

УДК 69.009:658.7

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.301024.142.1103

## ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИКОЮ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ НА БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКАХ: ДОСЛІДЖЕННЯ НАЙКРАЩИХ ПРАКТИК І СТРАТЕГІЙ

СОКОЛОВ І. А.<sup>1</sup>, *докт. техн. наук, проф.*,  
ШОНІЯ І. Д.<sup>2\*</sup>, *асп.*

<sup>1</sup> Кафедра організації і управління будівництвом, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.+38 (067) 628-77-77, e-mail: [sokolov.ihor@pdaba.edu.ua](mailto:sokolov.ihor@pdaba.edu.ua); [sokolov.ihor@365.pdaba.edu.ua](mailto:sokolov.ihor@365.pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

<sup>2\*</sup> Кафедра організації і управління будівництвом, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.+38 (063) 410-63-81, e-mail: [shoniyairakliy@gmail.com](mailto:shoniyairakliy@gmail.com)

**Анотація. Постановка проблеми.** У цій статті детально розглядається важливість оптимізації управління логістикою на будівельних майданчиках, яка виступає ключовим елементом для підвищення загальної ефективності та продуктивності в сучасній будівельній індустрії. В умовах зростаючої конкуренції та складності будівельних проєктів, ефективне логістичне управління стає критичним фактором успіху. Значні перевитрати бюджету та затримки у виконанні будівельних проєктів часто пов'язані з неефективним логістичним менеджментом, особливо через повторне виконання робіт, помилки у постачанні матеріалів та недоліки в координації дій між різними учасниками проєкту. Це призводить до зайвих витрат, втрати часу та зниження якості виконання робіт. **Мета дослідження.** Стаття зосереджується на розробці та впровадженні нових стратегій та методів оптимізації логістики на будівельних майданчиках. Це включає в себе ефективне управління матеріальними ресурсами, поліпшення процесів зберігання та доставки будівельних матеріалів, а також інтеграцію різних аспектів логістичного ланцюга з використанням сучасних інформаційних технологій. Дослідження включає глибокий аналіз наявної літератури та поточних практик на будівельних майданчиках, що дозволяє виявити основні проблеми та визначити ключові виклики та можливості для покращення. **Методологія.** Для досягнення поставленої мети використовуються методи системного аналізу, порівняльних досліджень та моделювання логістичних процесів. Аналізуються реальні кейси з будівельної практики, проводяться опитування експертів та спеціалістів у галузі логістики та будівництва. **Висновки.** Результати дослідження можуть бути корисними для покращення процесів управління логістикою на будівельних майданчиках, що сприятиме зниженню втрат ресурсів та підвищенню ефективності у будівельній індустрії. Також стаття вносить важливий вклад у розуміння критичної важливості логістичного менеджменту в сучасному будівництві та пропонує конкретні рекомендації та практичні інструменти для його покращення. Це може сприяти підвищенню конкурентоспроможності будівельних компаній та розвитку галузі в цілому.

**Ключові слова:** оптимізація логістики; будівництво; ефективність; управління ресурсами; планування майданчика; IoT

## OPTIMIZATION OF LOGISTICS MANAGEMENT TO INCREASE EFFICIENCY AT CONSTRUCTION SITES: RESEARCH OF BEST PRACTICES AND STRATEGIES

SOKOLOV I.A.<sup>1</sup>, *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,  
SHONIYA I.D.<sup>2\*</sup>, *Postgrad. Stud.*

<sup>1</sup> Department of Organisation and Management in Construction, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (067) 628-77-77, e-mail: [sokolov.ihor@pdaba.edu.ua](mailto:sokolov.ihor@pdaba.edu.ua); [sokolov.ihor@365.pdaba.edu.ua](mailto:sokolov.ihor@365.pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0001-8366-4301

<sup>2\*</sup> Department of Organisation and Management in Construction, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel.+38 (063) 410-63-81, e-mail: [shoniyairakliy@gmail.com](mailto:shoniyairakliy@gmail.com)

**Abstract. Problem Statement.** Problem Statement. This article provides a detailed examination of the importance of optimizing logistics management on construction sites, which serves as a key element for enhancing overall efficiency and productivity in the modern construction industry. In the context of increasing competition and complexity of construction projects, effective logistics management becomes a critical success factor. Significant budget overruns and delays in the execution of construction projects are often associated with inefficient logistics management, especially due to rework, errors in material supply, and deficiencies in coordination among different project participants. This leads to unnecessary expenses, loss of time, and a decrease in the quality of work performed. **The purpose of this study.** The article focuses on the development and implementation of new strategies and methods for optimizing logistics on construction sites. This includes effective management of material resources, improvement of storage and delivery processes of construction materials, as well as the integration of various aspects of the logistics chain using modern information technologies. The research involves an in-depth analysis of existing literature and current practices on construction sites, which allows identifying the main problems and determining key challenges and opportunities for improvement. **Methodology.** To achieve the set goal, methods of system analysis, comparative studies, and modeling of logistics processes are used. Real cases from construction practice are analyzed, and surveys of experts and specialists in the fields of logistics and construction are conducted. **Conclusions.** The research results can be useful for improving logistics management processes on construction sites, which will contribute to reducing resource losses and increasing efficiency in the construction industry. The article also makes an important contribution to understanding the critical importance of logistics management in modern construction and offers specific recommendations and practical tools for its improvement. This can promote the competitiveness of construction companies and the development of the industry as a whole.

**Keywords:** *logistics optimization; construction; efficiency; resource management; site planning; IoT*

**Постановка проблеми.** Оптимізація управління логістикою на будівельних майданчиках відіграє ключову роль у забезпеченні ефективності та дотриманні термінів реалізації будівельних проектів. Неадекватне управління логістикою може призвести до значних затримок, збільшення витрат та зниження продуктивності. Основним викликом є повторне виконання робіт, зумовлене помилками у плануванні або виконанні, що є однією з головних причин перевитрат і часових затримок.

Проблеми з ефективним управлінням матеріалами та ресурсами, такі як втрати матеріалів та надмірні запаси, також сприяють зайвим витратам. Змінність умов будівництва, включаючи непередбачувані затримки, неправильне планування поставок, та недоліки у координації між учасниками проекту, значно впливають на логістичну ефективність. Ці фактори не тільки підвищують витрати, але й знижують якість та продуктивність.

Недостатня координація між різними етапами будівельного проекту також є значною проблемою, що веде до збоїв у логістичних операціях та впливає на ефективність проекту в цілому. Щоб вирішити ці проблеми, потрібно розробити ефективні стратегії та методи для поліпшення планування, координації та

виконання логістичних завдань. Це включає застосування сучасних технологій, покращення комунікації та координації між учасниками проекту, а також впровадження інноваційних підходів у логістичному менеджменті.

**Мета дослідження.** Метою цієї статті є всебічне дослідження та ідентифікація ефективних стратегій для покращення логістичних процесів на будівельних об'єктах. Основні цілі дослідження включають аналіз поточного стану логістичних процесів, оцінку існуючих методів управління логістикою з акцентом на виявлення основних проблем та викликів.

Також важливо дослідити вплив різних аспектів, таких як планування поставок, управління матеріалами, інтеграція технологічних інновацій, зокрема IoT та автоматизоване управління запасами, на ефективність логістики.

Дослідження також передбачає огляд нових підходів і методик оптимізації, включаючи інтеграцію сучасних технологій, таких як використання AI для прогнозування потреб у матеріалах, та вдосконалення процесів планування. Важливо також проаналізувати, як впровадження цих стратегій може підвищити ефективність, знизити витрати та

скоротити часові рамки виконання будівельних проєктів.

Стаття подає конкретні рекомендації та приклади успішного впровадження виявлених стратегій оптимізації. Ці цілі спрямовані на глибоке розуміння проблем в логістиці будівництва та розробку інноваційних підходів для їх вирішення, що відкриває нові горизонти для підвищення ефективності та продуктивності у цій важливій сфері.

**Аналіз публікацій.** Було розглянуте дослідження, опубліковане в «Frontiers in Built Environment» [1]. Воно було зосереджене на аналітиці впливу логістичних аспектів у сфері будівництва. Метою дослідження було визначення ключових факторів, які впливають на ефективне використання ресурсів та енергії на будівельних об'єктах. Використовуючи метод Дельфі, залучаючи 28 фахівців із Техасу, дослідники проаналізували 13 логістичних факторів. Значною мірою вони виявили, що кваліфікація монтажників, технології, ефективне планування, а також управління матеріалами є вирішальними для мінімізації відходів.

Цікаво, що дослідження висвітлює Дельфі як метод, що дозволяє враховувати різні думки експертів та досягати консенсусу. Цей підхід виявив п'ять факторів, які визначають ефективність роботи на будівельному майданчику. Ключові висновки дослідження підкреслюють вплив цих логістичних факторів на якість будівельних процесів, в тому числі на зменшення відходів і використання енергії [1].

Інше дослідження, що було проведене у Відні [2], розкриває інноваційні підходи до вдосконалення логістики в міському будівництві. Воно відкриває шляхи до координації робочих сил, забезпечення своєчасної доставки та ефективного зберігання будматеріалів. Підхід передбачає ієрархічну оптимізаційну модель, яка інтегрує як тактичне, так і оперативне планування логістики.

На тактичному рівні, дослідження визначає щотижневі плани задач, що

враховують доступність ресурсів на різних етапах будівництва. Оперативне планування включає в себе щоденне управління доставкою матеріалів, використовуючи маршрутизацію запасів для визначення оптимальних шляхів доставки.

Розв'язання цих завдань базується на змішаному цілочисельному програмуванні та використанні програмного забезпечення CPLEX, що дозволяє ефективно вирішувати складні оптимізаційні задачі. Тестування цього методу проводилося на реальних даних із Відня, де враховувалися різноманітні будівельні характеристики, задачі, транспортні витрати та інші обмеження.

Результати свідчать, що ієрархічна модель логістики покращує координацію, доставку та зберігання матеріалів, оптимізує використання ресурсів та знижує транспортні витрати. Тактичне планування включає в себе екологічні аспекти та штрафи за затримки, а оперативне – адаптується до непередбачуваних змін і потреб. Експериментальні дані вказують на значне скорочення часу виконання проєктів, транспортних витрат, персональних витрат, штрафів та витрат на зберігання у порівнянні з традиційними підходами [2].

Також у сфері управління будівництвом відбулося значне дослідження [3], спрямоване на розробку системи планування логістики матеріалів, відомої як Congested Construction Logistics Planning (C2LP).

Основна мета цієї ініціативи полягала у вдосконаленні управління обмеженим простором на переповнених будівельних майданчиках. Інноваційний підхід системи C2LP полягав у оптимізації простору для зберігання матеріалів, інтегруючи ключові фактори, такі як час доставки, наявність простору та логістичні витрати, з метою зниження загальних витрат на логістику та підвищення ефективності управління ресурсами.

Це дослідження було унікальним завдяки використанню генетичних алгоритмів для розробки та аналізу

найбільш ефективних планів логістики матеріалів (рис. 1) [3].

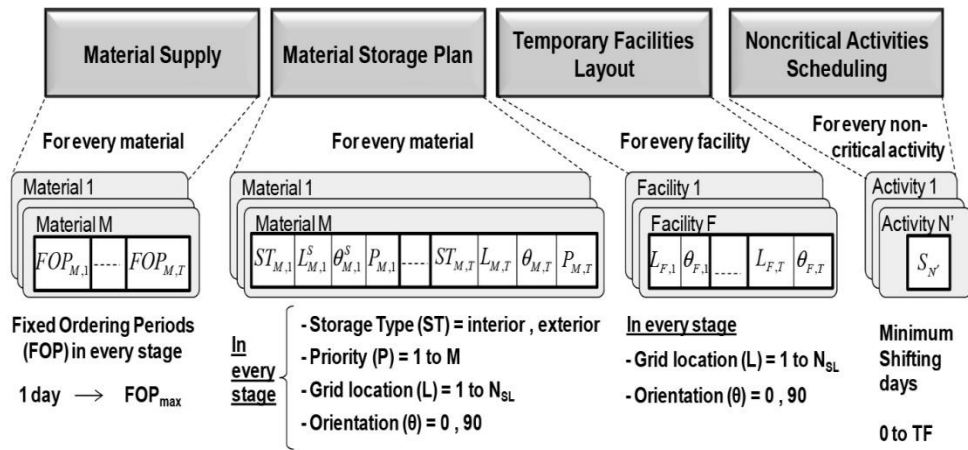


Рис. 1. Оптимізація рішень у системі C2LP змінними параметрами

Генетичні алгоритми, інспіровані природним добром, були використані для визначення оптимальних стратегій розміщення та переміщення матеріалів, дозволяючи симулювати різні сценарії логістики та оптимізувати використання простору.

Оцінка ефективності системи C2LP була здійснена на основі реальних даних з будівництва багатоповерхової будівлі.

Результати дослідження [3] показали, що система виявилася ефективною у зниженні витрат на логістику та оптимізації використання обмеженого простору на переповнених будівельних майданчиках, а також у покращенні управління матеріальними ресурсами, що є ключовим аспектом успішного ведення будівельних проектів (рис. 2) [3].

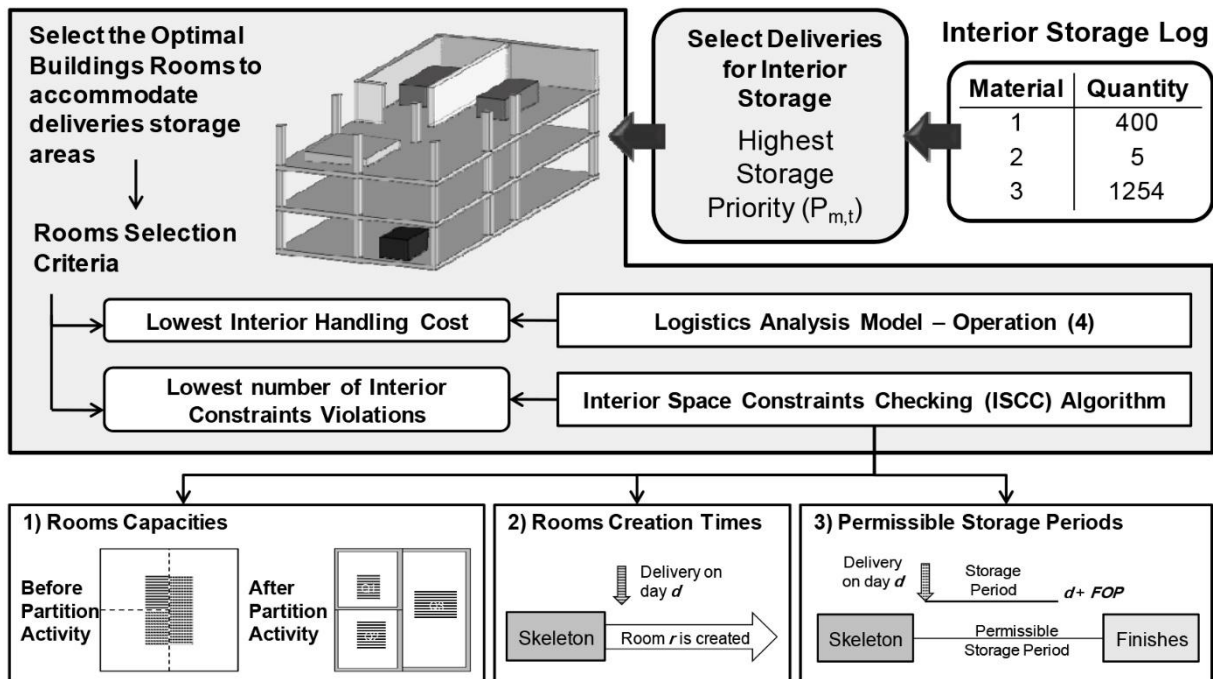


Рис. 2. Розподіл внутрішніх просторів будівлі для зон зберігання матеріалів

У підсумку, дослідники підкреслили важливість системи C2LP у контексті оптимізації логістики.

Ці результати відкривають шляхи для ширшого застосування системи C2LP у будівельній галузі як ефективного інструменту логістичного управління [3].

Науковці зі США, які займались оптимізацією логістичного планування [4], сконцентрували свої зусилля на створенні моделі, яка спрямована на поліпшення координації логістики матеріалів у контексті будівельних проектів. Основною метою було зниження логістичних витрат та оптимізація взаємодії між процесами постачання матеріалів та їх розташуванням на будівельному майданчику. Розроблена модель включала в себе розв'язання проблем, пов'язаних із доставкою, зберіганням матеріалів, а також вибором найефективніших методів для їх розподілу та використання.

Дослідження [4] базувалося на створенні комплексної моделі, яка складається з двох ключових модулів: модулю логістики постачання та модулю логістики місця розташування. Ці модулі аналізують залежності між рішеннями щодо постачання матеріалів та їх плануванням на будівельному майданчику. Для оптимізації рішень були використані генетичні алгоритми, які дозволяють аналізувати різні сценарії та вибрати найефективніші стратегії.

Аналіз був проведений з використанням даних про постачальників, будівельні майданчики, витрати на покупки, доставку, а також детальний будівельний графік. Ці дані допомогли дослідникам визначити критичні фактори, що впливають на логістику матеріалів. Результати дослідження [4] підтвердили, що ефективна координація між постачанням та розміщенням матеріалів може істотно знизити витрати та покращити продуктивність. Виявлено, що інтегрований підхід до логістики запобігає затримкам у поставках, неефективному використанню простору та загальному зниженню продуктивності.

Науковці наголошують на важливості інтеграції та оптимізації логістичних рішень для зниження витрат у будівництві. Розроблена модель демонструє свою здатність ефективно координувати постачання матеріалів та їх розміщення на будівельних майданчиках, тим самим знижуючи витрати та підвищуючи продуктивність [4].

У майбутньому можливість включення додаткових аспектів логістики, таких як планування маршрутів для транспортування, управління запасами, координація між різними учасниками проекту, а також врахування екологічних та безпекових стандартів. Це може призвести до розробки більш комплексних та ефективних логістичних стратегій, які допоможуть знизити витрати, підвищити продуктивність та зменшити вплив на довкілля [4].

Ще один метод оптимізації був висвітлений у статті [5]. Він полягає у використанні сучасних технологій для автоматизації складських та логістичних процесів. Автори проаналізували переваги та труднощі, пов'язані з автоматизацією, наголошуючи на успішних прикладах впровадження робототехніки у провідних компаніях, таких як Amazon, ІКЕА та Tesla.

Вони вважають, що роботизація складів є ключовим елементом для підвищення ефективності, безпеки та зниження витрат, підкреслюючи важливість адаптації автоматизації до специфіки кожного бізнесу, а також використання передових технологій в області управління, навігації та захисту даних. Особлива увага приділяється архітектурі Інтернету речей (IoT), яка включає в себе розумні пристрої, IoT-додатки та інтерфейси користувача. Ці компоненти забезпечують взаємодію людини з різними IoT-пристроями, а також аналізують та обробляють дані з допомогою машинного навчання та штучного інтелекту.

Автори підкреслюють, що Інтернет речей охоплює широкий спектр пристроїв, які можуть бути підключені до Інтернету та включені в IoT-мережу [5].

Ключовими аспектами для майбутніх досліджень в цьому напрямці є оцінка

ефективності роботизації, забезпечення безпеки та надійності роботів, баланс між роллю людини та роботів, адаптацію роботизації до різних умов і потреб, а також соціальні та етичні аспекти роботизації [5].

Науковці зі США розробили та впровадили інноваційну автоматизовану систему оптимізації логістики будівництва під назвою «Automated Multi-objective Construction Logistics Optimization System» (AMCLOS) [6].

Ця система створена для допомоги організаторам будівництва у вирішенні завдань, пов'язаних із плануванням закупівель та зберіганням матеріалів на будівельних майданчиках, враховуючи їх особливості та умови.

Також система забезпечує легке введення даних про графік будівництва. AMCLOS інтегрує ці дані, полегшуючи аналіз просторово-часових зв'язків.

Ключовою особливістю AMCLOS є використання багатокритеріальної оптимізації та алгоритмів для мінімізації витрат на планування логістики та зменшення ризику затримок у графіках проектів.

Система AMCLOS [6] включає модулі для вилучення просторових даних, планування логістики будівництва та оптимізації логістики.

Застосування системи AMCLOS було продемонстровано на прикладі реального проекту будівництва житлового комплексу.

Однією з унікальних можливостей AMCLOS є автоматизоване вилучення просторових даних з електронних документів проектування, включаючи моделі будівлі Building Information Modeling (BIM) (рис. 3) [6].

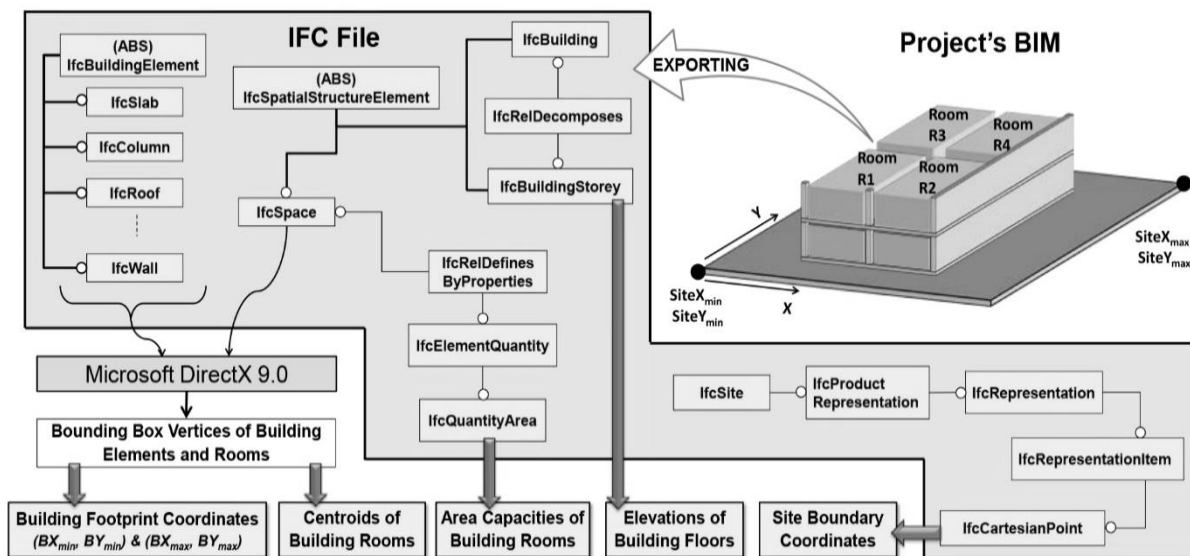


Рис. 3. Скорочена блок-схема процесу отримання просторових даних

В результаті система AMCLOS виявилася ефективним інструментом для планування логістики, дозволяючи враховувати динамічні умови будівельного майданчика та багатокритеріальні цілі проекту та сприяла зниженню витрат на логістику, мінімізації ризиків затримок та підвищенню ефективності використання простору.

В перспективі дослідження також відкрило нові напрямки для подальших досліджень. Наприклад розширення функціоналу AMCLOS для різних проектів та логістичних завдань, інтеграція з іншими системами управління проектами та оцінка ефективності AMCLOS порівняно з іншими методами планування логістики, вдосконалення інтерфейсу програмного

забезпечення та візуалізації AMCLOS для зручності користувачів.

Ще одне цікаве дослідження в питанні оптимізації логістики було проведене в Швеції [7]. Це дослідження було зосереджене на аналізі транспортних моделей доставки будівельних матеріалів на 13 шведських будівельних майданчиках, включаючи час обороту. Дослідники застосували кількісний підхід, використовуючи вторинні дані, зібрані через системи бронювання, щоб оцінити вплив різних факторів на кількість транспортів, час доставки, типи транспортних засобів і вантажів, а також час обороту для різних типів доставок [7].

Автори вважали, що існують значні можливості для підвищення ефективності логістики будівництва за допомогою кращого планування та координації доставок. Вони запропонували розподіляти доставки протягом дня та тижня, а також об'єднувати менші вантажі, щоб скоротити кількість транспортів і час обороту [7].

У якості метода дослідження вони використали багатокейсовий підхід, який включав тип, розмір та вартість будівельних проєктів, та обирав проєкти на основі доступних даних про вагу, час, транспортний засіб і обладнання для розвантаження.

Для підвищення якості даних та підтвердження результатів аналізу проводилися зустрічі з логістичним консультантом [7].

За результатами дослідження були виявлені наступні важливі висновки:

- значна варіація у кількості транспортів та часі обороту серед різних проєктів;
- більшість доставок на 12 з 13 проєктів відбуваються між 07:00 та 09:00 від понеділка до четверга;
- вантажівки є найпоширенішим засобом доставки, а довгі товари та стандартні європіддони - найпоширенішим вантажем;
- час обороту варіюється від мінімуму до максимуму серед різних проєктів;

- товари, які потребують обробки краном, та легкі товари займають найбільше часу на оборот.

Це дослідження висвітлює ряд питань для майбутніх досліджень, зокрема щодо факторів, які впливають на різницю в кількості транспортів та часі обороту між проєктами, можливості зміни моделей доставки в будівництві, тощо [7].

**Наукова новизна.** Дослідження полягає у впровадженні новітнього підходу до управління логістикою, який поєднує традиційні методи з сучасними технологіями та інноваційними практиками. Такий підхід дозволяє створити більш ефективні та гнучкі логістичні системи для будівельних майданчиків, адаптовані до швидкозмінних умов роботи. Окрім того, застосування передових технологій, таких як, Інтернет речей (IoT), штучний інтелект та блокчейн, відіграє ключову роль у оптимізації логістичних процесів. Ці технології забезпечують можливість відстежувати та управляти логістичними потоками в реальному часі, підвищуючи точність і прозорість робочих процесів.

Наукова значимість дослідження також полягає у глибокому аналізі впливу логістики на загальну ефективність будівельних проєктів. Це включає розгляд аспектів витрат, часу, якості та стійкості. Дослідження пропонує інноваційні стратегії для управління логістикою, засновані на аналізі реальних випадків та актуальних досліджень, які спрямовані на підвищення гнучкості, зниження витрат та покращення координації між різними етапами будівництва.

Крім того, це дослідження вносить значний вклад у практичну сферу будівництва, пропонуючи конкретні методики та рекомендації для їх впровадження на будівельних майданчиках. Результати базуються на об'єктивних даних та глибокому аналізі, що забезпечує їх практичну цінність. Таким чином, аспекти новизни цього дослідження сприяють розвитку логістичної теорії та практики в сфері будівництва.

**Загальні висновки.** Інтегрований підхід до управління логістикою є необхідним для ефективної роботи на будівельних майданчиках. Він передбачає використання сучасних технологій, таких як IoT для моніторингу поставок у реальному часі, що дозволяє зменшувати витрати, оптимізувати часові рамки та підвищувати якість робіт.

Застосування новітніх технологій, включно з IoT, штучним інтелектом і блокчейном, відкриває нові можливості для управління логістикою. Ці інструменти забезпечують більшу прозорість, точність та ефективність. Особливо це помітно на прикладі блокчейна, який спрощує документообіг і контроль за матеріальними потоками.

Логістичні процеси мають безпосередній вплив на загальну ефективність будівельних проектів. Оптимізоване управління логістикою може значно скоротити витрати та час, необхідний для завершення проектів.

Розробка та впровадження інноваційних управлінських стратегій є критично важливою для подолання існуючих викликів у сфері будівельної логістики.

Рекомендації та методики, запропоновані в цій статті, можуть бути корисними для будівельних компаній, які прагнуть покращити свої логістичні процеси. Впровадження цих підходів обіцяє більш ефективне управління проектами та покращення загальних результатів.

Ці висновки підкреслюють важливість постійних досліджень та розвитку в області логістики будівництва, а також необхідність адаптації до змінюваних умов та викликів галузі.

**Перспективи.** Одним з ключових аспектів майбутніх досліджень є глибший аналіз впливу технологічних інновацій. Важливо з'ясувати, як саме інновації, такі як IoT, штучний інтелект, та блокчейн, можуть вдосконалити логістичні процеси в будівництві. Наприклад, застосування IoT для точного відстеження матеріалів може значно підвищити ефективність управління ресурсами.

Інший важливий напрямок дослідження полягає у вивченні впливу екологічних аспектів на логістику. Оскільки екологічна стійкість набуває все більшого значення у сучасному будівництві, необхідно розглянути, як екологічні вимоги та практики впливають на логістичні рішення і можуть сприяти підвищенню стійкості галузі.

Також важливим є розроблення інтегрованих логістичних систем. Дослідження повинно зосередитись на створенні комплексних систем управління, що об'єднують різні аспекти логістики, включаючи поставку, зберігання, транспортування та управління відходами.

Нарешті, необхідно оцінити вплив логістики на якість будівельних проектів. Важливо дослідити, як логістичні процеси впливають на кінцеву якість будівельних робіт.

Міжгалузеве дослідження логістичних систем також є перспективним напрямком. Аналізуючи логістичні стратегії в інших сферах, можна знайти нові ідеї та підходи, які можна адаптувати для будівельної індустрії.

Ці напрямки досліджень сприятимуть розвитку інноваційних підходів і покращенню ефективності будівельних проектів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Manish Kumar Dixit, Varusha Venkatraj, Fatemeh Pariafsai, Jason Bullen. Site logistics factors impacting resource use on construction sites : a delphi study. *Frontiers. Frontiers in Built Environment*. 2022. Vol. 8. DOI: 10.3389/fbuil.2022.858135. URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.858135>
2. Pamela C. Nolz. Optimizing construction schedules and material deliveries in city logistics: a case study from the building industry. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2021. № 33. Pp. 846–878. DOI: 10.1007/s10696-020-09391-7. URL: <https://doi.org/10.1007/s10696-020-09391-7>



3. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Optimal material logistics planning in congested construction sites. Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World. 2012. DOI: 10.1061/9780784412329.159. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262601645>
4. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Optimizing material logistics planning in construction projects. Conference: Construction Research Congress. 2010. DOI: 10.1061/41109(373)120. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262601662>
5. Автоматизація та роботизація складу і логістичних підприємств. URL: <https://sunone.com.ua/articles-uk/avtomatizaciya-ta-robotizaciya-skladu-i-logistichnih-pidpriemstv/>
6. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Automated system for multi-objective optimization of construction supply and site logistics. Conference : Proceedings, Annual Conference – Canadian Society for Civil Engineering. 2013. URL: <https://www.researchgate.net/publication/289281020>
7. Ahmet Anil Sezer, Anna Fredriksson. Paving the path towards efficient construction logistics by revealing the current practice and issues. *Logistics*. 2021. № 5 (3). P. 53. URL: <https://doi.org/10.3390/logistics5030053>

## REFERENCES

1. Manish Kumar Dixit, Varusha Venkatraj, Fatemeh Pariafsai and Jason Bullen. Site logistics factors impacting resource use on construction sites : a delphi study. *Frontiers. Frontiers in Built Environment*. 2022, vol. 8. DOI: 10.3389/fbuil.2022.858135. URL: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.858135>
2. Pamela C. Nolz. Optimizing construction schedules and material deliveries in city logistics : a case study from the building industry. *Flexible Services and Manufacturing Journal*. 2021, no. 33, pp. 846–878. DOI: 10.1007/s10696-020-09391-7. URL: <https://doi.org/10.1007/s10696-020-09391-7>
3. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Optimal material logistics planning in congested construction sites. Construction Research Congress 2012 : Construction Challenges in a Flat World. 2012. DOI: 10.1061/9780784412329.159. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262601645>
4. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Optimizing material logistics planning in construction projects. Conference: Construction Research Congress. 2010. DOI: 10.1061/41109(373)120. URL: <https://www.researchgate.net/publication/262601662>
5. *Avtomatyzatsiya ta robotyzatsiya skladu i lohistrychnykh pidpryyemstv* [Automation and robotization of warehouse and logistics enterprises]. URL: <https://sunone.com.ua/articles-uk/avtomatizaciya-ta-robotizaciya-skladu-i-logistichnih-pidpriemstv/> (in Ukrainian).
6. Hisham Said and Khaled El-Rayes. Automated system for multi-objective optimization of construction supply and site logistics. Conference : Proceedings, Annual Conference – Canadian Society for Civil Engineering. 2013. URL: <https://www.researchgate.net/publication/289281020>
7. Ahmet Anil Sezer and Anna Fredriksson. Paving the path towards efficient construction logistics by revealing the current practice and issues. *Logistics*. 2021, no. 5 (3), p. 53. URL: <https://doi.org/10.3390/logistics5030053>.

Надійшла до редакції: 03.09.2024.