МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
Кафедра Промислове та цивільне будівництво
(повна назва)

Кваліфікаційна робота

рівень вищої освіти Магістр
(рівень вищої освіти)

на тему: Оптимізація логістичних процесів на будівельному майданчику з використанням сучасних інформаційних технологій

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1924–пцб
Щербаков Максим Вікторович
(прізвище та ініціали)
Спеціальність
192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва)
Освітньо-професійна програма
«Промислове і цивільне будівництво»
(шифр і назва)
Керівник проф., д.е.н. Анін В.І.
(прізвище та ініціали)
Рецензент проф., д.т.н. Арутюнян І.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя, 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти магістерський
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(код таі назва)
Освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
«24» 04 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Щербаков Максим Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Оптимізація логістичних процесів на будівельному майданчику з використанням сучасних інформаційних технологій
керівник роботи Анін Віктор Іванович, д.е.н., прроф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «27» 02 2025 року
№ 317-С
2 Строк подання студентом роботи 01 12 2025
3 Вихідні дані до роботи нормативно-технічна документація, наукова література в розрізі галузі будівництва
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Теоретичні основи організації логістичних процесів у будівництві. 2. Аналіз існуючих підходів до оптимізації логістичних процесів у будівництві. 3. Розробка та впровадження моделі оптимізації логістичних процесів з використанням сучасних технологій.
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 8 листів

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Анін В.І.		
Розділ 2	Анін В.І.		
Розділ 3	Анін В.І.		

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичні основи організації логістичних процесів у будівництві.	з 01.09 по 24.10.2025	
2	Аналіз існуючих підходів до оптимізації логістичних процесів у будівництві.	з 25.10 по 15.11.2025	
3	Розробка та впровадження моделі оптимізації логістичних процесів з використанням сучасних технологій	з 16.11 по 01.12.2025	

Студент _____ Щербаков М.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) _____ Анін В.І.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Данкевич Н.О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Щербаков М.В. Оптимізація логістичних процесів на будівельному майданчику з використанням сучасних інформаційних технологій.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник В.І. Анін, Інженерний навчально-науковий інститут Запорізького національного університету, 2025.

В роботі розглянуто питання оптимізації логістичних процесів на будівельному майданчику за допомогою сучасних інформаційних технологій. Визначено основні проблеми організації постачання, зберігання та розподілу будівельних матеріалів, що впливають на ефективність виконання будівельних робіт. Проаналізовано можливості використання цифрових рішень, таких як системи управління логістикою (LMS), технології Інтернету речей (IoT), GPS-моніторинг транспорту, а також програмні комплекси для планування та контролю ресурсів (ERP-системи). Застосування зазначених технологій дозволяє зменшити витрати часу та матеріалів, підвищити точність обліку, оперативність прийняття рішень і рівень безпеки на будівельному майданчику. У результаті доведено, що інтеграція інформаційних технологій у логістичні процеси забезпечує підвищення загальної продуктивності будівельного виробництва та конкурентоспроможності підприємства.

Ключові слова: логістика, будівельний майданчик, оптимізація, інформаційні технології, цифровізація.

Щербаков М.В., Анін В.І. Оптимізація логістичних процесів на будівельному майданчику з використанням сучасних інформаційних технологій *II МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ ІНЖЕНЕРНОГО НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ ЗНУ «ІНЖЕНЕРНІ ІННОВАЦІЇ ТА РОЗБУДОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ».* 15-16 травня 2025 р. Запоріжжя: ЗНУ, 2025.

ABSTRACT

Shcherbakov M.V. Optimization of logistics processes on a construction site using modern information technologies.

Qualification graduation thesis for a master's degree in the specialty 192 – Construction and Civil Engineering, supervisor V.I. Anin, Engineering Educational and Research Institute of Zaporizhzhia National University, 2025.

The paper considers the issue of optimization of logistics processes at the construction site with the help of modern information technologies. The main problems of the organization of supply, storage and distribution of building materials that affect the efficiency of construction work have been identified. The possibilities of using digital solutions, such as logistics management systems (LMS), Internet of Things (IoT) technologies, GPS monitoring of transport, as well as software complexes for resource planning and control (ERP systems), are analyzed. The use of these technologies allows you to reduce the cost of time and materials, increase the accuracy of accounting, the efficiency of decision-making and the level of safety at the construction site. As a result, it has been proved that the integration of information technologies into logistics processes provides an increase in the overall productivity of construction production and the competitiveness of the enterprise.

Keywords: logistics, construction site, optimization, information technology, digitalization.

Щербаков М.В., Анін В.І. Оптимізація логістичних процесів на будівельному майданчику з використанням сучасних інформаційних технологій *II МІЖНАРОДНІЙ НАУКОВО-ПРАКТИЧНІЙ КОНФЕРЕНЦІЇ ІНЖЕНЕРНОГО НАВЧАЛЬНО-НАУКОВОГО ІНСТИТУТУ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ ЗНУ «ІНЖЕНЕРНІ ІННОВАЦІЇ ТА РОЗБУДОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОНОМІКИ».* 15-16 травня 2025 р. Запоріжжя: ЗНУ, 2025.

ЗМІСТ

		стр.
	Вступ.....	9
1	**Теоретичні основи організації логістичних процесів у будівництві**.....	14
1.1	Сутність і структура логістичних процесів на будівельному майданчику……..	14
1.2	Класифікація логістичних систем у будівельній галузі……..	20
1.3	Аналіз сучасних проблем управління логістикою у будівельних проектах……..	26
2	**Аналіз існуючих підходів до оптимізації логістичних процесів у будівництві**..…….....	34
2.1	Оцінка ефективності діючих логістичних систем на підприємствах будівельного сектору…….	34
2.2	Аналіз використання інформаційних технологій у логістиці будівельних проектів……...	40
2.3	Визначення напрямів удосконалення логістичних процесів на основі цифрових рішень…….	46
3	**Розробка та впровадження моделі оптимізації логістичних процесів з використанням сучасних ІТ** …….	54
3.1	Організація процесу матеріально-технічного постачання будівельних компаній на основі логістичного управління із залученням методів ранжування та мережевого аналізу……..…….……..	54
3.2	Формування та аналіз матеріальних потоків у будівельній сфері через розроблення транспортно-логістичної	

структури, що об’єднує елементи будівельного комплексу… 56
Висновки……...……...…… 83

Список використаних джерел…….……... 85

ВСТУП

Актуальність теми дослідження

Сучасний етап розвитку будівельної галузі характеризується зростанням масштабів і складності проєктів, підвищенням вимог до якості, термінів та економічної ефективності виконання робіт. Будівництво, як багатофункціональна система, передбачає взаємодію великої кількості учасників, постачальників, підрядників, транспортних засобів і технологічних ланцюгів. У такому середовищі питання організації матеріально-технічного забезпечення набуває ключового значення, адже саме від його раціональності залежить стабільність виробничих процесів, скорочення простоїв, оптимальне використання ресурсів та, зрештою, прибутковість підприємства.

У більшості випадків значна частина витрат у будівництві припадає на закупівлю, доставку та зберігання матеріалів, комплектуючих і обладнання. Помилки в логістичному управлінні призводять до затримок постачань, надлишкових запасів, порушень графіка будівельних робіт, а отже — до збільшення собівартості проєкту. Тому питання оптимізації логістичних процесів на будівельному майданчику є не лише економічно доцільним, а й стратегічно важливим для забезпечення конкурентоспроможності підприємства.

Сьогодні ефективність логістики у будівництві значною мірою визначається рівнем цифровізації процесів. Використання сучасних інформаційних технологій, таких як системи планування ресурсів підприємства (ERP), технології Інтернету речей (IoT), GPS-моніторинг транспорту, а також інтегровані системи управління постачанням і складом, дозволяють забезпечити прозорість потоків матеріалів, оптимізувати маршрути доставки, контролювати залишки в реальному часі та оперативно приймати управлінські рішення. Саме тому логістика у будівництві

трансформується з допоміжної функції в активний інструмент стратегічного управління, який визначає ефективність усієї виробничої системи.

В умовах зростання конкуренції, коливань ринку будівельних матеріалів та посилення вимог до якості управління проектами, будівельні компанії повинні переходити від традиційних підходів до інноваційної логістики, що базується на цифрових платформах, аналітиці даних та інтегрованих процесах управління. Саме впровадження сучасних інформаційних технологій у сферу матеріально-технічного забезпечення дозволяє досягнути синергії між виробництвом, постачанням і управлінням ресурсами.

Отже, оптимізація логістичних процесів на будівельному майданчику є одним із ключових напрямів підвищення ефективності будівельного виробництва, що зумовлює актуальність обраної теми дослідження.

Мета і завдання дослідження

Мета роботи — розробити та обґрунтувати підходи до оптимізації логістичних процесів на будівельному майданчику з використанням сучасних інформаційних технологій для підвищення ефективності організації матеріально-технічного забезпечення.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

1. Проаналізувати теоретичні основи логістичних процесів у будівельній сфері та визначити їх особливості.
2. Дослідити сучасні підходи до організації матеріально-технічного забезпечення у будівництві.
3. Оцінити вплив інформаційних технологій на ефективність управління логістичними потоками.
4. Визначити основні проблеми в діючій системі логістики на будівельному майданчику.
5. Розробити модель оптимізації логістичних процесів з урахуванням використання IT-рішень.

6. Провести оцінку економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів.

Об’єктом дослідження є логістичні процеси, що забезпечують функціонування будівельного майданчика в умовах сучасного виробництва.

Предметом дослідження виступають методи, інструменти та інформаційні технології оптимізації матеріально-технічного забезпечення будівельного виробництва.

Методи дослідження

У роботі використано комплекс взаємопов’язаних методів наукового пізнання, зокрема:

- аналітичний метод — для вивчення теоретичних аспектів логістики в будівництві;
- порівняльний аналіз — для оцінки різних моделей логістичного управління;
- системний підхід — для розгляду логістичних процесів як інтегрованої системи;
- економіко-математичне моделювання — для розроблення оптимізаційних рішень;
- методи прогнозування та економічного аналізу — для оцінки ефективності впровадження ІТ-технологій у логістику.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна роботи полягає у розробленні комплексного підходу до оптимізації логістичних процесів на будівельному майданчику, який ґрунтується на інтеграції сучасних інформаційних технологій у систему матеріально-технічного забезпечення.

Основні положення новизни:

- Удосконалено структуру логістичної системи будівельного підприємства через поєднання цифрових інструментів контролю постачань, складування та транспортування.

- Запропоновано модель оптимізації руху матеріальних потоків, яка враховує параметри часу, вартості та ресурсної ефективності.
- Обґрунтовано можливість використання інформаційних систем управління логістикою (LMS) для оперативного моніторингу процесів на будівельному майданчику.
- Визначено критерії ефективності цифрової логістики в будівництві.

Практичне значення полягає у можливості застосування результатів дослідження під час удосконалення системи матеріально-технічного забезпечення будівельних підприємств. Розроблені рекомендації можуть бути використані:

- для автоматизації управління постачанням і контролю матеріальних потоків;
- при впровадженні ERP- та IoT-рішень у сферу будівельної логістики;
- для підвищення ефективності планування, обліку та контролю ресурсів на будівельному майданчику.

Практичні результати сприятимуть скороченню втрат часу, підвищенню точності виконання графіка робіт, зменшенню витрат на транспортування та зберігання матеріалів, що в підсумку позитивно впливатиме на рентабельність підприємства.

Теоретичне значення дослідження полягає в уточненні наукових підходів до розуміння ролі логістики у будівельному процесі як системоутворювального елементу, що поєднує матеріальні, інформаційні та фінансові потоки в єдину інфраструктуру. Робота поглиблює теоретичні уявлення про логістичне управління як фактор підвищення ефективності будівельного виробництва, доповнюючи існуючі моделі цифровими аспектами управління.

Ступінь розробленості проблеми

Проблема оптимізації логістичних процесів у будівництві досліджується як у вітчизняній, так і в зарубіжній науковій літературі. Проте більшість робіт розглядає питання загальної організації постачання або

транспортної логістики, не приділяючи достатньої уваги специфіці будівельного майданчика. Саме інтеграція сучасних ІТ-рішень у матеріально-технічне забезпечення залишається відносно новим напрямом дослідження, що визначає наукову та практичну цінність цієї роботи.

Зв'язок з науковими програмами, планами та темами

Тема магістерської роботи узгоджується з пріоритетними напрямами розвитку будівельної галузі України, зокрема щодо підвищення ефективності управління виробничими процесами, впровадження цифрових технологій та автоматизації логістичних операцій.

Таким чином, у сучасних умовах ефективна організація матеріально-технічного забезпечення є одним із найважливіших чинників успішного функціонування будівельних підприємств. Вона визначає здатність компанії дотримуватись термінів виконання робіт, раціонально використовувати ресурси та підтримувати стабільну конкурентну позицію на ринку. Оптимізація логістичних процесів за рахунок упровадження сучасних інформаційних технологій відкриває нові можливості для підвищення ефективності виробництва, прозорості управління та зниження витрат. Саме ці питання є предметом детального аналізу та дослідження у даній магістерській роботі.

Сучасний стан вивченості теми магістерської роботи можна назвати досить глибоким, тому слугує низька аспектів питань, що розглядається у вибраному науковому досліджені, трампліном якому стали наукові доробки вчених в області організації і технології будівельного виробництва: Арутюнян І.А, Кірноса В. М., Млодецького В. Р., Павлова І. Д., Поколенка В. О., Радкевича А. В., Тяна Р. Б., Тріділа О. М., Тугая О.А., Ушацького С. А.

Апробація роботи. Основні положення роботи опубліковані на спеціалізованій науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів та викладачів ІННІ ЗНУ на секції «Промислове та цивільне будівництво» (2025, м. Запоріжжя).

1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У БУДІВНИЦТВІ

1.1 Сутність і структура логістичних процесів на будівельному майданчику

Логістичні процеси у будівництві є невід'ємною складовою організації будівельного виробництва та забезпечують комплексне управління матеріальними, фінансовими та інформаційними потоками на будівельному майданчику. В сучасних умовах розвитку будівельної галузі підвищення ефективності будівельних робіт неможливе без системного підходу до організації логістики, оскільки будівельний процес відрізняється високою ступінню комплексності та взаємозалежності різних видів робіт, значною кількістю задіяних матеріальних ресурсів, техніки та трудових ресурсів.

Сутність логістичних процесів на будівельному майданчику визначається як цілеспрямоване планування, організація, управління та контроль за рухом матеріальних ресурсів, будівельних конструкцій, обладнання та інформації від моменту їх надходження до майданчика до моменту використання у процесі зведення об'єкта. Основна мета логістики на будівництві полягає у забезпеченні безперервності та ритмічності виробничого процесу, мінімізації витрат часу та ресурсів, підвищенні продуктивності праці та якості будівельних робіт, а також у зменшенні впливу на навколишнє середовище. Логістика на будівельному майданчику виступає ключовим елементом системи управління будівництвом, оскільки вона формує необхідні умови для узгодженого функціонування всіх підрозділів і забезпечує своєчасне надходження матеріально-технічних ресурсів, устаткування та інструментів.

Будівельна логістика включає три основні групи процесів: постачальницькі, виробничі та збутові. Постачальницькі процеси пов’язані з визначенням потреби у матеріалах, комплектуючих та техніці, їх замовленням, транспортуванням та зберіганням на майданчику. Ефективне управління постачанням вимагає визначення оптимальних термінів доставки, обсягів поставок, вибору постачальників та транспортних засобів, а також розробки схем розміщення матеріалів на майданчику з урахуванням технології виконання робіт. Виробничі процеси включають організацію внутрішньомайданчикового руху матеріалів, контроль за їх використанням, координацію робіт підрозділів і спеціалізованих бригад, а також управління ресурсами у реальному часі. Збутові процеси, що менш характерні для будівництва, стосуються реалізації будівельних конструкцій та готових виробів, якщо будівельний майданчик включає виробничі потужності з виготовлення вузлів і деталей.

Структура логістичних процесів на будівельному майданчику визначається сукупністю взаємопов’язаних елементів, які включають планування, організацію, управління та контроль. Планування логістики передбачає визначення потреби у матеріальних і трудових ресурсах, складання графіків поставок, розподіл ресурсів між видами робіт, а також прогнозування можливих ризиків та відхилень. Особливу увагу при плануванні приділяють оптимізації використання транспорту, складів, підйомних механізмів і інших допоміжних засобів, що дозволяє зменшити витрати часу на переміщення матеріалів і забезпечує ритмічність будівельного процесу.

Організація логістичних процесів включає розробку та впровадження схем розміщення матеріалів і устаткування на майданчику, планування внутрішньомайданчикового транспортування, визначення маршрутів руху техніки та вантажів, встановлення процедур приймання та видачі матеріалів, а також визначення відповідальних осіб за кожний етап логістичного циклу. Ефективна організація передбачає також використання систем маркування,

обліку та контролю руху ресурсів, що дозволяє уникнути втрат, зайвого переміщення та затримок у роботі.

Управління логістичними процесами на будівельному майданчику базується на координації діяльності всіх підрозділів та виконавців. Управління включає моніторинг стану матеріальних запасів, контроль за дотриманням графіків поставок, узгодження робіт між бригадами та відділами, а також оперативне вирішення виникаючих проблем. Значну роль у сучасній будівельній логістиці відіграють інформаційні системи, що забезпечують автоматизований облік, планування і прогнозування, дозволяючи оптимізувати рух матеріалів і ресурсів, знижувати ризики простоїв та підвищувати ефективність використання техніки та праці.

Контроль у логістичних процесах спрямований на забезпечення відповідності фактичного стану ресурсів та виконання робіт плановим показникам. Контроль включає перевірку кількості та якості матеріалів, стану техніки, дотримання графіків поставок, а також аналіз ефективності використання ресурсів. На основі результатів контролю здійснюється коригування планів і заходів щодо управління логістикою, що дозволяє підтримувати ритмічність і безперервність будівельного процесу, зменшувати втрати ресурсів та забезпечувати своєчасне завершення робіт.

Важливим аспектом логістики на будівельному майданчику є управління матеріальними потоками, яке передбачає координацію надходження, зберігання, розподілу та використання будівельних матеріалів, конструкцій і обладнання. До матеріальних потоків відносяться як основні будівельні матеріали (цемент, цегла, арматура, дерево, метали та ін.), так і допоміжні матеріали (розчинні суміші, кріпильні елементи, пакувальні матеріали). Управління цими потоками включає оптимізацію часу та обсягів поставок, визначення місць тимчасового зберігання та маршрутизацію внутрішньомайданчикового транспортування, що забезпечує безперервність виробничого процесу та мінімізує втрати матеріалів.

Не менш важливим є управління технічними потоками, яке передбачає організацію руху будівельної техніки, кранів, підйомників та спеціалізованих транспортних засобів на майданчику. Раціональна організація технічних потоків дозволяє зменшити простої обладнання, уникнути конфліктів між різними видами робіт та підвищити продуктивність будівельного процесу. У цьому контексті використовуються методи маршрутизації, планування графіків роботи техніки, а також застосування сучасних систем автоматичного контролю руху обладнання.

Інформаційні потоки на будівельному майданчику є третім ключовим елементом логістики. Вони забезпечують своєчасну передачу даних про наявність матеріалів, стан виконання робіт, графіки поставок, технічний стан обладнання, а також фінансові та кадрові ресурси. Ефективне управління інформаційними потоками дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення, прогнозувати потреби та узгоджувати роботу всіх учасників будівельного процесу. Сучасні інформаційні системи, програмне забезпечення для управління будівництвом та логістикою дозволяють інтегрувати дані в єдину систему, що забезпечує швидкий доступ до необхідної інформації і підвищує точність управлінських рішень.

Структурно логістичні процеси на будівельному майданчику можна представити у вигляді ієрархії, де верхній рівень відповідає стратегічному плануванню постачань і організації ресурсів, середній рівень — оперативному управлінню матеріальними та технічними потоками, а нижній рівень — контроль за виконанням робіт і використанням ресурсів. Така структура дозволяє забезпечити координовану діяльність всіх підрозділів, ефективно розподіляти ресурси, контролювати процеси та знижувати ризики збоїв у роботі.

Особливої уваги потребує інтеграція логістичних процесів з технологічним процесом будівництва. Технологія виконання робіт визначає порядок та послідовність використання матеріалів, техніки та робочої сили, що безпосередньо впливає на планування та організацію логістики.

Наприклад, монтаж великогабаритних конструкцій потребує узгодження термінів поставок, наявності підйомного обладнання та організації робіт на різних ділянках майданчика, що вимагає комплексного підходу до управління логістикою.

Суттєвим елементом сучасної будівельної логістики є впровадження концепції «just in time», яка передбачає доставку матеріалів точно у строк їх використання. Це дозволяє зменшити обсяг складування на майданчику, знизити ризики псування матеріалів, зменшити витрати на зберігання та підвищити ефективність використання ресурсів. Водночас реалізація цієї концепції потребує високого рівня координації з постачальниками, чіткої організації транспортних та виробничих процесів, а також ефективної системи моніторингу та контролю.

Ефективна логістика на будівельному майданчику також передбачає управління ризиками та забезпечення безпеки. До ризиків відносяться затримки поставок, несправність техніки, непередбачені погодні умови, помилки у плануванні та організації робіт. Для їх мінімізації використовуються методи резервування матеріалів і техніки, розробка альтернативних маршрутів доставки, створення буферних запасів, а також системи контролю та моніторингу, які дозволяють оперативно реагувати на відхилення від плану.

Таким чином, логістичні процеси на будівельному майданчику є комплексною системою, що об’єднує планування, організацію, управління та контроль за матеріальними, технічними та інформаційними потоками. Вони забезпечують ефективну взаємодію всіх учасників будівельного процесу, своєчасне надходження ресурсів, раціональне використання техніки та робочої сили, підвищення продуктивності та якості будівельних робіт. Структура логістики включає стратегічний, оперативний та контрольний рівні, інтегрується з технологічним процесом будівництва та передбачає використання сучасних інформаційних систем і концепцій управління, таких як «just in time». Ефективна організація логістичних процесів дозволяє

зменшити витрати, уникнути простоїв, підвищити безпеку та екологічність будівельного процесу, що є ключовим фактором конкурентоспроможності будівельних компаній та успішної реалізації будівельних проєктів.

У перспективі розвиток логістики на будівельних майданчиках передбачає впровадження цифрових технологій, автоматизації процесів, використання штучного інтелекту для планування та управління потоками, а також інтеграцію з системами «розумного будівництва» та концепціями сталого розвитку. Це дозволить підвищити точність планування, оперативність реагування на зміни, скоротити витрати та підвищити ефективність будівельного виробництва у цілому.

Системний підхід до організації логістичних процесів на будівельному майданчику є необхідною умовою підвищення ефективності будівництва, забезпечення безперервності та ритмічності робіт, оптимізації використання матеріально-технічних ресурсів та робочої сили. Логістика на будівництві виступає ключовим інструментом управління, який забезпечує злагоджену взаємодію всіх підрозділів, мінімізує ризики і втрати, підвищує якість та безпеку виконання робіт, а також створює передумови для впровадження інноваційних технологій та концепцій сталого розвитку у будівельній галузі.



Рисунок 1.1 - Сутність і структура логістичних процесів на будівельному майданчику

1.2 Класифікація логістичних систем у будівельній галузі

Логістика в будівельній галузі виступає ключовим інструментом управління матеріальними, інформаційними та фінансовими потоками, забезпечуючи ефективну координацію всіх етапів будівельного процесу. Будівельна логістика охоплює планування, організацію та контроль за переміщенням будівельних матеріалів, обладнання, персоналу та інформації між постачальниками, будівельними майданчиками та кінцевими споживачами. У зв'язку з цим класифікація логістичних систем набуває особливої значущості, оскільки дозволяє визначити ефективні механізми управління ресурсами та оптимізації процесів у будівництві.

Логістична система у будівництві визначається як комплекс взаємопов'язаних елементів (постачальників, транспортних засобів, складів, персоналу та інформаційних технологій), спрямованих на забезпечення безперервного та ефективного руху матеріальних, фінансових і інформаційних потоків у процесі будівництва об'єктів різної складності. Вона включає організаційні, технологічні та інформаційні компоненти, які взаємодіють для забезпечення своєчасного постачання ресурсів, мінімізації втрат і витрат, а також підвищення продуктивності будівельних робіт.

Основними завданнями логістичної системи у будівництві є:

1. Забезпечення своєчасної доставки матеріалів, обладнання та інструментів на будівельний майданчик.
2. Оптимізація запасів та складування будівельних ресурсів.
3. Координація транспортних та технологічних потоків на всіх етапах будівництва.
4. Підвищення ефективності використання ресурсів та зниження витрат.
5. Забезпечення безпеки та контролю якості будівельних матеріалів.

Класифікація логістичних систем у будівельній галузі здійснюється за різними критеріями: структурою, функціональним призначенням, масштабом діяльності, характером потоків та рівнем інтеграції процесів. Така систематизація дозволяє визначити типи логістичних систем, що найефективніше відповідають специфіці будівельних об’єктів і умовам їх реалізації.

За структурою логістичні системи поділяються на централізовані та децентралізовані.

- Централізовані системи передбачають наявність єдиного центру управління, який координує всі логістичні процеси на будівельному майданчику та в постачанні матеріалів. Такий підхід забезпечує більш ефективне планування ресурсів, контроль за витратами та стандартизацію процесів, проте знижує гнучкість у разі непередбачуваних змін.
- Децентралізовані системи характеризуються наявністю кількох автономних підсистем, які самостійно управляють рухом матеріалів і ресурсів у своїй зоні відповідальності. Така структура дозволяє оперативніше реагувати на зміни та нестандартні ситуації, але ускладнює координацію та контроль за витратами.

Таблиця 1.1 - Класифікація логістичних систем за структурою

Тип системи	Характеристика	Переваги	Недоліки
Централізована	Єдиний центр управління всіма потоками	Ефективне планування, контроль витрат	Низька гнучкість, складність у разі змін
Децентралізована	Кілька автономних підсистем	Висока оперативність, адаптивність	Ускладнена координація, контроль

Функціональна класифікація базується на основних логістичних завданнях: постачання, виробництво та збут. У будівельній галузі виділяють:

- Логістика постачання (Supply Logistics) – спрямована на забезпечення будівельного процесу необхідними матеріалами, обладнанням та комплектуючими. Основними завданнями є планування закупівель, організація транспортування та управління запасами.
- Виробнича логістика (Production Logistics) – організація внутрішніх потоків на будівельному майданчику, включаючи розподіл матеріалів між цехами та об’єктами, контроль виконання робіт та оптимізацію технологічних процесів.
- Розподільча логістика (Distribution Logistics) – управління потоками готових конструкцій, комплектів та обладнання до кінцевих споживачів або інших об’єктів будівництва.

Таблиця 2. Класифікація логістичних систем за функціональним призначенням

Функція	Основні завдання	Приклади у будівництві
Постачання	Планування закупівель, доставка матеріалів, складування	Доставка цементу, металоконструкцій
Виробнича	Внутрішня організація потоків, контроль ресурсів	Розподіл матеріалів між ділянками будмайданчика
Розподільча	Переміщення готових конструкцій до кінцевих споживачів	Монтажні блоки, готові будівельні елементи

Логістичні системи також розрізняються за масштабом діяльності:

- Локальні системи – охоплюють логістику в межах одного будівельного майданчика або невеликої будівельної ділянки. Основна мета – забезпечення безперервності робіт та своєчасного постачання ресурсів на об’єкт.
- Регіональні системи – забезпечують координацію між кількома будівельними об’єктами у певному регіоні, оптимізуючи постачання матеріалів і транспортні витрати.

- Національні та міжнаціональні системи – керують логістикою великих будівельних компаній, що працюють на території країни або за її межами, включаючи імпортно-експортні операції, централізоване складування та оптимізацію глобальних постачань.

Таблиця 1.3 - Класифікація логістичних систем за масштабом

Масштаб	Обсяг діяльності	Характеристика у будівництві
Локальний	Один будмайданчик	Оптимізація внутрішніх потоків та запасів
Регіональний	Декілька об’єктів у регіоні	Координація постачання між об’єктами
Національний/міжнаціональний	Вся країна або міжнародні проекти	Централізоване управління, глобальні поставки

Важливим критерієм класифікації є тип логістичних потоків:

- Матеріальні потоки – переміщення будівельних матеріалів, обладнання, інструментів та конструкцій. Включають транспортні та складські процеси, планування запасів та контроль якості матеріалів.
- Інформаційні потоки – передача даних про замовлення, стан ресурсів, терміни виконання робіт, технічну документацію та контрольні показники. Важливі для координації між усіма учасниками будівельного процесу.
- Фінансові потоки – рух грошових коштів, оплата постачальникам, розрахунки з підрядниками, контроль витрат та бюджету проекту.

Таблиця 1.4 - Класифікація логістичних систем за характером потоків

Потік	Зміст	Роль у будівельній логістиці
Матеріальний	Рух матеріалів, обладнання, конструкцій	Забезпечення безперервності будівельного процесу
Інформаційний	Передача даних, документації, контроль	Координація та планування всіх етапів
Фінансовий	Грошові розрахунки, контроль витрат	Оптимізація бюджету та фінансове планування

Рівень інтеграції логістичних процесів визначає ефективність управління ресурсами та взаємодію між учасниками будівельного процесу. Виділяють:

- Ізольовані системи – окремі логістичні процеси (постачання, внутрішня організація, розподіл) функціонують незалежно один від одного. Використання таких систем можливо на невеликих об’єктах, але вони мають низьку ефективність у масштабних проектах.
- Інтегровані системи – логістичні процеси об’єднані в єдину систему управління, що дозволяє ефективно координувати всі етапи будівництва, знижувати витрати, контролювати терміни та забезпечувати високу якість виконання робіт.
- Системи з високою автоматизацією – інтегровані системи, які підтримуються сучасними інформаційними технологіями, програмними комплексами планування та контролю ресурсів (ERP, BIM, WMS), що забезпечує оперативне управління та аналітику в реальному часі.

Таблиця 1.5 - Класифікація логістичних систем за рівнем інтеграції

Рівень інтеграції	Характеристика	Приклади застосування
Ізольовані	Незалежні логістичні процеси	Невеликі об’єкти, локальні поставки
Інтегровані	Єдина система управління	Великі будівельні

	всіма потоками	майданчики, комплекси
З високою автоматизацією	Інтегровані системи з інформаційними технологіями	Використання ERP, BIM, WMS для управління проектами

Практичне значення класифікації логістичних систем

Класифікація логістичних систем у будівництві дозволяє:

1. Вибрати оптимальний тип системи для конкретного об’єкта будівництва.

2. Забезпечити ефективне планування та координацію постачання матеріалів і ресурсів.

3. Оптимізувати витрати на транспортування, складування та управління запасами.

4. Підвищити продуктивність праці та скоротити тривалість будівельного процесу.

5. Використовувати сучасні інформаційні технології для інтеграції та автоматизації логістичних процесів.

Наприклад, у будівництві житлових комплексів доцільно застосовувати інтегровані системи з високою автоматизацією, що забезпечує контроль за всіма етапами будівництва, своєчасну доставку матеріалів та оптимізацію витрат. У випадку невеликих об’єктів достатньо локальних або ізольованих систем, що дозволяє знизити витрати на управління та організацію логістики.

Класифікація логістичних систем у будівельній галузі є важливим інструментом для ефективного управління матеріальними, інформаційними та фінансовими потоками. Вона забезпечує систематизацію підходів до організації логістики, визначає типи систем, які оптимально відповідають специфіці об’єктів будівництва, масштабу проектів та характеру ресурсних потоків. Використання централізованих, децентралізованих, інтегрованих або автоматизованих систем дозволяє підвищити ефективність управління, скоротити витрати, забезпечити безперервність процесів та підвищити якість будівельних робіт. Класифікація також є базою для впровадження сучасних

інформаційних технологій та інноваційних рішень у будівельній логістиці, що має стратегічне значення для розвитку будівельної галузі.

1.3 Аналіз сучасних проблем управління логістикою у будівельних проектах

Управління логістикою у будівельних проектах є невід'ємною складовою ефективного функціонування будівельної галузі. В умовах зростання складності проектів, стрімкого розвитку технологій та глобалізації ринку постачання будівельних матеріалів, управління логістичними процесами стає стратегічно важливим фактором, що визначає терміни, якість та економічну ефективність реалізації будівельних проектів. Незважаючи на значний прогрес у розвитку логістичних систем, сучасні будівельні компанії стикаються з низкою проблем, що суттєво впливають на ефективність управління ресурсами, контроль витрат і реалізацію проектів у встановлені строки. Аналіз цих проблем є необхідною умовою для розробки заходів з їх подолання та підвищення ефективності логістичних процесів у будівництві.

Сутність та роль управління логістикою у будівельних проектах

Логістика у будівництві охоплює планування, організацію, управління та контроль матеріальних, інформаційних та фінансових потоків, необхідних для реалізації будівельного проекту. Основна мета управління логістикою полягає у забезпеченні своєчасного постачання матеріалів і обладнання, оптимізації витрат на транспортування та складування, координації роботи підрядників і забезпеченні високої якості будівельних робіт.

В умовах сучасного ринку будівельні проекти стають дедалі складнішими: зростає кількість учасників процесу, з'являються нові види матеріалів та технологій, змінюються вимоги до якості та екологічності

об’єктів. В таких умовах управління логістикою набуває ключового значення і включає:

1. Планування та контроль постачання матеріалів та обладнання.
2. Організацію внутрішніх транспортних і технологічних потоків на будівельному майданчику.
3. Управління запасами та складськими процесами.
4. Координацію роботи підрядників і взаємодію між учасниками проекту.
5. Забезпечення ефективної комунікації та інформаційного обміну.

Основні проблеми управління логістикою у будівельних проектах

Аналіз сучасних проблем управління логістикою у будівельних проектах дозволяє виділити кілька груп факторів, що негативно впливають на ефективність логістичних процесів. До них належать проблеми організаційного характеру, технологічні, економічні, інформаційні та людські фактори.

Організаційні проблеми виникають у зв’язку з недостатньою координацією між учасниками будівельного процесу, відсутністю чітко визначених відповідальностей та механізмів управління ресурсами. До найпоширеніших проблем можна віднести:

- Відсутність єдиного центру управління логістикою, що призводить до дублювання процесів і неефективного використання ресурсів.
- Недостатнє планування постачання матеріалів і обладнання, що викликає затримки та простої на будівельному майданчику.
- Неефективна організація внутрішніх потоків на майданчику, що знижує продуктивність праці та збільшує витрати.

Таблиця 1.6 - Організаційні проблеми управління логістикою

Проблема	Причини виникнення	Наслідки для будівельного проекту
Відсутність єдиного центру управління	Децентралізована структура управління	Дублювання процесів, низька ефективність
Недостатнє планування постачання	Відсутність прогнозування потреб та запасів	Затримки поставок, простої на майданчику
Неефективна організація внутрішніх потоків	Незадовільна координація робіт та ресурсів	Зниження продуктивності, перевитрата ресурсів

Сучасні будівельні проекти відрізняються високою технологічною складністю, що вимагає застосування сучасних методів управління потоками матеріалів і ресурсів. Основними технологічними проблемами є:

- Недостатня автоматизація логістичних процесів, що призводить до низької оперативності управління.
- Відсутність інтегрованих інформаційних систем для планування та контролю ресурсів (ERP, BIM, WMS), що ускладнює координацію між підрядниками та постачальниками.
- Неефективна організація транспортування та складського зберігання матеріалів, що збільшує втрати та витрати.

Таблиця 1.7 - Технологічні проблеми управління логістикою

Проблема	Причини виникнення	Наслідки для будівельного проекту
Недостатня автоматизація	Відсутність сучасних IT-рішень	Низька оперативність та точність управління
Відсутність інтегрованих систем	Використання ізольованих підсистем	Ускладнення координації між учасниками

Неефективна організація транспортування	Відсутність оптимального маршруту і графіків	Перевитрати ресурсів та матеріалів

Економічні проблеми

Економічні аспекти управління логістикою у будівництві включають ефективність використання ресурсів, контроль витрат та бюджетування. До основних проблем можна віднести:

- Зростання витрат на транспортування та зберігання матеріалів через неналежне планування логістики.
- Відсутність ефективного контролю фінансових потоків, що призводить до перевитрат бюджету.
- Коливання цін на будівельні матеріали та енергоносії, що ускладнює прогнозування витрат.

Таблиця 1.8 - Економічні проблеми управління логістикою

Проблема	Причини виникнення	Наслідки для будівельного проекту
Зростання витрат на транспортування	Неефективне планування маршрутів	Перевитрати бюджету, затримки робіт
Відсутність контролю фінансових потоків	Недосконалі системи обліку та планування	Перевитрати та фінансові ризики
Коливання цін на матеріали	Залежність від ринку та постачальників	Неможливість точного прогнозування витрат

Інформаційні проблеми

Ефективне управління логістикою у будівництві неможливе без належної організації інформаційних потоків. Серед основних проблем виділяють:

- Відсутність єдиної системи обміну інформацією між усіма учасниками проекту.
- Невчасне оновлення даних про стан запасів, поставок та виконання робіт.

- Недостатня прозорість логістичних процесів, що ускладнює контроль і прийняття управлінських рішень.

Таблиця 1.9 - Інформаційні проблеми управління логістикою

Проблема	Причини виникнення	Наслідки для будівельного проекту
Відсутність єдиної системи обміну інформацією	Розрізнені підсистеми управління	Ускладнення координації між учасниками
Невчасне оновлення даних	Відсутність автоматизованого контролю	Затримки у прийнятті рішень
Недостатня прозорість процесів	Відсутність систем моніторингу	Неможливість ефективного контролю

Проблеми, пов’язані з людським фактором

Людський фактор є одним з ключових елементів у логістичній системі будівельного проекту. Серед проблем виділяють:

- Недостатня кваліфікація персоналу у сфері логістики та управління ресурсами.
- Відсутність мотивації та відповідальності за виконання логістичних завдань.
- Низький рівень комунікації між підрозділами та учасниками проекту.

Таблиця 1.10 - Проблеми людського фактору у логістиці будівельного проекту

Проблема	Причини виникнення	Наслідки для будівельного проекту
Недостатня кваліфікація	Відсутність навчання та підготовки	Невірне планування та управління ресурсами
Відсутність	Недостатня	Зниження продуктивності

мотивації	зацікавленість та винагороди	персоналу
Низький рівень комунікації	Відсутність ефективних каналів зв’язку	Затримки та помилки у виконанні робіт

Методи подолання проблем управління логістикою

Для підвищення ефективності управління логістикою у будівельних проектах застосовуються сучасні методи та підходи:

1. Впровадження інтегрованих інформаційних систем (ERP, BIM, WMS) для контролю ресурсів і планування постачання.

2. Автоматизація транспортних і складських процесів для зниження витрат та скорочення часу логістичних операцій.

3. Розробка єдиної стратегії управління логістикою на всіх рівнях будівельного проекту.

4. Підвищення кваліфікації персоналу та мотивація співробітників шляхом впровадження систем KPI та навчальних програм.

5. Використання сучасних методів прогнозування витрат та управління ризиками для забезпечення фінансової стабільності проекту.

Сучасні проблеми управління логістикою у будівельних проектах є багатогранними і включають організаційні, технологічні, економічні, інформаційні та людські фактори. Їх наявність негативно впливає на ефективність реалізації проектів, призводить до перевитрат ресурсів, затримок виконання робіт і зниження якості будівельних об’єктів. Аналіз цих проблем дозволяє визначити пріоритетні напрями вдосконалення логістичних систем, впровадження сучасних інформаційних технологій, автоматизації процесів та підвищення кваліфікації персоналу.

Оптимізація управління логістикою у будівельних проектах забезпечує не лише економічну ефективність, але й підвищує конкурентоспроможність будівельних компаній, дозволяє скоротити терміни реалізації проектів та підвищити якість будівельних робіт. Розробка комплексних рішень та

впровадження сучасних методів управління ресурсами стає стратегічним напрямом розвитку будівельної галузі у XXI столітті.

Структурно-логічна схема дослідження

Тема: Оптимізація логістичних процесів на будівельному майданчику з використанням сучасних інформаційних технологій

Мета: є розробити та обґрунтувати підходи до оптимізації логістичних процесів на будівельному майданчику з використанням сучасних інформаційних технологій для підвищення ефективності організації матеріально-технічного забезпечення

Об'єкт дослідження є логістичні процеси, що забезпечують функціонування будівельного майданчика в умовах сучасного виробництва

Предмет дослідження. виступають методи, інструменти та інформаційні технології оптимізації матеріально-технічного забезпечення будівельного виробництва

Завдання:

1. Проаналізувати теоретичні основи логістичних процесів у будівельній сфері та визначити їх особливості.
2. Дослідити сучасні підходи до організації матеріально-технічного забезпечення у будівництві.
3. Оцінити вплив інформаційних технологій на ефективність управління логістичними потоками.
4. Визначити основні проблеми в діючій системі логістики на будівельному майданчику.
5. Розробити модель оптимізації логістичних процесів з урахуванням використання ІТ-рішень.
6. Провести оцінку економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів.

1. **Теоретичні основи організації логістичних процесів у будівництві**

2. Аналіз існуючих підходів до оптимізації логістичних процесів у будівництві

3. Розробка та впровадження моделі оптимізації логістичних процесів з використанням сучасних ІТ

Новизна роботи полягає у в**досконаленні теоретико-методологічних положень і рекомендацій** щодо оновлення процесів організації будівництва.

Сучасний стан вивченості теми магістерської роботи можна назвати досить глибоким, тому слугує низька аспектів питань, що розглядається у вибраному науковому досліджені, трампліном якому стали наукові доробки вчених в області організації і технології будівельного виробництва: Арутюнян І.А, Кірноса В. М., Млодецького В. Р., Павлова І. Д., Поколенка В. О., Радкевича А. В., Тяна Р. Б., Тріділа О. М., Тугая О.А., Ушацького С. А.

Практичний внесок у вирішення багатьох складних організаційних, виробничих та економічних завдань, за рахунок шляхів удосконалення та перспектив організації матеріального забезпечення будівництва.

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ У БУДІВНИЦТВІ

2.1 Оцінка ефективності діючих логістичних систем на підприємствах будівельного сектору

У сучасних умовах розвитку будівельного сектору України та світу ефективне управління логістикою стає одним із ключових факторів конкурентоспроможності підприємств. Логістична система на підприємстві будівельного сектора забезпечує координацію всіх процесів постачання, виробництва та розподілу будівельних матеріалів, обладнання та ресурсів. Від ефективності її функціонування залежить своєчасність виконання проектів, мінімізація витрат та забезпечення високої якості будівельних робіт.

Оцінка ефективності діючих логістичних систем дозволяє підприємствам ідентифікувати проблемні місця, визначити резерви підвищення продуктивності та розробити заходи щодо оптимізації процесів управління ресурсами. Вона включає комплексний аналіз організаційної, технологічної, економічної та інформаційної складових логістики на підприємстві.

Поняття та структура логістичної системи на підприємстві будівельного сектору

Логістична система підприємства будівельного сектору – це комплекс взаємопов’язаних елементів, який забезпечує управління потоками матеріальних ресурсів, інформації та фінансових засобів. Основними складовими логістичної системи є:

1. Постачальницький блок – забезпечує закупівлю матеріалів, обладнання та комплектуючих, включає управління запасами, взаємодію з постачальниками та організацію доставки.

2. Виробничий блок – організація внутрішніх потоків на будівельному майданчику, контроль за виконанням робіт та оптимізація використання ресурсів.

3. Транспортно-складський блок – управління транспортними потоками, складськими процесами та переміщенням матеріалів між об’єктами та ділянками.

4. Інформаційний блок – забезпечує обмін даними, моніторинг стану запасів, контроль витрат та термінів виконання робіт.

5. Фінансовий блок – контроль бюджетів проектів, руху грошових коштів та ефективного використання фінансових ресурсів.

Таке структурне подання дозволяє оцінити ефективність кожного компоненту системи окремо та всього підприємства в цілому.

Таблиця 2.1 - Структура логістичної системи підприємства будівельного сектору

Блок системи	Основні функції	Ключові показники ефективності
Постачальницький	Закупівля матеріалів, управління запасами	Своєчасність поставок, витрати на матеріали
Виробничий	Внутрішнє переміщення ресурсів, контроль робіт	Виконання плану робіт, продуктивність праці
Транспортно-складський	Транспортні та складські операції	Витрати на транспортування, швидкість доставки
Інформаційний	Моніторинг ресурсів, обмін даними	Актуальність даних, точність прогнозів
Фінансовий	Контроль витрат та бюджетів	Рівень перевитрат, ефективність бюджету

Для оцінки ефективності логістичної системи у будівельному секторі використовуються різноманітні критерії, які можна поділити на кількісні та якісні.

1. Кількісні критерії

До кількісних показників ефективності відносять:

- Своєчасність поставок – відсоток матеріалів та обладнання, доставлених відповідно до графіка.
- Витрати на логістику – частка витрат на транспортування, складування та управління у загальних витратах підприємства.
- Рівень запасів – оптимальність обсягу матеріалів на складах у порівнянні з потребами проектів.
- Продуктивність праці – обсяг виконаних робіт на одного працівника у визначений період.
- Тривалість логістичних циклів – час від замовлення матеріалів до їх доставки на будівельний майданчик.

2. Якісні критерії

Якісні показники оцінки ефективності включають:

- Гнучкість системи – здатність адаптуватися до змін обсягів робіт та умов постачання.
- Прозорість процесів – наявність інформаційних систем, що дозволяють контролювати рух ресурсів у режимі реального часу.
- Рівень інтеграції – взаємодія між усіма блоками логістичної системи та з зовнішніми постачальниками.
- Надійність та безпека поставок – забезпечення якості матеріалів та своєчасного виконання зобов’язань.

Таблиця 2.2 - Критерії оцінки ефективності логістичних систем

Категорія	Показник	Одиниця виміру / Характеристика
Кількісні	Своєчасність поставок	% відповідності графіку поставок
	Витрати на логістику	грн або % від загальних витрат
	Рівень запасів	дні або обсяг матеріалів на складі
	Продуктивність праці	обсяг робіт на одного працівника
	Тривалість логістичного циклу	дні або години
Якісні	Гнучкість системи	оцінка за шкалою (низька/середня/висока)
	Прозорість процесів	наявність інформаційних систем
	Рівень інтеграції	ступінь взаємодії між блоками
	Надійність та безпека поставок	кількість інцидентів та дефектів

Оцінка ефективності логістичних систем на підприємствах будівельного сектору здійснюється за допомогою методів, що дозволяють отримати як кількісну, так і якісну характеристику системи. Основними методами є:

1. Порівняльний аналіз – зіставлення показників логістики з нормативами та стандартами галузі.
2. Метод KPI (Key Performance Indicators) – використання ключових показників ефективності для кожного блоку логістичної системи.
3. ABC-аналіз запасів – оцінка пріоритетності матеріалів та їх впливу на загальний логістичний процес.
4. Методологія SWOT – визначення сильних і слабких сторін, можливостей та загроз логістичної системи.
5. Моделювання логістичних процесів – використання комп’ютерного моделювання для прогнозування ефективності при зміні параметрів системи.

Таблиця 2.3 - Методи оцінки ефективності логістичних систем

Метод	Суть методу	Переваги
Порівняльний аналіз	Зіставлення показників з нормативами та стандартами	Простота використання, наочність
KPI	Визначення ключових показників для оцінки роботи блоків	Можливість контролю окремих процесів
ABC-аналіз запасів	Ранжування матеріалів за пріоритетністю	Оптимізація запасів та зниження витрат
SWOT-аналіз	Визначення сильних та слабких сторін системи	Комплексна оцінка та стратегічне планування
Моделювання процесів	Симуляція логістичних потоків	Прогнозування ефективності при змінах

На практиці оцінка ефективності логістичних систем на підприємствах будівельного сектору здійснюється у кілька етапів:

1. Збір даних – інформація про обсяги поставок, запаси, витрати, терміни виконання робіт та інциденти.
2. Аналіз даних – розрахунок ключових показників (KPI, витрати, своєчасність, продуктивність).
3. Виявлення проблем – визначення слабких місць, перевитрат, затримок та неефективних процесів.
4. Розробка заходів – пропозиції щодо оптимізації потоків, зниження витрат та підвищення продуктивності.
5. Контроль та коригування – впровадження заходів та моніторинг результатів для підвищення ефективності системи.

Таблиця 2.4 - Етапи практичної оцінки ефективності логістичної системи

Етап	Діяльність	Очікуваний результат
Збір даних	Аналіз поставок, запасів, витрат	Повна інформаційна база для оцінки
Аналіз даних	Розрахунок KPI та інших показників	Визначення поточного рівня ефективності
Виявлення проблем	Ідентифікація слабких місць та перевитрат	Список проблемних процесів
Розробка заходів	Пропозиції щодо оптимізації	План підвищення ефективності
Контроль та коригування	Моніторинг та внесення змін	Підвищення продуктивності та зниження витрат

Оцінка ефективності діючих логістичних систем на підприємствах будівельного сектору є необхідною умовою підвищення конкурентоспроможності компаній, забезпечення своєчасного виконання проектів та оптимізації витрат. Вона дозволяє виявити слабкі місця у роботі постачальницького, виробничого, транспортного, інформаційного та фінансового блоків системи, а також розробити заходи щодо їх оптимізації.

Використання сучасних методів оцінки ефективності, таких як KPI, ABC-аналіз, SWOT-аналіз та моделювання логістичних процесів, дозволяє підприємствам будівельного сектору підвищити прозорість і контроль за ресурсами, скоротити витрати на логістику та підвищити продуктивність праці. Інтеграція інформаційних систем та автоматизація управління потоками матеріалів і фінансів є ключовими факторами підвищення ефективності логістики у будівельних проектах.

Оптимізація логістичних систем на основі оцінки ефективності дозволяє будівельним підприємствам не лише підвищити рентабельність діяльності, але й забезпечити високий рівень якості будівельних об’єктів, своєчасне виконання контрактів та стабільне фінансове функціонування. В

умовах зростаючої конкуренції та глобалізації ринку управління логістикою стає стратегічним інструментом розвитку підприємств будівельного сектору.

2.2 Аналіз використання інформаційних технологій у логістиці будівельних проектів

Сучасна будівельна галузь характеризується високою складністю організації робіт, необхідністю координації великої кількості підрядників, постачальників та ресурсів, а також суворим дотриманням термінів реалізації проектів. В умовах глобалізації ринку будівельних матеріалів і швидкого впровадження нових технологій управління логістикою стає критично важливим елементом ефективності будь-якого будівельного підприємства.

Інформаційні технології (ІТ) забезпечують комплексне управління логістичними процесами, дозволяють оптимізувати облік ресурсів, планування постачання та виконання робіт, підвищують прозорість і контроль всіх етапів будівельного проекту. Аналіз використання ІТ у логістиці будівельних проектів дозволяє оцінити їх ефективність, визначити ключові напрямки вдосконалення та інтеграції сучасних рішень у систему управління ресурсами.

Поняття інформаційних технологій у будівельній логістиці

Інформаційні технології у логістиці будівельних проектів – це сукупність програмних і апаратних засобів, що забезпечують збір, обробку, зберігання та обмін інформацією про всі матеріальні, фінансові та інформаційні потоки у процесі реалізації проектів. Основні функції ІТ у логістиці включають:

1. Моніторинг ресурсів – контроль наявності матеріалів, обладнання та інструментів на складах і будівельних майданчиках.

2. Планування та прогнозування – визначення оптимальних обсягів запасів, маршрутів доставки та термінів виконання робіт.

3. Автоматизація процесів – впровадження електронного документообігу, управління складом, транспортом та виробничими процесами.

4. Аналітика та звітність – аналіз ефективності логістики, контроль витрат і оцінка показників продуктивності.

5. Інтеграція з підрядниками та постачальниками – забезпечення безперервного обміну даними та координації всіх учасників проекту.

Таблиця 2.5 - Функції інформаційних технологій у будівельній логістиці

Функція	Зміст	Приклади використання
Моніторинг ресурсів	Контроль наявності матеріалів та обладнання	Системи обліку складів, RFID, штрих-коди
Планування та прогнозування	Оптимізація запасів та маршрутів	ERP, BIM, програми планування робіт
Автоматизація процесів	Електронний документообіг, контроль виробництва	WMS, системи управління транспортом
Аналітика та звітність	Оцінка ефективності логістики	BI-системи, генерація KPI та звітів
Інтеграція	Взаємодія з постачальниками та підрядниками	Платформи для обміну даними, EDI-системи

Основні інформаційні технології, що використовуються у логістиці будівельних проектів

1. ERP-системи (Enterprise Resource Planning)

ERP-системи забезпечують комплексне управління ресурсами підприємства, інтегруючи фінанси, постачання, виробництво та складські процеси. У будівельній логістиці ERP дозволяє:

- планувати закупівлі та контролювати запаси матеріалів;
- відстежувати переміщення ресурсів на будівельних майданчиках;

- контролювати фінансові витрати і бюджет проекту;
- автоматизувати звітність і облік ресурсів.

2. BIM (Building Information Modeling)

BIM-технології забезпечують тривимірне моделювання будівельного об’єкта з урахуванням усіх матеріальних, технічних та ресурсних характеристик. Використання BIM у логістиці дозволяє:

- прогнозувати потреби у матеріалах та обладнанні на кожному етапі проекту;
- оптимізувати маршрути доставки та розміщення матеріалів на майданчику;
- координувати роботу підрядників та внутрішні потоки на об’єкті;
- забезпечувати інтеграцію з ERP і WMS-системами.

3. WMS (Warehouse Management System)

Складські системи управління (WMS) автоматизують процеси прийому, зберігання та відвантаження матеріалів. У будівельних проектах WMS дозволяє:

- зменшувати запаси матеріалів та мінімізувати простій ресурсів;
- відстежувати рух матеріалів між складами і будмайданчиками;
- формувати звіти про залишки і витрати;
- інтегруватися з транспортними та ERP-системами для комплексного управління.

4. Транспортні системи управління (TMS)

TMS-системи забезпечують оптимізацію маршрутів доставки матеріалів, контроль транспорту та розрахунок витрат на перевезення. Основні переваги використання TMS:

- планування маршрутів з урахуванням часу доставки та навантаження;
- зниження витрат на транспортування;
- моніторинг транспортних засобів у реальному часі;

- інтеграція з ERP та складськими системами для управління логістикою.

5. RFID та штрих-код технології

Використання радіочастотних міток (RFID) та штрих-кодів дозволяє оперативно відстежувати рух матеріалів на складах та будмайданчиках. Це забезпечує:

- точний облік ресурсів;
- контроль над втратами та крадіжками матеріалів;
- підвищення швидкості обліку та видачі матеріалів;
- інтеграцію з WMS та ERP для автоматичного оновлення даних.

Таблиця 2.6 - Основні IT-рішення у логістиці будівельних проектів

Технологія	Основні функції	Переваги	Приклади використання
ERP	Комплексне управління ресурсами	Інтеграція фінансів, постачання та виробництва	SAP, Oracle, 1C ERP
BIM	Тривимірне моделювання об’єктів	Прогнозування потреб, координація робіт	Autodesk Revit, ArchiCAD
WMS	Управління складськими процесами	Зниження запасів, контроль руху матеріалів	Manhattan WMS, SAP EWM
TMS	Планування та моніторинг транспорту	Оптимізація маршрутів, зниження витрат	Oracle Transportation, SAP TMS
RFID/Штрих-код	Відстеження матеріалів	Точний облік, швидкість обліку	Zebra Technologies, Honeywell

Переваги використання інформаційних технологій у будівельній логістиці

1. Підвищення точності обліку ресурсів – автоматизація дозволяє уникнути помилок та втрат матеріалів.

2. Оптимізація витрат – планування закупівель, маршрутів та складів знижує загальні витрати на логістику.

3. Скорочення часу виконання робіт – ефективне управління потоками матеріалів та координація підрядників прискорює будівельні процеси.

4. Покращення прозорості та контролю – можливість відстежувати всі процеси у реальному часі.

5. Інтеграція всіх учасників проекту – забезпечує взаємодію між постачальниками, підрядниками та внутрішніми блоками підприємства.

Таблиця 2.7 - Переваги використання IT у логістиці будівельних проектів

Перевага	Опис	Приклади застосування
Підвищення точності обліку	Мінімізація помилок та втрат	RFID, WMS, ERP
Оптимізація витрат	Зниження витрат на закупівлі, транспорт	TMS, ERP, BI
Скорочення часу виконання робіт	Прискорення постачання та координації	BIM, ERP, WMS
Прозорість та контроль	Відстеження потоків у реальному часі	ERP, WMS, TMS
Інтеграція учасників	Координація постачальників та підрядників	Платформи EDI, BIM

Незважаючи на численні переваги, підприємства будівельного сектору стикаються з проблемами під час впровадження інформаційних технологій:

1. Висока вартість впровадження та обслуговування систем.

2. Недостатня кваліфікація персоналу для роботи з IT-рішеннями.

3. Проблеми інтеграції з існуючими системами та процесами.

4. Опір змінам та низька мотивація співробітників.

5. Необхідність постійного оновлення технологій та програмного забезпечення.

Таблиця 2.8 - Проблеми впровадження IT у логістиці будівельних проектів

Проблема	Причини виникнення	Наслідки для логістики
Висока вартість	Дорогі ліцензії, обладнання та обслуговування	Обмежене впровадження систем
Недостатня кваліфікація	Відсутність навчання персоналу	Низька ефективність використання IT
Проблеми інтеграції	Несумісність нових систем з існуючими	Дублювання процесів, помилки у даних
Опір змінам	Низька мотивація та страх перед новими технологіями	Повільне впровадження та використання
Постійне оновлення	Швидкий розвиток технологій	Додаткові витрати та навчання персоналу

Використання інформаційних технологій у логістиці будівельних проектів є ключовим фактором підвищення ефективності управління ресурсами, скорочення витрат та забезпечення своєчасного виконання робіт. ERP, BIM, WMS, TMS, RFID та штрих-код технології забезпечують комплексний контроль за матеріальними, фінансовими та інформаційними потоками, інтеграцію всіх учасників проекту та підвищення прозорості процесів.

Підвищення ефективності логістики за рахунок IT дозволяє будівельним підприємствам оптимізувати запаси, планувати маршрути доставки, координувати роботу підрядників та відстежувати виконання робіт у режимі реального часу. Водночас впровадження IT пов’язане з певними

проблемами, такими як висока вартість систем, необхідність навчання персоналу та інтеграції з існуючими процесами.

Оптимізація логістичних процесів через використання ІТ стає стратегічним інструментом підвищення конкурентоспроможності підприємств будівельного сектору, дозволяючи підвищити продуктивність праці, якість об’єктів та ефективність використання ресурсів.

2.3 Визначення напрямів удосконалення логістичних процесів на основі цифрових рішень

Сучасна будівельна галузь характеризується підвищеною складністю організації робіт, великою кількістю учасників проектів, необхідністю точного контролю ресурсів і жорсткими термінами реалізації будівельних об’єктів. У цих умовах ефективність логістичних процесів стає стратегічним фактором успішної діяльності підприємств будівельного сектору.

Цифрові рішення, включаючи інформаційні системи управління ресурсами, моделювання та автоматизацію процесів, стають основою для оптимізації логістики. Вони забезпечують високу точність обліку матеріалів, прогнозування потреб, координацію робіт на будівельному майданчику та інтеграцію всіх учасників проекту. Визначення напрямів удосконалення логістики на основі цифрових рішень є важливим завданням для підвищення продуктивності, зниження витрат і забезпечення своєчасного виконання будівельних проектів.

Сучасний стан логістичних процесів у будівельній галузі

Логістичні процеси у будівельних проектах включають закупівлю матеріалів та обладнання, транспортування, складування, управління запасами, організацію внутрішніх потоків на майданчику та координацію

підрядників. Традиційно ці процеси були організовані за паперовими або локальними цифровими методами, що призводило до:

- перевитрат матеріалів та часу;
- дублювання обліку та документації;
- низької прозорості процесів і обмеженого контролю;
- складнощів у прогнозуванні ресурсних потреб та витрат.

Застосування цифрових рішень дозволяє трансформувати традиційну логістику у більш гнучку, прозору та інтегровану систему, здатну адаптуватися до змін обсягів робіт, ринку постачальників та умов будівництва.

Таблиця 2.9 - Основні проблеми традиційної логістики у будівництві

Проблема	Причини виникнення	Наслідки для проектів
Перевитрати матеріалів	Відсутність точного обліку	Збільшення витрат та простої
Дублювання обліку	Паперові документи, локальні системи	Затримки у прийнятті рішень
Низька прозорість процесів	Відсутність централізованого контролю	Неможливість моніторингу ресурсів
Проблеми прогнозування	Недостатньо даних для аналітики	Неефективне планування закупівель

Цифрові рішення включають різні технології та програмні комплекси, які забезпечують управління ресурсами, аналіз даних та оптимізацію процесів:

1. ERP-системи (Enterprise Resource Planning)

ERP-системи інтегрують управління фінансами, постачанням, виробництвом і складськими процесами. Вони дозволяють:

- планувати закупівлі матеріалів;
- контролювати запаси та переміщення ресурсів;
- формувати автоматизовані звіти;
- прогнозувати потреби і витрати.

2. BIM (Building Information Modeling)

BIM-технології забезпечують тривимірне моделювання будівельних об’єктів з усіма ресурсними характеристиками. Вони дозволяють:

- прогнозувати потреби у матеріалах та обладнанні на кожному етапі;
- координувати роботу підрядників;
- оптимізувати внутрішні логістичні потоки;
- інтегруватися з ERP та WMS для автоматизації процесів.

3. WMS (Warehouse Management System)

Складські системи управління автоматизують прийом, зберігання та відвантаження матеріалів, що дозволяє:

- зменшити запаси на складах;
- підвищити точність обліку;
- забезпечити швидке переміщення матеріалів на будмайданчику;
- інтегрувати дані зі ERP та TMS.

4. TMS (Transportation Management System)

Системи управління транспортом дозволяють оптимізувати маршрути доставки, контролювати транспортні засоби та розраховувати витрати на перевезення. Переваги включають:

- зниження витрат на транспортування;
- точне планування маршрутів і часу доставки;
- моніторинг у режимі реального часу;
- інтеграцію з ERP та WMS для комплексного управління.

5. Аналітичні та BI-системи

BI-системи (Business Intelligence) дозволяють обробляти великі обсяги даних, аналізувати ефективність логістики та приймати обґрунтовані управлінські рішення. Вони забезпечують:

- аналіз продуктивності праці та витрат;
- прогнозування потреб у матеріалах та ресурсах;
- виявлення слабких місць і резервів підвищення ефективності.

Таблиця 2.10 - Основні цифрові рішення у логістиці будівельних проектів

Технологія	Основні функції	Переваги використання	Приклади програмного забезпечення
ERP	Управління ресурсами, фінансами, постачанням	Інтеграція всіх процесів	SAP, Oracle, 1C ERP
BIM	Моделювання об’єктів та ресурсів	Прогнозування потреб, координація робіт	Autodesk Revit, ArchiCAD
WMS	Управління складом та запасами	Зниження запасів, контроль руху матеріалів	Manhattan WMS, SAP EWM
TMS	Планування та контроль транспорту	Оптимізація маршрутів, зниження витрат	Oracle Transportation, SAP TMS
BI-системи	Аналітика та звітність	Прийняття управлінських рішень	Microsoft Power BI, Tableau

Напрями удосконалення логістичних процесів на основі цифрових рішень:

1. Оптимізація запасів і постачання

Цифрові рішення дозволяють точно прогнозувати потреби у матеріалах та обладнанні на кожному етапі проекту. Напрями удосконалення включають:

- впровадження ERP та WMS для автоматизованого обліку запасів;
- використання алгоритмів прогнозування для планування закупівель;
- інтеграцію з постачальниками для своєчасного поповнення запасів.

2. Автоматизація внутрішніх логістичних потоків

Цифрові інструменти дозволяють оптимізувати переміщення матеріалів та обладнання на будмайданчику. Це включає:

- використання BIM для планування розташування матеріалів;
- автоматизоване переміщення ресурсів із застосуванням складів і транспортних систем;
- відстеження виконання робіт у реальному часі для зменшення простоїв.

3. Оптимізація транспорту та доставки

TMS-системи дозволяють ефективно планувати маршрути та розклад транспорту. Напрями удосконалення включають:

- планування маршрутів із урахуванням часу, навантаження та доступності шляхів;
- інтеграцію з GPS та IoT для моніторингу транспорту в реальному часі;
- аналіз витрат на перевезення та пошук оптимальних рішень.

4. Аналітика та контроль ефективності

BI-системи та цифрові панелі управління дозволяють аналізувати ефективність логістики та приймати обґрунтовані рішення. Напрями удосконалення включають:

- формування KPI для кожного блоку логістики;
- автоматизований моніторинг витрат, продуктивності праці та термінів виконання робіт;
- виявлення вузьких місць та резервів підвищення ефективності.

5. Інтеграція учасників проекту

Цифрові платформи дозволяють інтегрувати роботу підрядників, постачальників та внутрішніх підрозділів. Напрями удосконалення включають:

- впровадження платформ EDI та електронного обміну даними;
- інтеграцію ERP, BIM та TMS для координації всіх учасників;
- забезпечення прозорості процесів та швидкої реакції на зміни.

Таблиця 2.11 - Напрями удосконалення логістики на основі цифрових рішень

Напрям удосконалення	Використані цифрові рішення	Очікувані результати
Оптимізація запасів	ERP, WMS, алгоритми прогнозування	Зниження витрат, мінімізація перевитрат
Автоматизація внутрішніх потоків	BIM, WMS, IoT	Підвищення продуктивності, скорочення простоїв
Оптимізація транспорту	TMS, GPS, IoT	Зниження витрат на перевезення, точність доставки
Аналітика та контроль	BI-системи, цифрові панелі управління	Прозорість процесів, виявлення вузьких місць
Інтеграція учасників	EDI, інтеграція ERP, BIM, TMS	Координація робіт, швидке реагування на зміни

Незважаючи на численні переваги, впровадження цифрових рішень пов’язане з певними проблемами та ризиками:

1. Висока вартість ліцензій та впровадження систем.
2. Необхідність навчання персоналу та адаптації до нових процесів.
3. Проблеми інтеграції з існуючими системами та процесами.
4. Ризик технічних збоїв або втрати даних.
5. Опір змінам та низька мотивація співробітників.

Таблиця 2.12 - Проблеми впровадження цифрових рішень

Проблема	Причини виникнення	Наслідки для логістики
Висока вартість	Дорогі ліцензії та обладнання	Обмежене впровадження
Необхідність навчання персоналу	Низька кваліфікація	Неефективне використання систем

Проблеми інтеграції	Несумісність нових систем з існуючими	Дублювання процесів, помилки в обліку
Ризик технічних збоїв	Збої серверів, втрати даних	Перерви у роботі та затримки
Опір змінам	Низька мотивація, страх перед новими процесами	Повільне впровадження і використання

Удосконалення логістичних процесів на основі цифрових рішень є стратегічним завданням для підприємств будівельного сектору. Використання ERP, BIM, WMS, TMS, BI-систем та цифрових платформ дозволяє оптимізувати запас матеріалів, автоматизувати внутрішні потоки, ефективно управляти транспортом, аналізувати ефективність процесів та інтегрувати всіх учасників проекту.

Напрями удосконалення включають оптимізацію запасів і постачання, автоматизацію внутрішніх потоків, планування та контроль транспорту, аналітику та контроль ефективності, інтеграцію учасників проекту. Це дозволяє підприємствам зменшити витрати, скоротити простої, підвищити прозорість процесів та ефективність використання ресурсів.

Впровадження цифрових рішень супроводжується певними проблемами, такими як висока вартість, необхідність навчання персоналу, інтеграційні складнощі та опір змінам. Однак правильне планування, поетапне впровадження та підготовка персоналу дозволяють мінімізувати ризики та забезпечити стійке підвищення ефективності логістики у будівельних проектах.

Таким чином, цифровізація логістичних процесів стає ключовим фактором конкурентоспроможності та стратегічного розвитку підприємств будівельного сектору.

3. РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ІТ

3.1 Організація процесу матеріально-технічного постачання будівельних компаній на основі логістичного управління із залученням методів ранжування та мережевого аналізу

Перехід до ринкових відносин супроводжується глибокими перетвореннями як в самих будівельних системах, так і в середовищі їх функціонування. Соціально-економічні перетворення стали причиною різкого зростання невизначеності для будівництва зовнішнього середовища. Для багатьох будівельних організацій немає гарантованих постачань і фондів. Централізований розподіл здійснюється тільки за окремими видами продукції.

Важлива роль у своєчасному і якісному виконанні робіт покладена на комерційні організації, що організовують закупівлю матеріальних ресурсів. Невиконання зобов’язань з матеріально-технічного забезпечення породжують цілу низку негативних факторів: зриваються графіки будівництва, втрачається робочий час працівників, простоює будівельна техніка, зростає вартість будівництва, втрачається авторитет фірми [1, 2, 44].

Тому управління розвитком будівельного комплексу полягає, перш за все, в зміні пріоритетів між різними видами господарської діяльності будівельних систем на користь посилення значущості діяльності управління матеріальними, інформаційними і фінансовими потоками.

Існуюча система виробничо-технологічної комплектації об'єктів будівництва має істотні недоліки, серед яких потрібно відзначити недостатній зв'язок із заводами-постачальниками і транспортними

організаціями. Щоб вдосконалити цей зв'язок, забезпечити ефективну взаємодію в процесі комплектації будівництв матеріалами, виробами заводів-постачальників будівельних організацій, необхідна інженерна підготовка комплектації. Як будь-яка форма інженерної підготовки виробництва виробничо-технологічна комплектація повинна починатися з формування логістичної системи.

Логістична система - сукупність дій учасників ланцюга будівельного комплексу (підприємств-виробників, транспортних, торговельних організацій, будівельних організацій), побудованих так, щоб виконувалися основні завдання по активізації програм розвитку будівельного комплексу і його матеріально-технічної бази [1, 30, 44].

Логістичні системи дуже різноманітні по охопленню діяльності підприємства. Для деяких логістика це просто уміння працювати з базами даних, для деяких - постачальницька або складська діяльність. Але по своєму призначенню (а головне її призначення - зменшення витрат за умови виконання планових завдань, а отже збільшення ефективності виробничої діяльності) логістичні системи повинні охоплювати практично усі (окрім бухгалтерських, кадрових і т. п.) напрями діяльності [17, 18, 45].

Відштовхуючись від проведеного аналізу концепцій логістики : "Requirements / resource planning" - RP ("планування потреб / ресурсів") включає (MRP - Materials requirements planning, DRP (distribution requirements planning), MRPII - Manufacturing resource planning); JIT("Justin time") "точно-вчасно", EOQ МОДЕЛЬ, "Lean production" - "Худе виробництво", концепції ROP - rules based reorder; QR - guick response; CR - continuous replenishment; AR - automatic replenishment) і мікрологістичні системи KANBAN, MRP, OPT. Вибравши ті які в комплексі дозволяють вирішувати завдання функціонування будівельного комплексу. Рішення завдань на практиці зводиться до управління декількома компонентами, які складають так званий "logistics mix" будівельного комплексу.

Компанії можуть розвивати власні логістичні підрозділи, де самостійно вирішуються логістичні питання пов'язані з організацією і управлінням перевезеннями, облік і управління запасами, комплектація, складське зберігання, зв'язок (можливість отримання як кінцевої, так і проміжної інформації в процесі матеріалоруху).

3.2 Формування та аналіз матеріальних потоків у будівельній сфері через розроблення транспортно-логістичної структури, що об’єднує елементи будівельного комплексу

Логістична система будівельного майданчика є ключовим елементом управління ресурсами, оскільки від її ефективності залежить своєчасність постачання матеріалів, організація робіт і загальна продуктивність будівельного процесу. Побудова моделі такої системи дозволяє оптимізувати транспортні потоки, зменшити витрати на зберігання та переміщення матеріалів, а також підвищити узгодженість між усіма учасниками проекту.

Модель логістичної системи будівельного майданчика включає наступні основні компоненти:

1. Постачальники матеріалів та обладнання – підприємства, які забезпечують об’єкт необхідними ресурсами, включаючи залізобетонні конструкції, металоконструкції, будівельні суміші та інші матеріали.
2. Транспортні організації – компанії або внутрішній транспорт будівельного майданчика, що здійснюють доставку матеріалів від постачальників до об’єкта будівництва.
3. Склади та майданчики тимчасового зберігання – об’єкти, на яких зберігаються матеріали перед використанням у технологічному процесі.
4. Технологічні групи та робітники – персонал, який безпосередньо здійснює монтаж, будівництво та обробку матеріалів.

5. Інформаційна система управління – програмні засоби для планування, контролю і моніторингу руху ресурсів, забезпечення своєчасності постачань та аналізу ефективності логістичних операцій.

Така структура дозволяє виявити всі критичні точки логістичного ланцюга, де можливі затримки або додаткові витрати, і врахувати їх при розробці оптимальної моделі.

2. Основні принципи побудови моделі

Модель логістичної системи будівельного майданчика будується на основі наступних принципів:

- Ієрархічність – виділення рівнів системи: від загального управління будівельним проектом до окремих ланок постачання та внутрішнього переміщення матеріалів.
- Оптимізація потоків – мінімізація витрат часу і ресурсів на переміщення матеріалів і забезпечення безперебійної роботи технологічних груп.
- Інтеграція учасників – включення всіх суб’єктів логістичного процесу у єдину систему обміну інформацією та ресурсами.
- Адаптивність – здатність системи реагувати на зміни у графіку робіт, обсягах поставок або технологічних процесах.

3. Математичне моделювання

Для формалізації логістичної системи будівельного майданчика використовують транспортні моделі та методи оптимізації. Основна мета – визначення оптимального розподілу матеріальних потоків між постачальниками, складами та безпосередньо робітниками на майданчику з мінімізацією витрат на перевезення та зберігання.

Побудова моделі логістичної системи будівельного майданчика дозволяє комплексно оцінити всі елементи постачання, зберігання та внутрішнього переміщення матеріалів. Використання математичних методів оптимізації та цифрових технологій забезпечує мінімізацію витрат, своєчасність робіт і узгодженість дій між учасниками проекту. Такий підхід є

обов’язковим для великих будівельних проектів, де ефективність логістики безпосередньо впливає на терміни та якість виконання робіт

Тому у цьому розділі розглядається вирішення завдань, пов’язаних з одним із елементів «logistics mix» будівельного комплексу – організацією та управлінням перевезеннями. Відповідальність за вирішення таких завдань покладається на транспортну логістику.

Транспортна логістика – це система організації доставки, яка забезпечує переміщення матеріальних ресурсів із одного місця в інше з урахуванням принципів оптимізації. Основні функції транспортної логістики включають, зокрема: 1) класифікацію постачальників, 2) формування цінової політики.

Під транспортно-логістичною системою розуміють сукупність об’єктів і суб’єктів виробничої та логістичної інфраструктури разом із матеріальними, фінансовими та інформаційними потоками між ними, що забезпечують транспортування, зберігання, розподіл товарів, а також інформаційний супровід руху матеріалів [21].

Для ефективного функціонування транспортно-логістичної системи будівельного комплексу необхідно створити відповідну організаційну структуру, що відповідатиме матеріально-технічному забезпеченню будівельного виробництва згідно з технологічними вимогами. Це передбачає пошук оптимальних рішень щодо закріплення об’єктів будівництва за заводами будіндустрії із застосуванням бази управління транспортно-логістичною системою.

Матеріали та вироби від кожного постачальника доставляються на об’єкт у вигляді транспортних комплектів (рейсових комплектів), після отримання яких на будмайданчику формується технологічний комплект. Рейсовий комплект – це частина повного комплекту, що доставляється одним транспортним засобом за один рейс. Розробка таких комплектів є однією з головних задач транспортно-технологічної служби [37, 42, 43].

Логістична діяльність у будівництві носить інтегрований характер і зазвичай здійснюється в межах комплектувально-транспортно-будівельного комплексу (КТБК). Успішність діяльності в будівельному бізнесі визначається не лише результатами роботи окремої організації, а й ефективністю взаємодії з партнерами-постачальниками [44].

Особливістю логістики в будівельному виробництві є спільна діяльність учасників КТБК щодо переміщення матеріалів і виробів від постачальників до замовників. Одним із завдань логістизації будівництва є організація просування матеріального потоку (будівельних матеріалів, конструкцій, деталей, напівфабрикатів) від постачальника до приоб'єктних майданчиків. Для його вирішення застосовується класична транспортна задача, однак для підвищення ефективності вибору постачальників доцільно використовувати метод аналізу ієрархій (MAI), що дозволяє перетворити класичну задачу на абстрактну модель.

У загальному вигляді завдання може бути представлене наступним чином: існує m пунктів постачання, з яких продукція може транспортуватися до n пунктів споживання. Продуктивність i-го пункту постачання дорівнює Ai, а споживання j-го пункту – Bj. Значення Ai та Bj фіксуються на заданий період планування. Вартість перевезення одиниці продукції з пункту i до пункту j не залежить від обсягу вантажу і дорівнює Cij. Це відповідає класичній транспортній задачі. Для удосконалення рішення і вибору постачальників використовується MAI. Для заданого періоду планування визначається схема перевезень, за якою загальні транспортні витрати будуть мінімальними. При цьому розглядається перевезення одного виду продукції [1].

Графічна інтерпретація загальної задачі показана на рисунку 3.1.

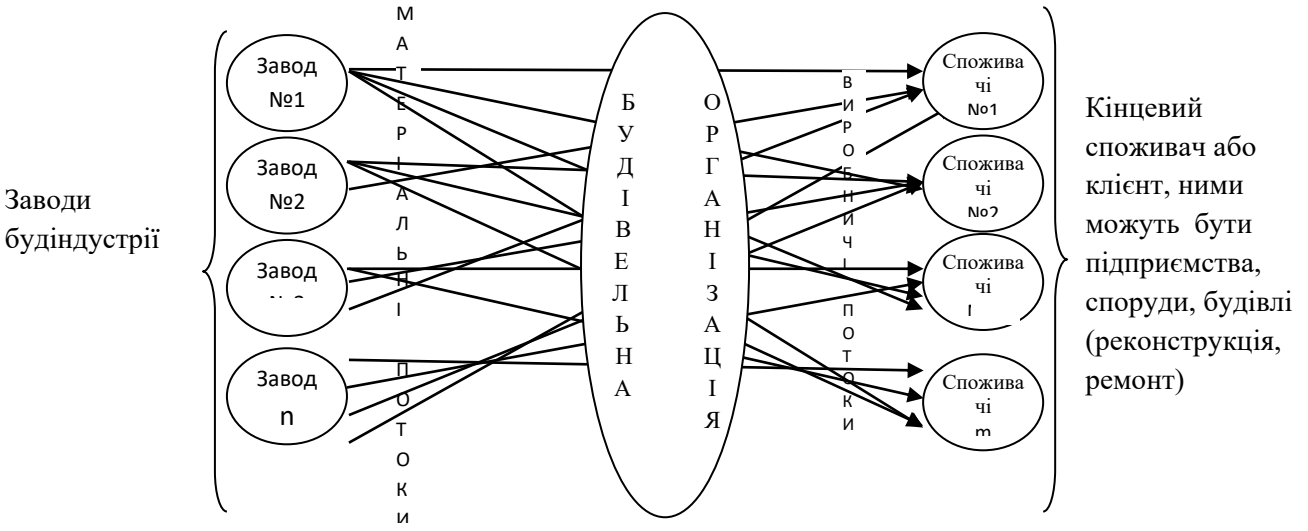


Рисунок 3.1 – Типова спрощена схема транспорто-логістична система

Завдання по вибору постачальника буде мати наступну модель ієрархії враховуючи альтернативи та критерії (рис.3.1) [1].

На основі досвіду В. І. Сергієва, який пропонує оцінку постачальників за п’ятьма ключовими критеріями, здійснюється всебічний підхід до вибору партнерів у постачанні матеріалів. До цих критеріїв відносяться: 1) рівень якості продукції, що охоплює відповідність технічним специфікаціям, відповідність очікуванням замовника та частку браку; 2) надійність постачальника, включаючи чесність, виконання договірних зобов’язань та фінансову стабільність; 3) економічна ефективність, що враховує всі витрати, пов’язані з процесом постачання; 4) обслуговування, яке охоплює швидкість реагування на зміни вимог, рівень підтримки після постачання та гнучкість у взаємодії; 5) умови платежу та можливість організації позапланових поставок. Важливо, що значення цих критеріїв може варіюватися залежно від конкретної ситуації, а для їх кількісного оцінювання застосовуються різні методики. Основною перевагою такого підходу є можливість його використання як для оцінки нових постачальників, так і для аналізу партнерів із досвідом співпраці, при цьому джерела інформації для оцінки відрізняються.

Дослідження Лайсонса та Джиллингема демонструють, що критерії для нових постачальників і тих, з ким вже є досвід співпраці, суттєво відрізняються. Для нових партнерів вони рекомендують використовувати набір із семи показників: 1) фінансова стабільність, яка оцінюється за відкритою фінансовою звітністю; 2) виробничі потужності та наявне обладнання; 3) кадровий потенціал; 4) загальна система управління якістю (TQM); 5) результати попередньої діяльності; 6) екологічна безпека та дотримання етичних стандартів; 7) застосування інформаційних технологій.

У випадку оцінки постачальників за результатами співпраці, Лайсонс та Джиллингем пропонують використовувати чотири комплексні критерії, яким надається рівна вага: 1) якість продукції; 2) цінова політика; 3) організація поставок; 4) партнерські взаємини. Кожен із цих критеріїв формується як поєднання безпосередньо вимірюваних складових, кожній із яких може бути надано різну вагу. Такі складові включають статистичні показники окремих аспектів співпраці з постачальником. Наприклад, для критерію «якість» враховуються: кількість виробничого браку за певний період, кількість браку на одиницю поставки та інші релевантні показники.

Виходячи з аналізу існуючих досліджень у сфері критеріїв вибору постачальників, у нашому випадку було обрано основні, на наш розсуд, критерії, при цьому їхня кількість може змінюватися залежно від специфіки підприємства чи проекту. Таким чином, формуються критерії та показники оцінки постачальників, які забезпечують об’єктивний та системний підхід до їхнього вибору.

Станом на 2025 рік у Запоріжжі функціонують кілька підприємств, що займаються виробництвом та постачанням залізобетонних конструкцій. Ось перелік основних з них табл 3.1:

Таблиця 3.1 – Підприємства будівельного комплексу

Назва підприємства	Статус	Адреса	Діяльність
Конкрейт Груп	Конкрейт Груп	Конкрейт Груп	Конкрейт Груп
ТОВ «Балівський завод ЗБК»	Діє	вул. Гончаренка, 7, офіс 12, Запоріжжя	Виготовлення залізобетонних конструкцій
ТОВ «ЗБ Постач Комплекс»	Діє	Запоріжжя	Постачання ЗБ-виробів і будматеріалів

Альтернативи (постачальники):

1. A_1 – Конкрейт Груп
2. A_2 – ТОВ «Балівський завод ЗБК»
3. A_3 – ТОВ «ЗБ Постач Комплекс».

Критерії:

1. Спеціалізація (C)
2. Якість (Q)
3. Резервна потужність (RP)
4. Надійність поставок (N)
5. Статус фінансування (F)
6. Ціна (Z).

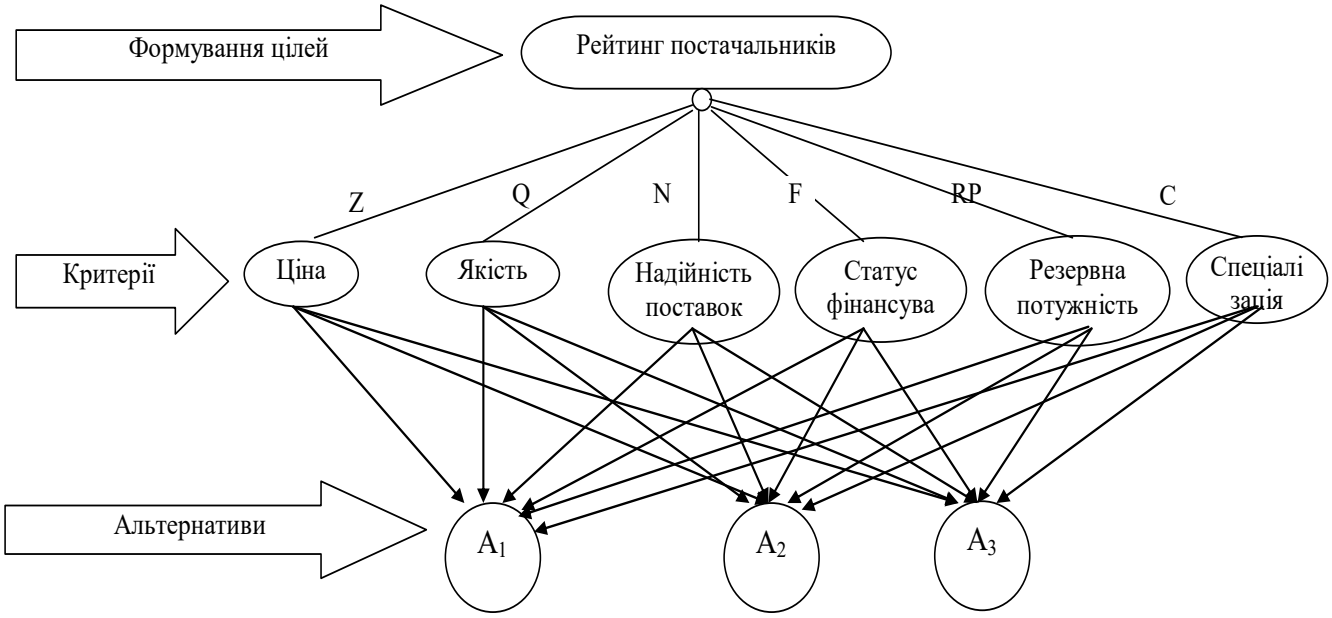


Рисунок 3.2. Дерево цілей для задачі моделювання рейтингу постачальників [1]

На попередньому етапі нами визначено шість критеріїв, які дозволяють охарактеризувати постачальників та забезпечують комплексну оцінку їхньої порівняльної значущості. Ієрархічна структура, сформована на цьому етапі, слугує моделлю, що відображає проведений аналіз ключових складових та їх взаємозв’язків.

Другим кроком у процесі формування рейтингу постачальників є визначення ваги кожного критерію. Найбільш поширеним підходом для цього є метод попарного порівняння, за допомогою якого створюється набір матриць, що порівнюють елементи ієрархії на конкретному рівні (окрім інтегрального) з точки зору їх впливу на елемент верхнього рівня, який узагальнює значущість цих складових. Важливість кожного критерію інтерпретується як внесок у досягнення головної мети.

Для оцінки використовують метод попарних порівнянь із шкалою, запропонованою Т. Сааті, що представлена у відповідній таблиці [33, 34]. У випадку, коли вагові коефіцієнти елементів ієрархії невідомі, порівняння здійснюються на основі експертних оцінок, які чисельно виражаються за встановленою шкалою. Важливо, щоб оцінювач присвоїв кожному параметру єдине відносне значення, яке показує, у скільки разів один показник

важливіший за інший стосовно конкретного елемента наступного рівня ієрархії [33].

Таблиця 3.2 - Дев'ятибальна шкала порівняння альтернатив за Т. Сааті

Інтенсивність (вага) відносної важливості	Якісна оцінка	Пояснення
1	Однаково важливі	Обидва елементи вносять однаковий внесок щодо досягнення кінцевої цілі
3	Не набагато важливіший	Існують висловлювання відносно пріоритету одного елемента щодо іншого, але ці висловлювання досить непереконливі
5	Суттєво важливіший	Існують достатньо переконливі докази та логічні критерії, що один за елементів є важливішим (вагомішим)
7	Значно важливіший	Існують переконливі докази великої значущості одного елемента порівняно з іншим
9	Абсолютно важливіший	Усвідомлення пріоритету одного елемента щодо іншого максимально підтверджується
2, 4, 6, 8	Проміжні оцінки між двома сусідніми судженнями	Потрібен певний компроміс
$1/\nu, \nu = 1,\ldots,9$	Обернені значення ненульових оцінок	Якщо елементу i при порівнянні з елементом k надається одна з ненульових інтенсивностей, то елементу k при порівнянні з i надається обернене значення цієї інтенсивності
0	Непорівнянність	Немає сенсу в порівнянні елементів

Скористаємося таблицею 3.2 і побудуємо матрицю парних порівнянь для виділених нами дев'яти критеріїв. Результати порівнянь представлені в табл. 3.3.

Знайдемо локальний вектор пріоритетів $W=(w_1,\ldots, w_9)$ за умови дотримання рівності $\sum_{i=1}^{9} w_i = 1$ Фактично даний вектор виступає системою ваг розмірністю *«9»*.

Оцінимо однорідність суджень індексом однорідності (*ІУ*).

Таблиця 3.3 - Матриця парних порівнянь значимості критеріїв для задачі вибору постачальників

Порівнювані критерії	Ціна	Якість	Надійність поставок	Статус фінансування	Резервна потужність	Спеціалізація (асортимент)
Ціна	1	3	3	4	7	5
Якість	1/3	1	1	3	3	2
Надійність поставок	1/3	1	1	1/3	1/2	3
Статус фінансування	1/4	1/3	3	1	4	1/3
Резервна потужність	1/7	1/3	2	1/4	1	1/3
Спеціалізація (асортимент)	1/5	1/2	1/3	3	3	1

Знаходження вектору пріоритетів у вигляді таблиці 3.4:

Таблиця 3.4 - Знаходження вектору пріоритетів

Матриця порівнянь						проміжний вектор	вектор пріоритетів
1,00	3,00	3,00	4,00	7,00	5,00	23,00	0,38
0,33	1,00	1,00	3,00	3,00	2,00	10,33	0,17
0,33	1,00	1,00	0,33	0,50	3,00	6,17	0,10
0,25	0,33	3,00	1,00	4,00	0,33	8,91	0,15
0,14	0,33	2,00	0,25	1,00	0,33	4,06	0,07
0,20	0,50	0,33	3,00	3,00	1,00	8,03	0,13
						60,50	1

Знаходимо найбільше власне число матриці парних порівнянь λ_{max} (табл. 3.5)

Таблиця 3.5 - Найбільше власне число матриці парних порівнянь

Матриця порівнянь						вектор пріоритетів	λmax
1,00	3,00	3,00	4,00	7,00	5,00	0,38	2,92
0,33	1,00	1,00	3,00	3,00	2,00	0,17	1,31
0,33	1,00	1,00	0,33	0,50	3,00	0,10	0,88
0,25	0,33	3,00	1,00	4,00	0,33	0,15	0,92
0,14	0,33	2,00	0,25	1,00	0,33	0,07	0,46
0,20	0,50	0,33	3,00	3,00	1,00	0,13	0,97
						1	7,46

$$\lambda_{\max} = 7.46 \quad IУ = \frac{7.46-6}{6-1} = 0,27 \quad BУ = \frac{0,27}{1,24} = 0,202$$

Відношення узгодженості знаходиться в припустимих межах (в деяких випадках допускається ВУ = 20%), але не більше, то відбувається перехід до п’ятого етапу алгоритму.

Проведемо порівняння постачальників відносно шести характеристик у вигляді таблиць 3.6 -3.17.

Таблиця 3.6 - Порівняння постачальників відносно спеціалізації

Спеціалізація	А1	А2	А3
А1	1	1/2	1/3
А2	2	1	3
А3	3	1/3	1

Таблиця 3.7 - Розв’язування порівняння постачальників відносно спеціалізації

Спеціалізація Матриця порівнянь			вектор пріоритетів	λmax	ІУ	ВУ
1,00	0,33	0,50	0,15	0,48	0,05	0,08
3,00	1,00	3,00	0,58	1,85		
2,00	0,33	1,00	0,27	0,77		
			1,00	3,10		

Таблиця 3.8 - Порівняння постачальників відносно якості

Якість	A1	A2	A3
A1	1	1	1
A2	1	1	1
A3	1	1	1

Таблиця 3.9 - Розв’язування порівняння постачальників відносно якості

Якість Матриця порівнянь			вектор пріоритетів	λmax	ІУ	ВУ
1	1	1	0,33	1	0	0
1	1	1	0,33	1		
1	1	1	0,33	1		
			1,00	3		

Таблиця 3.10 - Порівняння постачальників відносно резервної потужності

Резервна потужність	A1	A2	A3
A1	1	3	5
A2	1/3	1	3
A3	1/5	1/3	1

Таблиця 3.11- Розв’язування порівняння постачальників відносно резервної потужності

Резервна потужність Матриця порівнянь			вектор пріоритетів	λmax	ІУ	ВУ
1,00	3,00	5,00	0,61	2,00	0,06	0,10
0,33	1,00	3,00	0,29	0,80		
0,20	0,33	1,00	0,10	0,32		
			1,00	3,12		

Таблиця 3.12- Порівняння постачальників відносно надійності постачань

Надійність постачань	A1	A2	A3
A1	1	1	2
A2	1	1	2
A3	1/2	1/2	1

Таблиця 3.13 - Розв’язування порівняння постачальників відносно надійності постачань

Надійність постачань Матриця порівнянь			вектор пріоритетів	λmax	ІУ	ВУ
1	1	2	0,4	1,2	0,00	0,00
1	1	2	0,4	1,2		
0,5	0,5	1	0,2	0,6		
			1	3		

Таблиця 3.14- Порівняння постачальників відносно статусу фінансування

Статус фінансування	A1	A2	A3
A1	1	1	2
A2	1	1	2
A3	1/2	1/2	1

Таблиця 3.15 -Розв’язування порівняння постачальників відносно статусу фінансування

статус фінансування Матриця порівнянь			вектор пріоритетів	λmax	ІУ	ВУ
1,00	1,00	3,00	0,46	1,34	0,01	0,01
1,00	1,00	2,00	0,37	1,17		
0,33	0,50	1,00	0,17	0,51		
			1,00	3,02		

Таблиця 3.16- Порівняння постачальників відносно ціни

Ціна	А1	А2	А3
А1	1	3	7
А2	1/3	1	4
А3	1/7	1/4	1

Таблиця 3.17 - Розв'язування порівняння постачальників відносно ціни

Ціна Матриця порівнянь			вектор пріоритетів	λmax	ІУ	ВУ
1,00	3,00	7,00	0,62	2,07	0,07	0,12
0,33	1,00	5,00	0,30	0,82		
0,14	0,20	1,00	0,08	0,24		
			1,00	3,14		

Для отримання ранжирування постачальників, помножимо матрицю таблиці 3.18 справа на транспонований вектор-рядок вагів характеристик. Це процедура «зважування» кожного з отриманих вище з шісти власних векторів пріоритетом відповідної характеристики і потім скласти. В результаті маємо.

Таблиця 3.18- Зважування кожного з отриманих вище з шісти власних векторів пріоритетом відповідної характеристики

	Спеціалізація	Якість	Резервна потужність	Надійність поставок	Статус фінансування	Ціна
А1	0,33	0,33	0,44	0,41	0,29	0,43
А2	0,33	0,33	0,25	0,32	0,29	0,33
А3	0,33	0,33	0,31	0,27	0,43	0,24

Згодом з проведень обчислень отримали загальну оцінку кожного постачальника А1=0,36; А2=0,32; А3=0,31.

$$\begin{bmatrix} 0,33 & 0,33 & 0,44 & 0,41 & 0,29 & 0,43 \\ 0,33 & 0,33 & 0,25 & 0,32 & 0,29 & 0,33 \\ 0,33 & 0,33 & 0,31 & 0,27 & 0,43 & 0,24 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,38 \\ 0,17 \\ 0,10 \\ 0,15 \\ 0,07 \\ 0,13 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,36 \\ 0,32 \\ 0,31 \end{bmatrix}$$

Після рейтингування постачальників застосовуємо класичну транспортну задачу, яка доведе рішення загальної задачі по закріпленню об’єктів будівництва за заводами будіндустрії.

Умови задачі зручно розташовувати у вигляді таблиці 3.19, вписуючи в великі клітини кількість вантажу, що перевозиться (X_{11}, X_{21},…, X_{mn}), з A_i в B_j X_{ij}>=0, а в маленькі клітинки – відповідні тарифи C_{ij} (C_{11}, C_{21},…, C_{mn}).

Завдання може містити додаткові обмеження, пов'язані із специфікою продукції, що вимагає особливих умов перевезення і складування.

Математична постановка задачі полягає в мінімізації сумарних транспортних витрат або мінімізації вантажообігу.

Формулювання задачі про розміщення підприємств має наступний вигляд.

Умовно об'єкти будівництва (споживачів) розташуємо за адресами:

1. B_1 – перший об’єкт ;
2. B_2 – другий об’єкт
3. B_3 – третій об’єкт;
4. B_4 – четвертий об’єкт .

Кожному з об'єктів задамо попит на певний вид продукції: b_1, b_2, b_3, b_4 .

Виберемо постачальників – заводи будіндустрії які випускають необхідну продукцію:

4. A_1 – будівельне підприємство 1;
5. A_2 – будівельне підприємство 2;
6. A_3 – будівельне підприємство 3.

У кожному пункті знаходиться тільки одне підприємство (якщо декілька, то відповідно збільшується число пунктів), але потужності підприємств різні. Потужність кожного з підприємств позначимо a_i^k, де нижній індекс відповідає номеру пункту, а верхній – номеру варіанту потужності.

Кількість варіантів потужності в кожному пункті різна. Ця кількість позначена через $P_i, i = 3$. Тоді $K = 1,..., P_i$. При К = 1 потужність дорівнюється нулю. Витрати на перевезення одиниці продукції з пункту *1* в пункт *4* позначені – C_{ij} розмір витрат на придбання одиниці продукції в пункті *i* при варіанті потужності k - S_i^k. Розмір партії постачання продукції з пункту *i* в пункт *j* в оптимальному варіанті - x_{ij}.

Оскільки тільки за результатами розрахунку встановлюється, який варіант потужності підприємств *i* увійде до оптимального плану, вводиться невідоме Y_i^k за допомогою якого сформулюємо вимогу цілочисельності в умовах задачі. Це невідоме може бути рівне *1* або *0*, причому, якщо $Y_i^k = 1$, це означає, що даний варіант потужності входить в оптимальний варіант, а якщо $Y_i^k = 0$, то відповідний варіант в оптимальне рішення не входить. Оскільки від кожного підприємства може увійти до рішення тільки один варіант, то ця вимога відповідає наступному рівнянню (3.1-3.3):

$$\sum Y_i^k = 1, (i = 1...3) \tag{3.1}$$

Сума постачань в кожен пункт споживання повинна відповідати його попиту:

$$\sum X_{ij} = b_i, (i = 1...4) \tag{3.2}$$

Сума постачань кожного з підприємств-постачальників повинна бути рівною одному з варіантів його потужності:

$$\sum X_{ij} = \sum a_i^k \tag{3.3}$$

Завдання має сенс тільки за тієї неодмінної умови, що сума максимальних потужностей кожного підприємства більша сумарного попиту $\sum a_i^P = \sum b_i$. Наявність такої умови робить задачу завданням. Тільки якщо

сумарна потужність з всіх варіантів більша, ніж сумарний попит, створюється можливість вибору оптимального варіанта.

Вимога до постачань $x_{ij} \geq 0$ дозволяє записати функціонал у вигляді (3.4):

$$F(x) = \sum x_{ij} C_{ij} \rightarrow min \qquad (3.4)$$

Перетворимо формулу (3.4) у вигляд (3.5), де враховується рейтингова оцінка кожного з постачальників:

$$F(x) = \sum x_{ij} \eta_{ij} (C_{ij} + c_{ij}) \rightarrow min \qquad (3.5)$$

Таким чином, отримане рівняння є економіко-математичною моделлю задачі про розміщення замовлень з урахуванням рейтингової оцінки кожного з постачальників. Модель дозволяє привести задачу до вигляду, що допускає її кількісне рішення. Буді-яку задачу можливо описати системою рівнянь і нерівностей для приведення її до відомих методів вирішення, але якщо методів рішення не існує, то їх слід розробити. Проте модель повинна бути такою, щоб задачу можна було вирішити. У цьому і полягає пошук коректного рішення задачі [1, 2, 44].

У найзагальнішому вигляді методика рішення наступна. Складається матриця, рядки якої відводяться під варіанти виробництва, а стовпці – під споживачів. Сумарний попит всіх споживачів набагато менший сумарної потужності всіх постачальників за даними варіантами, з яких необхідно зробити вибір, що і робить модель відкритою. Для дотримання балансу умов вводиться стовпець фіктивного споживача з попитом, рівним розбалансуванню. Матриця показників C_{ij} (за винятком стовпця фіктивного споживача) заповнюється числами, що характеризують сукупні витрати на придбання одиниці продукції за відповідним варіантом і на доставку її до відповідного пункту споживання [1].

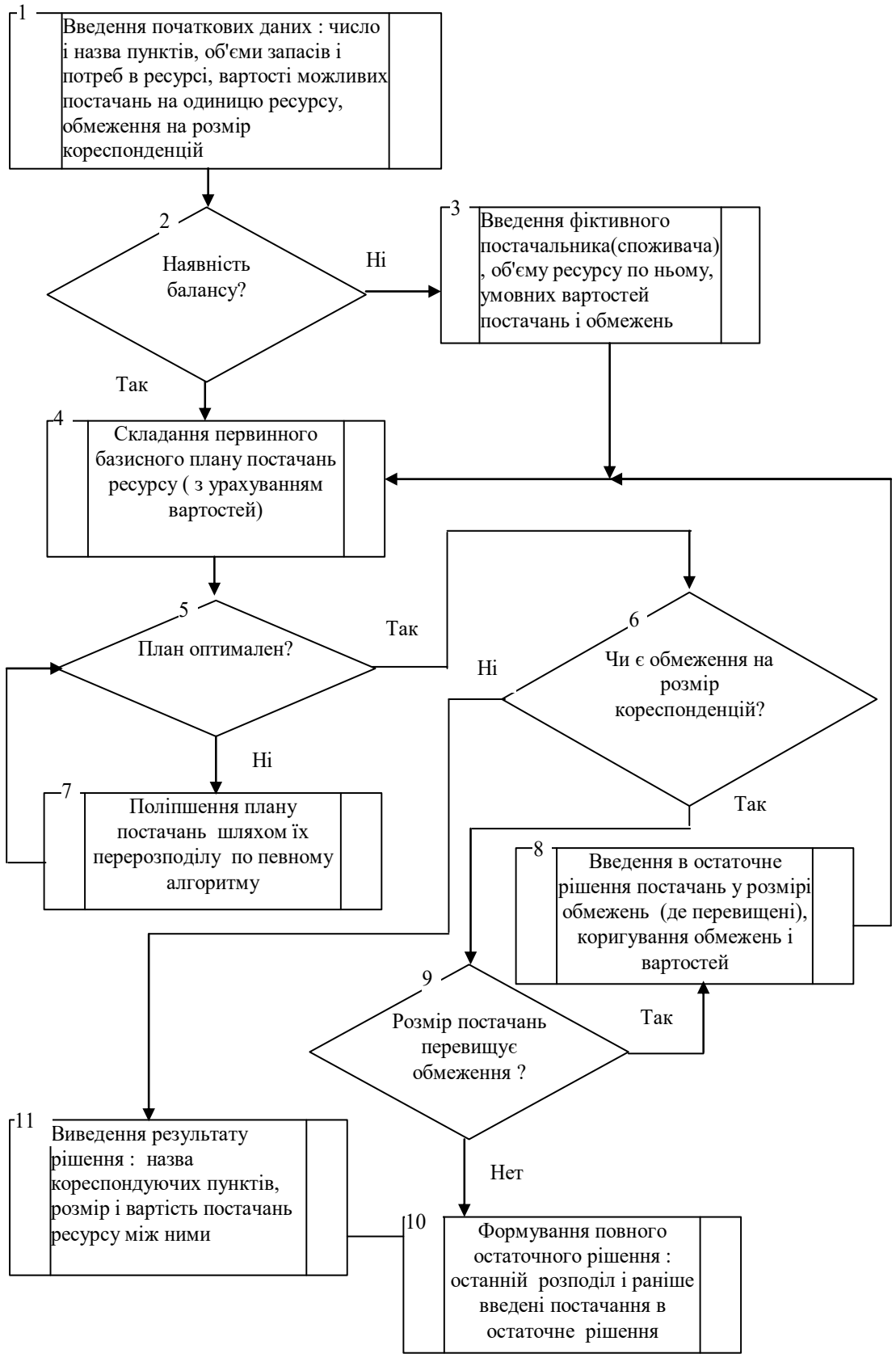


Рисунок 3.3 – Загальна схема алгоритму рішення задачі руху матеріального потоку матеріальних ресурсів [1]

Таблиця 3.19 Пошук оптимального варіанта розміщення замовлення

Варіанти постачальників і їх потужності	Споживачі і їх попит			
	B_1	B_2	B_3	B_4
	2700	2500	6500	3300
A_1 8200	(58+850)· 0,36	(65+850) · 0,36	(63+850) · 0,36	(54+850) · 0,36
A_2 7800	(60+960) · 0,32	(55+960) · 0,32	(56+960) · 0,32	(59+960) · 0,32
A_3 9000	(78+1050) · 0,31	(68+1050) · 0,31	(70+1050) · 0,31	(66+1050) · 0,31
25000>15000				

Знаходячись в епосі сучасних комп'ютерних технологій, автоматизації господарської діяльності підприємств, у тому числі і будівельно-монтажних організацій, де всі розрахунки виконуються за допомогою прикладних програм, таких як «ПОТІК v1.1».

Метод і алгоритм рішення: попередньо будується мережа і визначається початкова циркуляція, що задовольняє умові збереження потоку. Сітьова модель розрахунку приведена на рисунку 3.6. Нульова циркуляція завжди задовольняє ці умови. Потім для вузлів призначаються довільні числа π і виконується процедура розстановки відміток. У разі виникнення прориву потоки по дугах змінюються, в іншому випадку визначаються нові вузлові числа і дана процедура повторюється. Алгоритм виключення дефекту (АВД) є прямодвійним алгоритмом, тому задане початкове рішення може не відповідати умовам ні прямої, ні подвійної задачі. Інші алгоритми не володіють такою гнучкістю.

Розглянемо цю задачу як сітьову (рис.3.4) з метою можливості застосування АВД. Для цього необхідно виконати дві процедури:

1. Сформулювати математичну постановку завдання у вигляді потокової із замкнутою мережею з обмеженою пропускною здатністю.

2. Задати початкові значення подвійних змінних $П_к$ (вузлові числа) і початкову циркуляцію f_{ij}, що задовольняє умові збереження потоку. Для даного приклада матриця має наступний вигляд: f_{ij} – кількість одиниць

продукції, що перевозиться з і-го заводу на j-те будівництво, A_i - пропозиція і-го заводу, B_j – попит j-й будівництва, c_{ij} – витрати на перевезення одиниці продукції з і-го заводу на j-те будівництво, C_{ij} вартість залізобетонної конструкції, η_{ij} – оцінка постачальника.

Завдання можливо описати формулою (3.5) відповідно до системи (3.8):

$$F(x) = \sum x_{ij}\eta_{ij}(C_{ij} + c_{ij}) \rightarrow min$$

$$\begin{cases} f_{ij} \le A_i \quad i = 1,2,...,m \\ f_{ij} \ge B_j \quad j = 1,2,...,n \\ f_{ij} > 0 \quad для\ всіх \quad (i,j) \in A \end{cases} \tag{3.8}$$

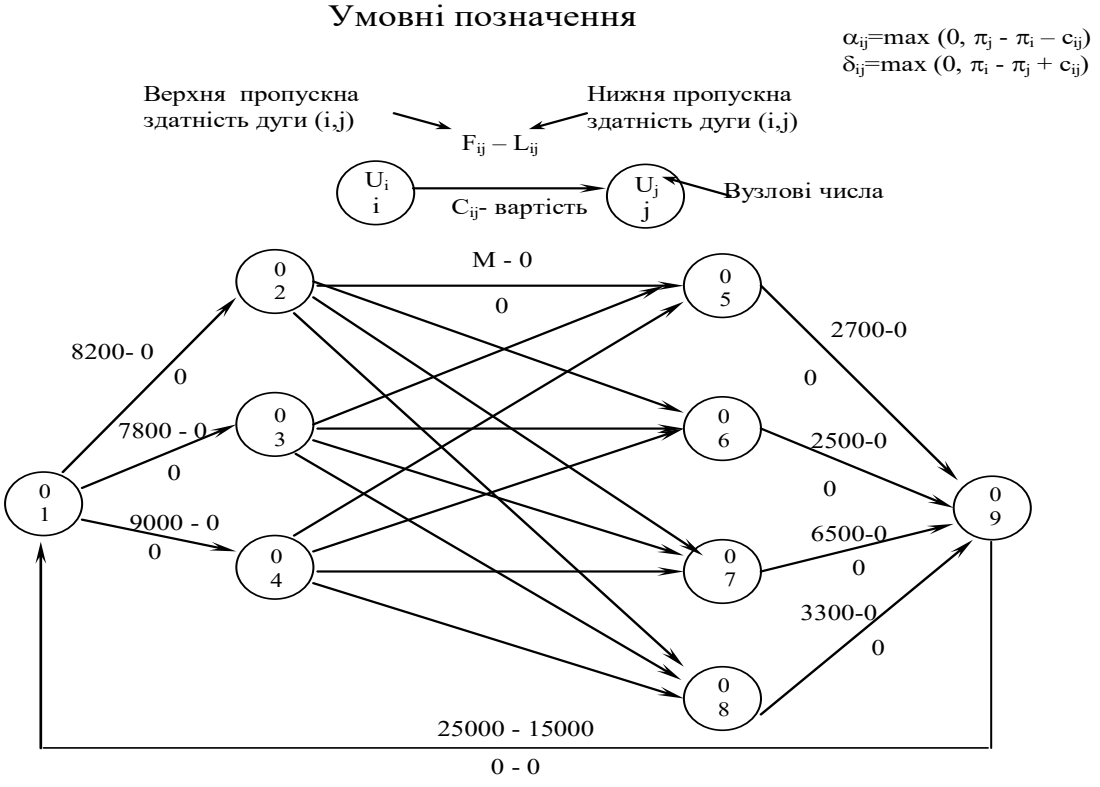


Рисунок 3.4 – Сітьова модель розрахунку відкритої (не збалансованої) транспортної задачі

Розрахунок класичної транспортної задачі з урахуванням оцінки постачальників наведений у таблицях 3.20-3.22.

Таблиця 3.20 Вихідні дані для рішення завдання з таблиці 3.19

№ дуги	Поч. вузел	Кінц. вузел	Верх. зд.	Ниж. зд.	Вартість	Потік
1	1	2	8200	0	0	0
2	1	3	7800	0	0	0
3	1	4	9000	0	0	0
4	2	5	9999	0	327	0
5	2	6	9999	0	330	0
6	2	7	9999	0	327	0
7	2	8	9999	0	325	0
8	3	5	9999	0	326	0
9	3	6	9999	0	325	0
10	3	7	9999	0	325	0
11	3	8	9999	0	326	0
12	4	5	9999	0	350	0
13	4	6	9999	0	346	0
14	4	7	9999	0	347	0
15	4	8	9999	0	346	0
16	5	9	2700	0	0	0
17	6	9	2500	0	0	0
18	7	9	6500	0	0	0
19	8	9	3300	0	0	0
20	9	1	25000	15000	0	0

Таблиця 3.21Результати розрахунків

№ дуги	Поч. вузел	Кінц. вузел	Верх. зд.	Ниж. зд.	Вартість	Потік
1	1	2	8200	0	0	7200
2	1	3	7800	0	0	7800
3	1	4	9000	0	0	0
4	2	5	9999	0	327	2700
5	2	6	9999	0	330	0
6	2	7	9999	0	327	1200
7	2	8	9999	0	325	3300
8	3	5	9999	0	326	0
9	3	6	9999	0	325	2500
10	3	7	9999	0	325	5300
11	3	8	9999	0	326	0
12	4	5	9999	0	350	0
13	4	6	9999	0	346	0
14	4	7	9999	0	347	0
15	4	8	9999	0	346	0
16	5	9	2700	0	0	2700
17	6	9	2500	0	0	2500
18	7	9	6500	0	0	6500
19	8	9	3300	0	0	3300
20	9	1	25000	15000	0	15000

Таблиця 3.22 Вузлові числа

№ вузла	Pi
1	0
2	0
3	2
4	0
5	327
6	327
7	327
8	325
9	327

Цільова функція: 4882800

Отримані результати відкритої транспортної задачі в програмі «ПОТІК v1.1» достовірніші і відповідають логіці рішення поставленої задачі, це свідчить про те, що програма має низку обмежень і критерії більш розширеного спектра.

Розшифровка результатів оптимального рішення показана на рис. 3.5

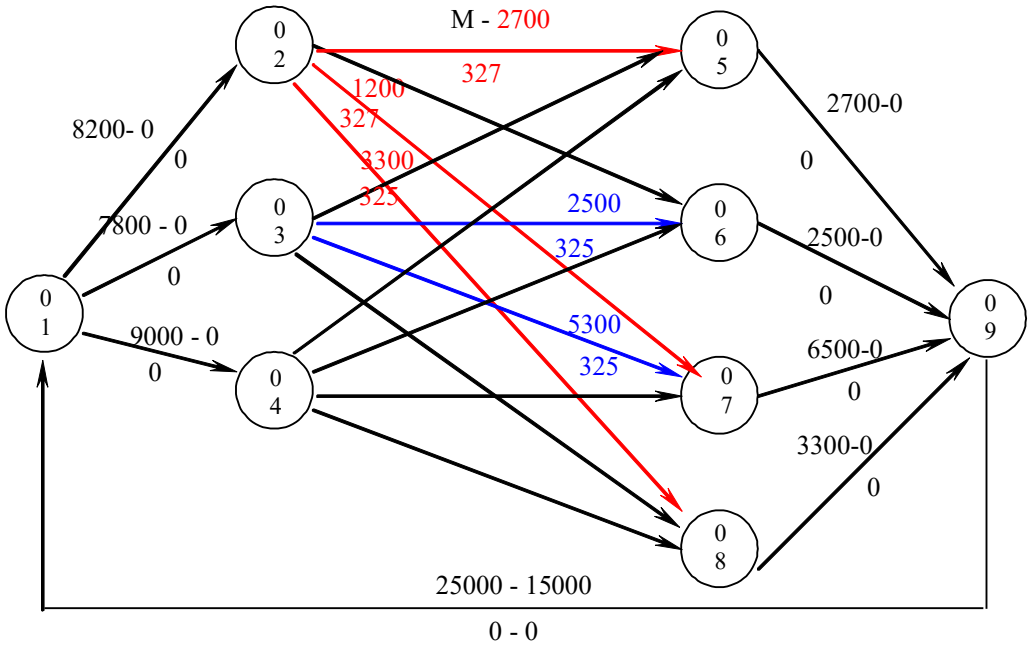


Рисунок 3.5 – Оптимальне рішення

При рішенні класичної задачі було визначено оптимальний план перевезення продукції, або оптимальний план закріплення будівельних майданчиків (об’єктів) за заводами будіндустрії з урахуванням Методу аналізу ієрархій.

Для прикладу розглянемо ще одну транспортну задачу з правильним, закритим балансом де сумарний об'єм поставок дорівнює сумарному об'єму споживання.

Приклад. Постановка транспортної задачі з правильним балансом

Однорідний вантаж, або один вид продукції: цегла, залізобетонні конструкції і т.і., що знаходяться в m пунктах відправлення (виробництва) позначених, як A_1, A_2 …A_m відповідно в кількостях a_1, a_2 …a_m одиниць, потрібно доставити в кожен з n пунктів призначення (споживання) позначених, як B_1, B_2 …, B_n відповідно в кількостях b_1, b_2 …, b_n одиниць. Вартість перевезення (тариф) одиниці продукції з A_i у B_j відома для всіх маршрутів A_iB_j і $(C_{ij} + c_{ij}) \cdot \eta_{ij}$ (i=1,m; j=1,n). Потрібно скласти такий план перевезень, при якому весь вантаж з пунктів відправлення вивозиться без залишків і запити всіх пунктів споживання задовольняються (закрита модель), що описується формулою (3.9) [11, 15, 21]:

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j \qquad (3.9)$$

Для заданих умов планування необхідно розробити схему перевезення вантажів за якою сумарні транспортні витрати мінімальні.

Математична інтерпретація моделі транспортної задачі така.

Цільова функція за критерієм мінімізації аналогічна формулі (3.8):

$$F(x) = \sum x_{ij}\eta_{ij}(C_{ij} + c_{ij}) \to min$$

де, $\overline{i = 1,}$ m – кількість постачальників;

$\overline{j = 1,}$ n – кількість споживачів.

За умовами що відповідають формулі (3.8)

$$\begin{cases} f_{ij} \le A_i \quad i = 1,2,...,m \\ f_{ij} \ge B_j \quad j = 1,2,...,n \\ f_{ij} > 0 \quad для\ всіх \quad (i,j) \in A \end{cases}$$

Вважатимемо будь-який план перевезень допустимим, якщо він задовольняє системам обмежень і вимогам позитивності.

Допустимий план, називатимемо опорним, якщо в ньому членів відмінних від нуля не більше m+n-1 базисних перевезень, а решта перевезень рівна 0.

План називатимемо оптимальним, якщо він, серед всіх допустимих планів, приводить до мінімальної сумарної вартості перевезень.

Оскільки транспортна задача є задачею лінійного програмування, то її можна вирішувати сімплекс-методом, але через свою особливість її можна вирішити набагато простіше.

Рішення задачі виконаємо у два етапи:

1. Визначимо опорний план;
2. Знайдемо оптимальне рішення методом послідовних операцій.

Знайдемо спочатку допустиме (опорне) рішення транспортної задачі. Рішення цієї задачі знаходиться, використанням метода «північно-західного кута» або метода «мінімального елемента».

Сформулюємо математичну постановку задачі

Хай x_{ij} – кількість будівельної продукції, що транспортується від *i*-го джерела (постачальника) до *j-го* споживача. Цільова функція відповідає сумарним транспортним витратам. Обмеження необхідні для того, щоб вся виготовлена продукція використовувалася і потреба кожного будівництва у матеріалах була задоволена.

Кожен завод будіндустрії повинен відвантажити будівництву рівно стільки продукції, скільки у нього є, тобто сума постачань повинна дорівнювати потужності, вказаній в цьому рядку. Таких співвідношень повинно бути стільки, скільки в даному завданні рядків.

Кожен будівельний майданчик повинен отримати рівно стільки продукції, скільки йому потрібно, тобто сума постачань по стовпцю повинна дорівнювати попиту, приведеному в цьому самому стовпці. Таких співвідношень повинно бути стільки, скільки в заданому завданні стовпців.

Враховуючи приведені обмеження, необхідно знайти ефективний варіант з мінімальним обсягом вантажообігу. Для визначення в будь-якому

варіанті перевезень вантажів досить підсумувати обсяги кожного постачання на відповідні йому відстані. Варіант буде оптимальним, а завдання розв'язане, якщо ця сума буде приведена до мінімуму. Слід вважати природним вимогу позитивних значень для потужностей заводів Аі≥0 і попиту об'єктів $B_j \geq 0$. Показники відстаней не можуть бути відємними, оскільки це з економічної точки зору є недоцільним, але з математичної – не обов'язково вимагати їх невід'ємності. Іноді зручно в деяких розрахунках штучно надати цим показникам відємні значення. Задача розв'язується методом потенціалів (так назвав її академік Л.В. Канторович) [28, 31], її вихідні дані приведені в таблиці 3.23.

Таблиця 3.23 - Вихідні дані завдання:

Постачальники, заводи будіндустрії	Виробнича потужність, тис. $м^3$	Споживачі, будівельні майданчики, (ємність склада), тис. $м^3$			
		В1	В2	В3	В4
А1	6200	327	330	327	325
А2	5600	326	325	325	326
А3	3200	350	346	347	346
	15000=15000	2700	2500	6500	3300

Далі розглянемо варіант вирішення закритої транспортної задачі з використанням метода АВД за допомогою програми «ПОТІК v1.1».

Вводимо початкові дані в програму «ПОТІК v1.1» (рис. 3.6 та 3.7).

ДЖЕРЕЛО		5	6	7	8	Попит
		2700	2300	6500	3300	←
2	6200	327	330	327	325	
3	5600	326	325	325	326	C_{ij} (i=1,2,3; j=1,2,3,4)
4	3200	350	346	347	346	
	↑ Пропозиція					

Рисунок 3.6 – Вихідні дані закритої транспортної задачі

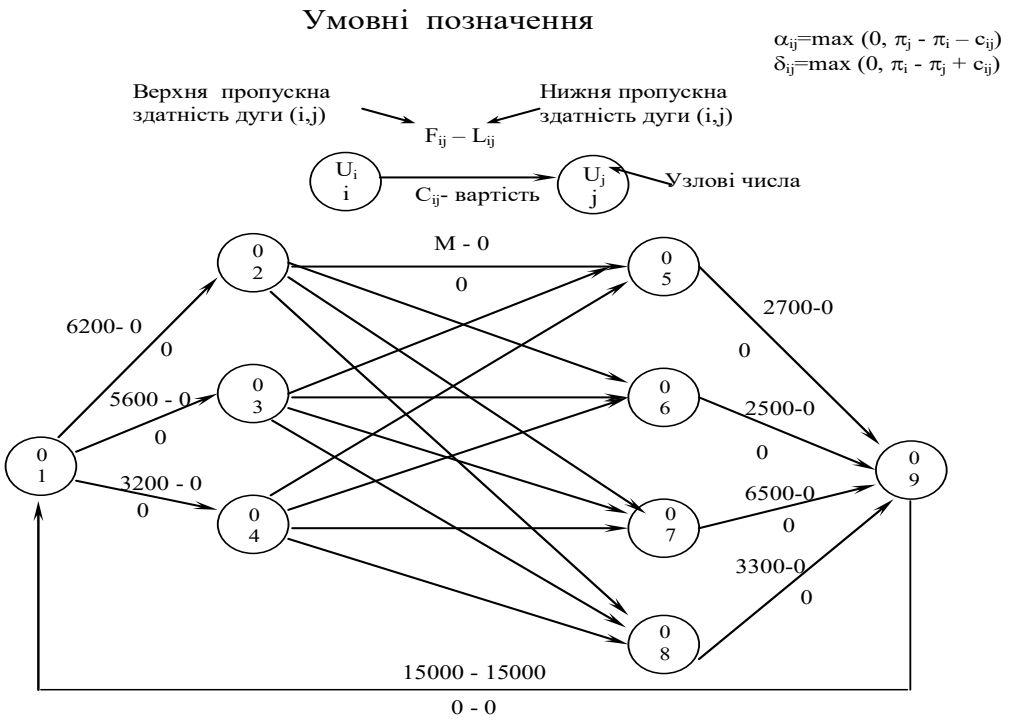


Рисунок 3.7 – Сітьова модель закритої (збалансованої) транспортної задачі

Для використання метода алгоритма виключення дефекта (АВД) слід виконати наступні процедури [28, 31]:

1. Існує m джерел (початкових вузлів) і n пунктів призначення. З кожного джерела у всі пункти призначення доставляється більш за a_i одиниці матеріального потоку (будівельні матеріали, конструкції, деталі).

2. Для кожної дуги за пропускну спроможність і вартість (F_{ij}, L_{ij}, C_{ij}) взято три значення (M, 0, C_{ij}).

3. Введемо головне джерело постачань і головного споживача. Для кожного джерела і побудуємо дугу, від головного джерела в джерело споживання j. Приймемо для цієї дуги три значення пропускної спроможності-вартості (F_{ij}, L_{ij}, C_{ij}) = (A_i, 0, 0). Для кожного пункту споживання j побудуємо дугу, від з j в головний стік. Тоді для цієї дуги задамо три значення (F_{ij}, L_{ij}, C_{ij}) = (M, B_j, 0).

4. Побудуємо зворотну дугу і визначимо для неї наступні три значення (F_{ij}, L_{ij}, C_{ij}) = ($\sum B_j$,$\sum A_i$, 0).

5. За початкові значення усіх потоків і подвійних змінних узяти $f_{ij} = 0$, $П_к = 0$.

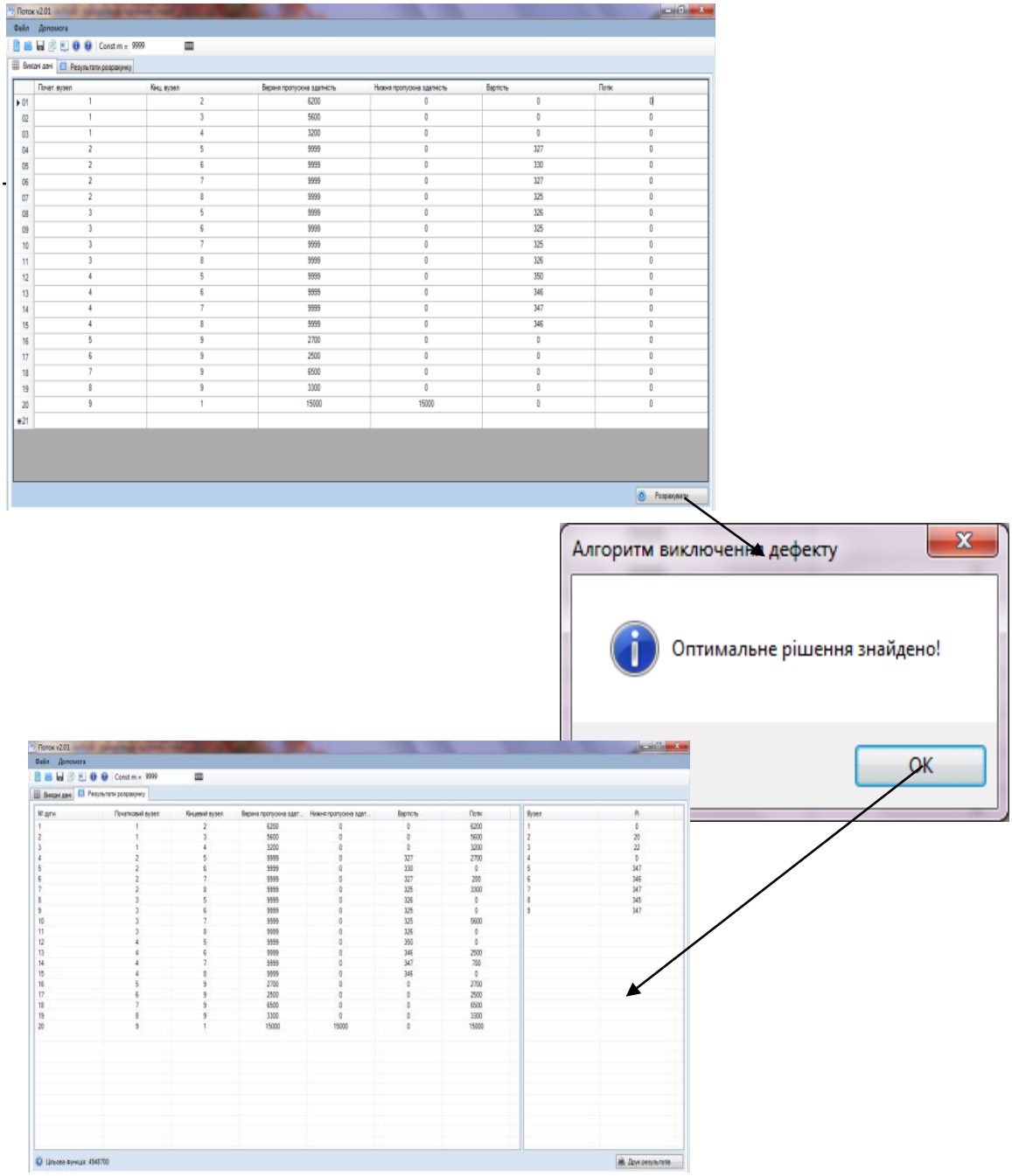


Рисунок 3.8 – Інтерфейс програми «ПОТІК v2»

Таблиця 3.24 - Вихідні дані для рішення завдання з таблиці 3.23

№ дуги	Поч. Вузел	Кінц. Вузел	Верх. Зд.	Ниж. Зд.	Вартість	Потік
1	1	2	6200	0	0	0
2	1	3	5600	0	0	0
3	1	4	3200	0	0	0
4	2	5	9999	0	327	0
5	2	6	9999	0	330	0
6	2	7	9999	0	327	0
7	2	8	9999	0	325	0
8	3	5	9999	0	326	0
9	3	6	9999	0	325	0
10	3	7	9999	0	325	0
11	3	8	9999	0	326	0
12	4	5	9999	0	350	0
13	4	6	9999	0	346	0
14	4	7	9999	0	347	0
15	4	8	9999	0	346	0
16	5	9	2700	0	0	0
17	6	9	2500	0	0	0
18	7	9	6500	0	0	0
19	8	9	3300	0	0	0
20	9	1	15000	15000	0	0

Таблиця 3.25- Результати розрахунків

№ дуги	Поч. вузел	Кінц. вузел	Верх. зд.	Ниж. зд.	Вартість	Потік
1	1	2	6200	0	0	6200
2	1	3	5600	0	0	5600
3	1	4	3200	0	0	3200
4	2	5	9999	0	327	2700
5	2	6	9999	0	330	0
6	2	7	9999	0	327	200
7	2	8	9999	0	325	3300
8	3	5	9999	0	326	0
9	3	6	9999	0	325	0
10	3	7	9999	0	325	5600
11	3	8	9999	0	326	0
12	4	5	9999	0	350	0
13	4	6	9999	0	346	2500
14	4	7	9999	0	347	700
15	4	8	9999	0	346	0
16	5	9	2700	0	0	2700
17	6	9	2500	0	0	2500
18	7	9	6500	0	0	6500
19	8	9	3300	0	0	3300
20	9	1	15000	15000	0	15000

Таблиця 3.26 - Вузлові числа

№ вузла	Pi
1	0
2	20
3	22
4	0
5	347
6	346
7	347
8	345
9	347

Цільова функція: 4948700

Оптимальне рішення представлено у вигляді сітьової моделі (рис. 3.9).

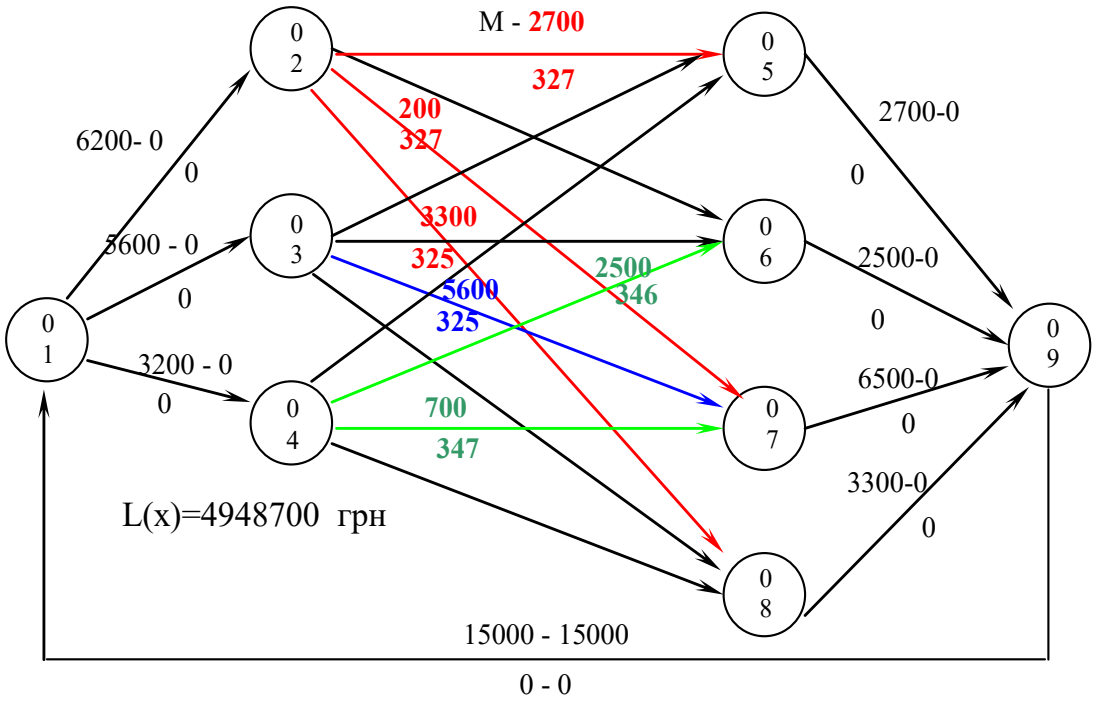


Рисунок 3.9 - Оптимальний розподіл матеріального потоку БР

Висновки

1. Сучасний стан будівельної галузі України обумовлює необхідність системного аналізу наукових джерел для вирішення проблем удосконалення методів управління та організації матеріально-технічного забезпечення будівництва. Теоретично обґрунтовано, що підвищення ефективності функціонування будівельного виробництва можливе через впровадження логістичних підходів, які дозволяють оптимізувати управління матеріальними потоками відповідно до сучасних технологічних і організаційних вимог будівельного процесу.

2. Організація матеріального забезпечення будівництва ґрунтується на інтеграції інноваційних процесів, що передбачають логістизацію ресурсів як сучасного інструментарію. Це забезпечує суттєве підвищення ефективності управління діяльністю будівельних організацій та підприємств індустрії будівництва шляхом оптимізації руху матеріалів та міжсистемних взаємозв’язків.

3. У рамках дослідження сформовано підходи до управління матеріальними потоками будівельного комплексу для раціонального забезпечення ресурсами, використовуючи метод аналізу ієрархій. Цей підхід враховує ключові фактори вибору постачальників, ґрунтується на парних порівняннях альтернатив за багатокритеріальною дев’ятибальною шкалою та ранжуванні варіантів за всіма критеріями. Результат інтегровано в сітьову модель, що дозволяє знизити витрати та підвищити ефективність ресурсного забезпечення.

4. Дослідження підтвердило, що для управління постачаннями та забезпечення будівельного виробництва найбільш ефективними є сітьові методи моделювання. Вони дозволяють відобразити всі взаємозв’язки варіантів постачання у єдиній моделі, виконати їх інформаційний опис за встановленими критеріями та визначити оптимальні рішення. Сітьові методи

ефективні не лише на етапі планування, але й у процесі виконання матеріального забезпечення, включно з організацією потоків ресурсів. Їх універсальність полягає у здатності застосовуватися до будь-якого обсягу планованих робіт без обмежень щодо конкретного змісту процесів.

Список використаних джерел

1. Арутюнян І.А., Данкевич Н.О. Логістичні аспекти забезпечення будівельних об'єктів : навч. метод. посібник. Запоріжжя: ЗНУ, 2019. 153с.
2. Арутюнян І. А. Організація та управління будівельним комплексом на основі логістичних моделюючих умов: монографія. Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 263 с.
3. Арутюнян І. А. Управління формуванням логістичних систем функціонування будівельного виробництва: монографія. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 308 с.
4. Арутюнян І. А. Будівельна логістика як альтернатива розвитку виробничого кластеру будівельної галузі. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2019. № 16. С. 6-13.
5. Arutiunian I., Dankevych N., Arutiunian Y., Saikov , Poltavets M. Innovative models of choice and substantiation of adoption of optimal organizational-technological decisions of construction production. *Journal of Critical Reviews*. 2020. № 7(014). С. 506-508. URL: http://dx.doi.org/10.31838/jcr.07.14.87.
6. Арутюнян І. А., Полтавець М. О., Бондар О. А., Анін В. І., Павлов Ф. І. Structural Information Management of Production Systems in Construction. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering.*. 2020. Т. 9. № 4. С. 4794-4797. URL: http://www.warse.org/IJATCSE/static/pdf/file/ijatcse87942020.pdf. (SCOPUS)
7. Арутюнян І. А., Данкевич Н. О., Сайков Д. В., Арутюнян Є. Е., Полтавець М. О., Фролов Д. . Development of a mathematical model for selection and rationale for making optimal construction decisions. *Advances in Mathematics: Scientific Journal*. 2020. Т. 9. № 12. С. 10649-10659.

URL: https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57218797273. (SCOPUS)

8. Арутюнян І. А., Арутюнян Є. Е. Оптимізація будівельного виробництва за рахунок систематехнічних та логістичних підходів. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика* . 2021. № 19. С. 12-18.
9. Arutiunian Y. ., Arutiunian I. ., AZHAZHA M. ., Mikhailutsa O. ., Pozhuyev A. . Modeling Of Management Decisions Of Organization Of Production Systems. *International journal of computer science and network security*. 2021. Т. Volume: 21 . № Issue: 7. С. 87-92.
10. Arutiunian I. ., Radkevic A. ., Kuznetsov V. ., Kovalenk M. ., Skrzyniarz M. . Setting Dynamic Problem of Logistic Support of Building Objects by Material Resources Taking into Account Random Factors Affecting Transportation Timing. *Transport Means 2021.Proceedings of 25th International Scientific Conference.*. 2021. № 111. С. 1080-1084. URL: https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-Means-2021-Part-III.pdf. (SCOPUS).
11. Бедрій Я.І.Тарнавський Є.М. Основи логістики: навч. посібник. Київ: Гельветика, 2019. 260 с.
12. Волков В.П., Пшінько О.М., Павлов І.Д., Арутюнян І.А. Управління логістичними системами: навчальний посібник МОНУ. Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2012. 259 с.
13. Воркут Т.А. Наукові основи управління логістичними системами в проектах розвитку ланцюгів постачань: дис. д-ра наук: 05.13.22. 2007. 473 с.
14. Громадченко В.Ю., Ткачук М.М., Білецький А.А., Клімов С.В. Виробнича база будівництва: навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2011. 142 с.

15. ДБН А.3.1-5-2016. Управління, організація і технологія: Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2016–05–05]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 49 с.
16. ДСТУ 8302:2015 Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01] Вид. офіц.. Київ: ДП «Укр НДНЦ», 2016.20 с.
17. ДСТУ 3008-2015 Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. [Чинний від 2017-07-01] Вид. офіц. Київ: ДП «Укр НДНЦ», 2016.31 с.
18. Дадиверина Л.Н., Шостак Р.С. Основы логистики в организации производства: учебное пособие. Днепропетровск: Пороги, 2012. 166с.
19. Денисенко М.П., Левковець П.Р., Михайлова Л.І. Організація та проектування логістичних систем: підручник. Київ: Цент учбової літератури, 2010. 336 с.
20. Кальченко А.Г. Логістика: навч. посіб. Київ: КНЕУ, 2003. с. 56.
21. Кірнос В.М. Розробка та аналіз планів реалізації будівельних проектів методами моделювання послідовності виконання БМР: посібник. Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2000. 256 с.
22. Кирнос В.М., Залунин В.Ф., Дадиверина Л.Н. Организация строительства: учебник. Днепропетровск: «Пороги», 2005. 309 с.
23. Логістика: навч. посіб. О.М. Тридід, Г.М. Азаренкова, С.В. Мішина, І.І. Борисенко. Київ: Знання, 2008. 566 с.
24. Минко Л. М., Коротуха К. М. Методи управління логістичними витратами. *Ефективна економіка*. № 1. ДДВЕУ: ДК «Центр», 2016. С. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2016_1_41.
25. Окландер М.А. Логістична система підприємства: монографія. Одеса: Астропринт, 2004. 312с.
26. Організація будівництва: посібник. С.А. Ушацький, Ю.П. Шейко, Г.М. Тригер та ін. Київ: Кондор, 2007. 521 с.

27. Павлов И.Д., Арутюнян И.А. Разработка плана организационно-технического развития строительной организации. Економіка: проблеми теорії та практики. Вып. 76. Днепропетровск: Вид-во ДНУ, 2001. С. 6–10.
28. Павлов И.Д. Модели управления проектами: учеб. пособие. Запорожье: ЗГИА, 1999. 316с.
29. Павлов И.Д. «Оптімальні моделі організації будівельного виробництва". Київ:ІСДО, 1993. 220с.
30. Павлов И.Д., Мамотенко Д.Ю. Управление проектами универсальным алгоритмом на основе сетевого моделирования. Комп'ютерне моделювання та інформаційні технології в науці, економіці та освіті: Зб. Наук. Праць. В 2 т. Кривий Ріг: Вид. від. КДПУ, 2001. Т 1. 305с.
31. Родіонова В.М., Федоркова Н.В. Оптимізація матеріальних потоків у виробничо-збутовій системі: посібник. Віница: Видавництво ВНТУ, 1999. 169 с.
32. Рогожин П.С., Гойко А.Ф. Економіка будівельних організацій: посібник. Київ: Видавничий дім „Скарби", 2001. 448с.
33. Смиричинський А. Смиричинський В., Мартинюк В. Логістичний менеджмент у будівництві: монографія. Тернопіль «ЗБРУЧ», 2006. 262с.
34. Сокур І.М., Сокур Л.М. Транспортна логістика: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2023. 222с
35. Тян Р.Б. Управління проектами: підручник для студентів ВНЗ. Київ: Центр навчальної літератури, 2004. 221 с.
36. Торкатюк В.И. Организационно-технологические решения в многоэтажном каркасном строительстве. Харков: Высш. школа. 1986. 160с.
37. Тян Р.Б., Холод Б.І., Ткаченко В.А. Управління проектами: навч. посібник. Дніпро-вськ: Дніпропетровська академія управління бізнесу та права, 2000. 224с.

38. Тридід О.М., Азаренкова Г.М., Мішина С.В., Борисенко І.І. Логістика: навч. посіб. Київ: Знання, 2008. 566с.

39. Тюріна Н. М., Гой І. В., Бабій І. В. Логістика : навч. посіб. Київ: «Центр учбової літератури», 2015. 392 с.