Dogus universitesi dergisi*. 2018. Vol. 1, no. 19. P. 79—98. DOI: <https://doi.org/10.31671/dogus.2018.16>.
4. Brucker A. D., Yalman S. Ensuring confidentiality in supply chains with an application to life-cycle assessment. *Journal of software: evolution and process*. 2025. Vol. 37, no. 1. DOI: <https://doi.org/10.1002/smr.2763>
5. Farhan M. F. Supply chain strategy to support the independence of the defense industry. *International journal of social science research and review*. 2023. Vol. 6, no. 1. P. 177—185. DOI: <https://doi.org/10.47814/ijssrr.v6i1.774>.

6. Ganapathy S., Narayanan S., Srinivasan K. Simulation based decision support for supply chain logistics. 2003 winter simulation conference, New Orleans, LA, USA. DOI: <https://doi.org/10.1109/wsc.2003.1261524>.

7. Kainuma Y., Tawara N. A multiple attribute utility theory approach to lean and green supply chain management. *International journal of production economics*. 2006. Vol. 101, no. 1. P. 99—108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.-05.010>.

8. Multiple criteria decision making in supply chain management / ed. by A.R. Ravindran. Boca Raton, FL: CRC Press, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781315371450>

9. Supply chain contracting with linear utility function / N. Wang et al. *International journal of information systems and supply chain management*. 2017. Vol. 10, no. 2. P. 1—20. DOI: <https://doi.org/10.4018/ijisscm.2017040101>.

10. Kyparisis G. J., Koulamas C. Competition in two-tier serial and assembly supply chains with general consumer utility functions. *International journal of production research*. 2018. Vol. 56, no. 17. P. 5854—5865. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1478463>.

11. Li Y., Wang J. A simulation-based study on the optimal pricing strategy of supply chain system. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, no. 14. P. 11307. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151411307>.

12. The real-time pricing optimization model of smart grid based on the utility function of the logistic function / Y. Li et al. *Energy*. 2021. Vol. 224. P. 120172. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.-2021.120172>.

13. Ebrahimi M., Tavakkoli-Moghaddam R., Jolai F. Bi-objective build-to-order supply chain problem with customer utility. *International journal of engineering*. 2018. Vol. 31, no. 7. DOI: <https://doi.org/10.5829/ije.2018.31.07a.09>.

14. Basak I., Saaty T. Group decision making using the analytic hierarchy process. *Mathematical and computer modelling*. 1993. Vol. 17, no. 4—5. P. 101—109. DOI: [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(93\)90179-3](https://doi.org/10.1016/0895-7177(93)90179-3).

15. Lipovetsky S. Understanding the analytic hierarchy process. *Technometrics*. 2021. Vol. 63, no. 2. P. 278—279. DOI: <https://doi.org/10.1080/00401706.2021.1904744>.

16. Vijayvargiya A., Dey A. K. An analytical approach for selection of a logistics provider. *Management decision*. 2010. Vol. 48, no. 3. P. 403—418. DOI: <https://doi.org/10.1108/002517410-11037774>.

17. Analytic hierarchy process and supply chain management: a bibliometric study / C. L.

Tramarico et al. *Procedia computer science*. 2015. Vol. 55. P. 441—450. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.005>.

18. Sipahi S., Timor M. The analytic hierarchy process and analytic network process: an overview of applications. *Management decision*. 2010. Vol. 48, no. 5. P. 775—808. DOI: <https://doi.org/10.1108/00251741011043920>.

19. Dyczkowska J. 4pl logistics operator in the supply chain. *Zeszyty naukowe akademii sztuki wojennej*. 2018. Vol. 110, no. 1. P. 25—36. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.1461>.

20. Vishnu P. K. The strategic role of 3PL in modern supply chain management. *World journal of advanced engineering technology and sciences*. 2025. Vol. 15, no. 1. P. 1029—1036. DOI: <https://doi.org/10.30574/wjaets.2025.15.1.0323>.

21. Vivaldini M., Pires S., Souza F. B. d. Collaboration and Competition between 4PL and 3PL: a study of a fast-food supply chain. *Journal of operations and supply chain management*. 2008. Vol. 1, no. 2. P. 17. DOI: <https://doi.org/10.12660/joscmv1n2p17-29>

22. Han J., Kamber M., Pei J. Advanced pattern mining. *Data mining*. 2012. P. 279—325. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-381479-1.1.00007-1>

23. Improving supply chain performance management: A systematic approach to analyzing iterative KPI accomplishment / J. Cai et al. *Decision support systems*. 2009. Vol. 46, no. 2. P. 512—521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dss.2008.09.004>

24. Supply chain performance evaluation / F. Hosseinzadeh Lotfi et al. Cham: Springer International Publishing, 2023

25. Yontar E., Ersoz S. Closed loop supply chain management performance evaluation criteria. *Turkish journal of engineering*. 2019. Vol. 3, no. 14. P. 157—167. DOI: <https://doi.org/10.31127/tuje.503959>

References:

1. Sharvan, M. B., and Ustenko, A. O. (2025), "Optimization of logistics processes in the supply and distribution system of the enterprise", *Sotsialnyi rozvytok: ekonomiko-pravovi problemy*, vol. 4, pp. 9. <https://doi.org/10.70651/3083-6018/2025.4.20>

2. Chen, X., Cheng, G., and He, Y. (2025), "Mathematical modeling and optimization of platform supply chain in the digital era: A systematic review", *Mathematics*, vol. 13, no. 17, pp. 2863. <https://doi.org/10.3390/math13172863>

3. Kocaoglu, Y., Taskin Gumus, A., and Kocaoglu, B. (2018), "Supply chain optimization

studies: A literature review and classification", *Dogus Universitesi Dergisi*, vol. 19, no. 1, pp. 79—98. <https://doi.org/10.31671/dogus.2018.16>

4. Brucker, A. D., and Yalman, S. (2025), "Ensuring confidentiality in supply chains with an application to life-cycle assessment", *Journal of Software: Evolution and Process*, vol. 37, no. 1. <https://doi.org/10.1002/smr.2763>

5. Farhan, M. F. (2023), "Supply chain strategy to support the independence of the defense industry", *International Journal of Social Science Research and Review*, vol. 6, no. 1, pp. 177—185. <https://doi.org/10.47814/ijssrr.v6i1.774>

6. Ganapathy, S., Narayanan, S., and Srinivasan, K. (2003), "Simulation based decision support for supply chain logistics", 2003 Winter Simulation Conference, New Orleans, LA, USA. <https://doi.org/10.1109/wsc.2003.1261524>

7. Kainuma, Y., and Tawara, N. (2006), "A multiple attribute utility theory approach to lean and green supply chain management", *International Journal of Production Economics*, vol. 101, no. 1, pp. 99—108. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2005.05.010>

8. Ravindran, A. R. (2021), "Multiple criteria decision making in supply chain management", CRC Press, Boca Raton, USA <https://doi.org/10.1201/9781315371450>

9. Wang, N., et al. (2017), "Supply chain contracting with linear utility function", *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, vol. 10, no. 2, pp. 1—20. <https://doi.org/10.4018/ijisscm.2017040101>

10. Kyparisis, G. J., and Koulamas, C. (2018), "Competition in two-tier serial and assembly supply chains with general consumer utility functions", *International Journal of Production Research*, vol. 56, no. 17, pp. 5854—5865. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1478463>

11. Li, Y., and Wang, J. (2023), "A simulation-based study on the optimal pricing strategy of supply chain system", *Sustainability*, vol. 15, no. 14, pp. 11307. <https://doi.org/10.3390/su151411307>

12. Li, Y., et al. (2021), "The real-time pricing optimization model of smart grid based on the utility function of the logistic function", *Energy*, vol. 224, pp. 120172. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120172>

13. Ebrahimi, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., and Jolai, F. (2018), "Bi-objective build-to-order supply chain problem with customer utility", *International Journal of Engineering*, vol. 31, no. 7. <https://doi.org/10.5829/ije.2018.31.07a.09>

14. Basak, I., and Saaty, T. (1993), "Group decision making using the analytic hierarchy pro-

cess", *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 17, no. 4—5, pp. 101—109. [https://doi.org/10.1016/0895-7177\(93\)90179-3](https://doi.org/10.1016/0895-7177(93)90179-3)

15. Lipovetsky, S. (2021), "Understanding the analytic hierarchy process", *Technometrics*, vol. 63, no. 2, pp. 278—279. <https://doi.org/10.1080/00401706.2021.1904744>

16. Vijayvargiya, A., and Dey, A. K. (2010), "An analytical approach for selection of a logistics provider", *Management Decision*, vol. 48, no. 3, pp. 403—418. <https://doi.org/10.1108/0025174-1011037774>

17. Tramarico, C. L., et al. (2015), "Analytic hierarchy process and supply chain management: A bibliometric study", *Procedia Computer Science*, vol. 55, pp. 441—450. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.005>

18. Sipahi, S., and Timor, M. (2010), "The analytic hierarchy process and analytic network process: An overview of applications", *Management Decision*, vol. 48, no. 5, pp. 775—808. <https://doi.org/10.1108/00251741011043920>

19. Dyczkowska, J. (2018), "4PL logistics operator in the supply chain", *Zeszyty Naukowe Akademii Sztuki Wojennej*, vol. 110, no. 1, pp. 25—36. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.1461>

20. Vishnu, P. K. (2025), "The strategic role of 3PL in modern supply chain management", *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, vol. 15, no. 1, pp. 1029—1036. <https://doi.org/10.30574/wjaets.2025.15.1.0323>

21. Vivaldini, M., Pires, S., and Souza, F. B. d. (2008), "Collaboration and competition between 4PL and 3PL: A study of a fast-food supply chain", *Journal of Operations and Supply Chain Management*, vol. 1, no. 2, pp. 17—29. <https://doi.org/10.12660/joscmvln2p17-29>

22. Han, J., Kamber, M., and Pei, J. (2012), "Advanced pattern mining", *Data Mining: Concepts and Techniques (Third Edition)*, pp. 279—325. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-381479-1.00007-1>

23. Cai, J., et al. (2009), "Improving supply chain performance management: A systematic approach to analyzing iterative KPI accomplishment", *Decision Support Systems*, vol. 46, no. 2, pp. 512—521. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2008.09.004>

24. Hosseinzadeh Lotfi, F., et al. (2023), "Supply chain performance evaluation", Springer International Publishing, Cham, Switzerland

25. Yontar, E., and Ersoz, S. (2019), "Closed loop supply chain management performance evaluation criteria", *Turkish Journal of Engineering*, Vol. 3, no. 14, P. 157—167. <https://doi.org/10.31127/tuje.503959>

Стаття надійшла до редакції 08.01.2026 р.