

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет менеджменту та маркетингу
Кафедра економічної кібернетики**

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

_____ Катерина БОЯРИНОВА

« ____ » червня 2026 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо–професійною програмою
«Економічна аналітика»
спеціальності 051 «Економіка»**

**на тему: «Економіко-аналітичне обґрунтування ефективності логістичних
операцій виробничого підприємства»**

Виконав:

студент IV курсу, групи УА–21

ОЛІЙНИК Даніїл Ярославович _____

Керівник:

доцент кафедри економічної кібернетики, к.ф.-м.н., доц.

ЧЕРНОУСОВА Жанна Трохимівна _____

Рецензент:

декан факультету менеджменту та маркетингу, д.е.н., проф.

КРАВЧЕНКО Марина Олегівна _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань

Студент _____

Київ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет менеджменту та маркетингу

Кафедра економічної кібернетики

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 051 Економіка

Освітньо-професійна програма «Економічна аналітика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Катерина БОЯРИНОВА

«06» лютого 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ОЛІЙНИКУ Даніїлу Ярославовичу

- 1. Тема роботи:** «Економіко-аналітичне обґрунтування ефективності логістичних операцій виробничого підприємства»,
керівник роботи **Черноусова Жанна Трохимівна**, к.ф.-м.н., доц.,
затверджені наказом по університету від 29.05.2026 р № 2003-с.
- 2. Термін подання студентом роботи** 08.06.2026 р.
- 3. Вихідні дані до роботи:** наукові праці з економічної аналітики та логістики, дані фінансової звітності ТОВ «БАРКС» за 2022-2025 роки (форма №1 «Баланс», форма №2 «Звіт про фінансові результати»), відкриті аналітичні дані підприємства.

4. Зміст дипломної роботи (перелік завдань, які потрібно розробити):

а) теоретична частина:

- розкрити зміст, сутність та особливості логістичних операцій виробничого підприємства;
- узагальнити інструментарій економічної аналітики логістичних операцій виробничого підприємства;

б) аналітична частина:

- провести економічний аналіз діяльності виробничого підприємства;
- здійснити економіко-аналітичне оцінювання ефективності логістичних операцій виробничого підприємства;
- побудувати економічну модель проблеми ефективності логістичних операцій;

в) рекомендаційна частина:

- провести економіко-математичне моделювання та аналітику економічних рішень щодо оптимізації логістичних операцій;
- надати практичні рекомендації щодо реалізації обраних економічних рішень в управлінні логістичними операціями та оцінити їх економічну ефективність.

5. Перелік ілюстративного матеріалу

1. Теоретико-методичний інструментарій економічної аналітики логістичних операцій виробничого підприємства.
2. Аналітика динаміки доходів та витрат ТОВ «БАРКС» за 2022-2025 рр.
3. Аналітика динаміки показників ліквідності ТОВ «БАРКС».
4. Аналітика залежності логістичних витрат від обсягу запасів у 2023-2025 рр.
5. Причинно-наслідкова аналітика низької ефективності логістичних операцій ТОВ «БАРКС».
6. Результуюча матриця інтегрованого ABC-XYZ аналізу номенклатури ТОВ «БАРКС».
7. Результати розв'язання MILP-моделі.
8. SWOT-аналіз логістичних операцій ТОВ «БАРКС» у контексті впровадження економічних рішень.
9. Аналітика інтегрального економічного ефекту від реалізації економічних рішень.

6. Дата видачі завдання: «05» лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1.	Збір необхідної інформації теоретичного, методичного та практичного змісту, вивчення та аналіз літературних джерел щодо економічної аналітики логістичних операцій виробничого підприємства	06.02.2026– 22.02.2026	
2.	Розкриття теоретичних підходів та методичних засад аналізу логістичних операцій виробничого підприємства	23.02.2026– 22.03.2026	
3.	Вибір підприємства ТОВ «БАРКС» як бази дослідження та постановка спеціалізованих завдань	23.03.2026– 01.04.2026	
4.	Проведення економічного аналізу діяльності ТОВ «БАРКС»	02.04.2026– 10.04.2026	
5.	Здійснення економіко-аналітичного оцінювання ефективності логістичних операцій ТОВ «БАРКС»	11.04.2026– 20.04.2026	
6.	Побудова економічної моделі проблеми ефективності логістичних операцій	21.04.2026– 03.05.2026	
7.	Проведення економіко-математичного моделювання та аналітики економічних рішень щодо оптимізації логістичних операцій	04.05.2026– 14.05.2026	
8.	Розроблення практичних рекомендацій щодо реалізації обраних економічних рішень в управлінні логістичними операціями та оцінювання їх економічної ефективності	15.05.2026– 24.05.2026	
9.	Оформлення дипломної роботи першого (бакалаврського) рівня вищої освіти	25.05.2026– 01.06.2026	

Студент _____ Даніїл ОЛІЙНИК

Керівник роботи _____ Жанна ЧЕРНОУСОВА

РЕФЕРАТ

Дипломна робота на тему: «Економіко-аналітичне обґрунтування ефективності логістичних операцій виробничого підприємства» містить 116 сторінок, 26 таблиць, 4 рисунки, 3 додатки. Список використаних джерел нараховує 43 найменування.

Метою роботи є узагальнення теоретико-методичних засад економічної аналітики щодо логістичних операцій виробничого підприємства, економіко-аналітичне обґрунтування та розроблення практичних рекомендацій щодо оптимізації систем управління запасами і просторовою дистрибуцією.

Об'єктом дослідження є процеси управління логістичними операціями виробничого підприємства.

Предметом дослідження є теоретичні та методичні положення, методи й інструменти економічної аналітики логістичних операцій виробничого підприємства, економіко-аналітичне оцінювання їх ефективності та практичні рекомендації щодо вибору й реалізації економічних рішень у сфері управління запасами, складськими операціями, транспортною дистрибуцією та інформаційним забезпеченням логістики.

Методи дослідження: фінансово-економічні, аналітичні, економетричні, оптимізаційні та програмні методи для оцінювання ефективності логістичних операцій і обґрунтування практичних рішень.

Результати роботи: обґрунтовано проблему надмірного замороження оборотного капіталу в запасах ТОВ «БАРКС», підтверджено її вплив на логістичні витрати, ліквідність і прибутковість підприємства та розроблено практичні рішення щодо оптимізації запасів, дистрибуції й інформаційного забезпечення з доведенням їх економічного ефекту.

Рекомендації щодо використання результатів роботи: результати виконання дипломної роботи можуть бути використані ТОВ «БАРКС» та іншими виробничо-торговельними підприємствами, що працюють із широкою номенклатурою продукції, регіональною дистрибуцією, значними складськими запасами та високими вимогами до логістичного сервісу

Ключові слова: *логістичні операції, економічна аналітика, запаси, дистрибуція, оптимізаційне моделювання, ефективність.*

ABSTRACT

Thesis on the topic: “Economic and Analytical Substantiation of Manufacturing Enterprise Logistics Operations Efficiency” contains 116 pages, 26 tables, 4 figures. The list of references contains 43 items, 3 appendices.

The purpose of the work is to summarize the theoretical and methodological foundations of economic analysis as they pertain to the logistics operations of a manufacturing enterprise, to provide an economic and analytical justification, and to develop practical recommendations for optimizing inventory management and spatial distribution systems.

The object of the work is the process of managing logistics operations of a manufacturing enterprise.

The subject of the work is the theoretical and methodological principles, methods, and tools of economic analysis of a manufacturing enterprise’s logistics operations; the economic and analytical assessment of their effectiveness; and practical recommendations for selecting and implementing economic decisions in the areas of inventory management, warehouse operations, transportation and distribution, and logistics information support.

Research methods. financial-economic, analytical, econometric, optimization and software methods for assessing the effectiveness of logistics operations and logistics practical solutions.

Results of work are substantiated analysis of the problem of excessive tying up of working capital in inventories at BARKS LLC, confirmation of its impact on the company’s logistics costs, liquidity, and profitability, and the development of practical solutions for optimizing inventories, distribution, and information support, along with a demonstration of their economic benefits.

Recommendations for the use of work results. The results of the thesis work can be obtained from BARKS LLC and other manufacturing and trading enterprises that operate from a wide range of products, regional distribution, significant warehouse stocks and high benefits for logistics service.

Keywords: logistics operations, economic analytics, inventory, distribution, optimization modeling, efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ АНАЛІЗУ ЛОГІСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА	11
1.1 Сутність та особливості логістичних операцій виробничого підприємства	11
1.2 Інструментарій економічної аналітики логістичних операцій.....	18
Висновки до першого розділу.....	31
2 АНАЛІТИКА СТАНУ ТА КЛЮЧОВИХ ТЕНДЕНЦІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОГІСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА	34
2.1 Економічний аналіз діяльності виробничого підприємства.....	34
2.2 Економіко-аналітичне оцінювання ефективності логістичних операцій виробничого підприємства.....	42
2.3 Побудова економічної моделі проблеми ефективності логістичних операцій ..	52
Висновки до другого розділу	70
3 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ЕКОНОМІКО-АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РІШЕНЬ З ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА	72
3.1 Економіко-математичне моделювання і аналітика економічних рішень щодо оптимізації логістичних операцій	72
3.2 Практичні рекомендації щодо реалізації обраних економічних рішень в управлінні логістичними операціями	84
Висновки до третього розділу	94
ВИСНОВКИ	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	100
ДОДАТКИ.....	106

ВСТУП

Актуальність теми роботи. Логістичні операції суттєво впливають на ліквідність, оборотність активів, рівень витрат і фінансовий результат підприємства. Для виробничих компаній із широкою номенклатурою, складною системою постачання та регіональною дистрибуцією особливо важливою є проблема надмірного накопичення запасів, зростання транспортно-складських витрат і втрати керованості матеріальними потоками. Забезпечення високого рівня логістичного сервісу часто досягається через нарощування страхових запасів, прямі малотоннажні доставки та ручне управління даними, що призводить до замороження оборотного капіталу, погіршення ліквідності й зниження ефективності діяльності. В умовах воєнного часу ця проблема посилюється, оскільки надмірні складські залишки створюють додаткові фінансові та операційні ризики. Питання логістичних процесів і операцій виробничого підприємства розглядали Л. Г. Ліпич, О. В. Болдуєва, Л. А. Останкова, Н. Ю. Шевченко, О. Терещенко та Д. С. Ломоносов.

Мета дипломної роботи. Метою дипломної роботи є узагальнення теоретико-методичних засад економічної аналітики щодо логістичних операцій виробничого підприємства, економіко-аналітичне обґрунтування та розроблення практичних рекомендацій щодо оптимізації систем управління запасами і просторовою дистрибуцією.

Відповідно до поставленої мети було вирішено такі завдання:

- розкрито сутність, особливості та роль логістичних операцій у системі функціонування виробничого підприємства;
- узагальнено інструментарій економічної аналітики логістичних операцій;
- проведено економічний аналіз діяльності ТОВ «БАРКС»;
- здійснено економіко-аналітичне оцінювання ефективності логістичних операцій підприємства;
- побудовано економіко-математичні моделі оптимізації логістичних операцій;

– сформовано практичні рекомендації щодо вдосконалення функціонування логістичних операцій.

Об’єктом дослідження є процеси управління логістичними операціями виробничого підприємства.

Предметом дослідження є теоретичні та методичні положення, методи й інструменти економічної аналітики логістичних операцій виробничого підприємства, економіко-аналітичне оцінювання їх ефективності та практичні рекомендації щодо вибору й реалізації економічних рішень у сфері управління запасами, складськими операціями, транспортною дистрибуцією та інформаційним забезпеченням логістики.

База досліджень. Базою дослідження є українське виробничо-торгівельне підприємство Товариство з обмеженою відповідальністю «БАРКС».

Методи дослідження. Для узагальнення та обґрунтування теоретико-методичних засад економічної аналітики логістичних операцій було використано методи індукції, дедукції, логічного узагальнення, порівняння та систематизації. Для оцінювання фінансово-економічного стану ТОВ «БАРКС» застосовано горизонтальний, вертикальний і коефіцієнтний аналіз. Для визначення впливу логістичних операцій на ліквідність, оборотність і фінансовий результат використано індикаторне оцінювання, факторний аналіз за моделлю Дюпона та дискримінантну модель О. Терещенка. Для виявлення взаємозв’язку між обсягом запасів і логістичними витратами застосовано кореляційно-регресійний аналіз. Для структуризації причин проблеми використано діаграму Ісікави, ABC/XYZ-аналіз, Гар-аналіз та SWOT-аналіз. Для розроблення економічних рішень застосовано EOQ-модель, розрахунок страхового запасу та OTIF, сценарне моделювання, змішано-цілочисельне лінійне програмування, MILP-модель мінімізації сукупних логістичних витрат, ROI-аналіз і розрахунок строку окупності. Для проведення розрахунків, моделювання, аналітики та візуалізації економічних даних використано Microsoft Excel, Excel Solver, Python, бібліотеки openpyxl та PuLP, а також CBC Solver.

Результати дипломної роботи. У процесі виконання дипломної роботи узагальнено теоретичні підходи до економічної аналітики логістичних операцій, проведено оцінювання фінансово-економічного стану ТОВ «БАРКС» та визначено основні проблеми управління запасами, дистрибуцією й інформаційним забезпеченням логістики. Обґрунтовано, що зниження ефективності логістичної системи пов'язане з надмірним замороженням оборотного капіталу в запасах, високими витратами на прямі малотоннажні доставки та відсутністю єдиного цифрового середовища. Побудовано аналітичні й оптимізаційні моделі, на основі яких запропоновано практичні рішення щодо управління запасами, реалізації неліквідів, переходу до змішаної моделі дистрибуції та впровадження ERP-рішення.

Рекомендації щодо використання результатів роботи. Результати виконання дипломної роботи можуть бути використані ТОВ «БАРКС» та іншими виробничо-торговельними підприємствами, що працюють із широкою номенклатурою продукції, регіональною дистрибуцією, значними складськими запасами та високими вимогами до логістичного сервісу.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ПІДХОДИ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ АНАЛІЗУ ЛОГІСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Сутність та особливості логістичних операцій виробничого підприємства

У сучасних умовах логістика виробничого підприємства розглядається як цілісна система управління матеріальними, інформаційними та супутніми потоками. Її значення зростає через ускладнення ланцюгів постачання, нестабільність попиту, необхідність швидкого виконання замовлень і потребу в раціональному використанні виробничих ресурсів. Для виробничого підприємства логістика має особливе значення, оскільки вона безпосередньо впливає на ритмічність виробництва, рівень запасів, своєчасність постачання сировини, виконання замовлень і загальний рівень витрат.

Офіційне тлумачення Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP) розглядає логістичний менеджмент як частину управління ланцюгом постачання, що охоплює планування, впровадження та контроль прямого і зворотного руху товарів, послуг та пов'язаної інформації між точкою походження і точкою споживання. У межах цього підходу логістика включає транспортування, складування, вантажопереробку, виконання замовлень, проєктування логістичної мережі, управління запасами, планування попиту й пропозиції, а також частково закупівлі, виробниче планування, пакування та сервісне обслуговування [1]. Це дає підстави розглядати логістику виробничого підприємства як міжфункціональну систему, що пов'язує закупівлі, склад, виробництво, збут, фінанси та інформаційне забезпечення.

Важливим для розкриття сутності логістичних операцій є процесний підхід. Його зміст полягає в тому, що діяльність підприємства розглядається як система взаємопов'язаних процесів, кожен з яких має вхід, вихід, мету, відповідальних

виконавців і показники результативності. За підходом American Productivity & Quality Center (APQC), процесні фреймворки є ієрархічно згрупованими переліками ключових процесів організації, які формують спільну мову для опису, порівняння, вимірювання та вдосконалення бізнес-процесів [2]. Для логістики це означає, що аналізувати потрібно не лише окрему дію, наприклад переміщення палети або оформлення накладної, а весь процес, у межах якого ця дія створює економічний результат.

Л. Г. Ліпич визначає логістичний процес як цілеспрямовану послідовність дій, що об'єднує логістичні функції та спрямовується на досягнення мети логістичної діяльності [3, с. 74]. Авторка зазначає, що логістичний процес утворює загальну рамку руху потоку, проте економічний ефект або збиток виникає на рівні конкретних логістичних операцій. Саме операції формують витрати на зберігання, транспортування, перевалку, комплектацію, переміщення, обробку замовлень і підтримання запасів.

Наприклад, процес управління запасами включає прогнозування потреби, визначення рівня сервісу, розрахунок точки замовлення, закупівлю, приймання, розміщення, контроль залишків і списання. Однак у даній роботі аналітично вимірюються саме операційні наслідки цього процесу: обсяг запасів у грошовому вираженні, тривалість їх обороту, витрати на утримання, альтернативна вартість замороженого капіталу, потреба у страховому запасі, економія від EOQ-моделі та ефект від розпродажу неліквідної групи «CZ». Тому логістичний процес є організаційною рамкою, а логістична операція – безпосереднім об'єктом економічного вимірювання.

Подібна логіка простежується і в транспортно-складському блоці. Процес дистрибуції може включати планування доставки, вибір маршруту, формування партії, відвантаження, перевезення, підтвердження виконання замовлення і повернення документів. Але предметом моделювання у третьому розділі даної роботи є саме операційні рішення: скільки тон відправити прямим рейсом, який обсяг

направити через хаб, який тип автомобіля використати, чи відкривати транзитний крос-докінговий вузол, який обсяг страхового запасу можна вивільнити, якими будуть сукупні витрати за кожним сценарієм. Дослідження спрямоване саме на економічну аналітику логістичних операцій, які цей процес наповнюють.

Було систематизовано основні відмінності логістичного процесу та логістичної операції (табл. 1.1):

Таблиця 1.1 – Відмінність логістичного процесу та логістичної операції

Критерій	Логістичний процес	Логістична операція
Рівень узагальнення	Широка послідовність взаємопов'язаних дій	Конкретна дія або група однорідних дій
Основне питання	Як організовано рух потоку в цілому	Що саме виконується з матеріалом, запасом, замовленням або транспортом
Приклад	Процес управління запасами	Утримання страхового запасу, розміщення, інвентаризація, поповнення партії
	Процес дистрибуції	Пряма доставка, LTL-відправлення, FTL-рейс, крос-докінгова перевалка
	Процес виконання замовлення	Комплектація, пакування, відвантаження, підтвердження доставки
Показники оцінювання	Тривалість процесу, рівень сервісу, узгодженість підрозділів	Вартість операції, час виконання, обсяг вантажу, кількість рейсів, витрати на одиницю
Роль економічному аналізі	Формує організаційну рамку	Є об'єктом калькулювання, нормування і оптимізації

Джерело: складено автором на основі [1, 2, 3, 4]

Сучасна процесна логіка також підтверджує, що операції не можуть існувати ізольовано, але саме вони формують фактичну економіку логістики. Модель SCOR Digital Standard, у якому ланцюг постачання розкривається через процеси Orchestrate, Plan, Order, Source, Transform, Fulfill і Return визначає логістичний процес, як верхній рівень опису [5]. Однак для економіко-аналітичного оцінювання необхідно

спуститися на нижчий рівень – рівень операцій, оскільки саме там виникає вартість дії, тривалість виконання, потреба в ресурсах і можливість оптимізації.

Для виробничого підприємства це означає, що постачання, виробництво, виконання замовлень і повернення є ширшими процесними блоками. Однак у межах кожного з них виконуються конкретні операції: замовлення матеріалів, доставка, приймання, переміщення у виробництво, складання, комплектація, відвантаження, перевезення, підтвердження доставки. Отже, SCOR-підхід не заперечує операційний аналіз, а навпаки створює рамку, у якій окремі логістичні операції можуть бути систематизовані.

Саме тому в цій дипломній роботі логістичні операції виробничого підприємства доцільно визначати як локалізовані, вимірювані дії з переміщення, зберігання, поповнення, комплектації, пакування, відвантаження, транспортування, перевалки, інформаційного супроводу та контролю матеріальних і пов'язаних із ними потоків, які виконуються в межах ширших логістичних процесів і безпосередньо впливають на витрати, ліквідність, рівень сервісу та фінансовий результат підприємства.

Для наочного відображення місця логістичних операцій у системі логістики виробничого підприємства сформована наступна схема (рис. 1.1):



Рисунок 1.1 – Місце логістичних операцій у системі логістики виробничого підприємства

Джерело: складено автором на основі [4, 5].

Для виробничого підприємства доцільно виділити три основні групи логістичних операцій: вхідні, внутрішньовиробничі та вихідні. Вхідні операції пов'язані з надходженням сировини, матеріалів і комплектуючих. Вони включають формування замовлення, транспортування, приймання, розвантаження, контроль якості, маркування, розміщення на складі та передачу інформації в облікову систему. Внутрішньовиробничі операції забезпечують рух ресурсів між складом, виробничими зонами і робочими центрами. Вихідні операції пов'язані з рухом готової продукції до клієнта, тобто з комплектацією, пакуванням, відвантаженням, прямою доставкою, крос-докінгом і контролем виконання замовлення.

Саме вихідні та складські логістичні операції стали центральним об'єктом аналітики в цій дипломній роботі.

Особливість логістичних операцій виробничого підприємства полягає також у тому, що вони безпосередньо впливають на оборотний капітал. Якщо операції з

поповнення запасів здійснюються великими інтуїтивними партіями, підприємство отримує надлишковий складський залишок. Якщо операції комплектації та відвантаження не синхронізовані з фактичним попитом, виникають неліквіди. Якщо транспортні операції будуються переважно на термінових LTL-відправленнях, зростають витрати на одиницю вантажу. Якщо інформаційні операції виконуються вручну або в розрізнених таблицях, виникає інформаційна асиметрія між продажами, складом, виробництвом і закупівлями. Усі ці наслідки були виявлені в аналітичній частині дипломної роботи.

Систематизація логістичних операцій виробничого підприємства, які є найбільш дотичними до подальших розділів даної роботи (табл. 1.2):

Таблиця 1.2 – Логістичні операції виробничого підприємства

Група операцій	Зміст операцій	Економічний ризик
1	2	3
Операції із запасами	Поповнення, зберігання, контроль залишків, інвентаризація, утримання страхового запасу	Замороження оборотного капіталу, зниження ліквідності, зростання витрат на зберігання
Операції з номенклатурою	Ранжування, групування, визначення ліквідних і неліквідних позицій	Накопичення групи «CZ», зайняття складських площ низькооборотними товарами
Операції поповнення	Формування партії замовлення, вибір обсягу постачання, визначення частоти замовлень	Надмірні партії, високі витрати на зберігання або часті витрати на доставку
Складські операції	Приймання, розміщення, адресне зберігання, комплектація, пакування, переміщення	Помилки, псування запасів, дублювання дій, низька прозорість залишків
Транспортні операції	Вибір автомобіля, формування рейсу, LTL/FTL-відправлення, пряме перевезення	Висока вартість доставки, напівпорожні рейси, залежність від пального
Крос-докінгові операції	Приймання вантажу на хабі, перевалка, сортування, повторне завантаження без довготривалого зберігання	Додаткові витрати на хаб, потреба в достатньому вантажопотоці

Кінець табл. 1.3

1	2	3
Інформаційні операції	Передача даних про замовлення, залишки, виробництво, відвантаження та статус доставки	Інформаційна асиметрія, надлишкові запаси, термінові закупівлі
Контрольні операції	Підтвердження виконання, контроль OTIF, перевірка відхилень, оновлення параметрів моделі	Втрата керованості та повернення до інтуїтивного управління

Джерело: складено автором на основі [3, 6]

З табл. 1.2 видно, що кожна група логістичних операцій має власний економічний наслідок. Операції із запасами впливають на ліквідність і оборотність активів. Операції поповнення визначають баланс між витратами на доставку та витратами на зберігання. Складські операції впливають на втрати, точність залишків і потребу в WMS. Транспортні операції формують вартість доставки. Крос-докінгові операції визначають доцільність використання хабів. Інформаційні операції забезпечують або руйнують керованість усієї логістичної системи. Саме тому в цій дипломній роботі логістичні операції розглядаються як базовий об'єкт економіко-аналітичного оцінювання.

Окремо слід підкреслити, що логістичні операції відрізняються від виробничих технологічних операцій. Технологічна операція змінює фізичну форму, властивості або конструкцію продукції: різання профілю, свердління, складання фасадної системи, оброблення металу. Логістична операція не створює продукт у технологічному сенсі, але забезпечує його наявність, переміщення, збереження, ідентифікацію, комплектність і готовність до наступного етапу. Наприклад, переміщення алюмінієвого профілю до зони комплектації не змінює його фізичних властивостей, але без цієї операції виробничий або відвантажувальний етап не може бути виконаний.

Важливою особливістю сучасних логістичних операцій є їх цифровий характер. ERP-системи інтегрують бізнес-процеси підприємства, забезпечують єдиний масив

даних і створюють спільний інформаційний простір для закупівель, виробництва, складу, логістики, замовлень, фінансів і контролю [7]. Для логістичних операцій це означає, що приймання, резервування, відбір, пакування, відвантаження, переміщення, перевезення і повернення мають не тільки фізичний, а й інформаційний контур. Операція в сучасній логістиці має бути зафіксована в системі, щоб її можна було виміряти, проконтролювати і врахувати в подальшій моделі.

1.2 Інструментарій економічної аналітики логістичних операцій

Економічна аналітика логістичних операцій виробничого підприємства передбачає в першу чергу кількісне оцінювання того, як окремі логістичні дії впливають на витрати, оборотний капітал, рівень сервісу, швидкість виконання замовлень і фінансовий результат. Якщо у підрозділі 1.1 логістичні операції було визначено як локалізовані та вимірювані дії з переміщення, зберігання, поповнення, комплектації, пакування, відвантаження, транспортування, перевалки, інформаційного супроводу й контролю матеріальних потоків, то в цьому підрозділі доцільно розкрити інструменти, за допомогою яких такі операції можуть бути оцінені, порівняні, змодельовані й оптимізовані.

Сутність економічної аналітики логістичних операцій полягає у переході від первинних операційних даних до економічно обґрунтованих висновків. Первинними даними є залишки запасів, обсяг відвантажень, кількість рейсів, маршрутні відстані, вартість перевезення, частота замовлень, рівень сервісу, витрати на зберігання, обсяг неліквідів, кількість складських помилок, час комплектації та інші показники. Однак самі по собі ці дані ще не є аналітикою. Вони набувають економічного змісту лише після оброблення за допомогою методів групування, нормування, порівняння, кореляційно-регресійного аналізу, оптимізаційного моделювання, сценарного аналізу та оцінювання економічного ефекту.

У теоретичному сенсі інструментарій економічної аналітики логістичних операцій можна подати як послідовність взаємопов'язаних етапів: збирання даних; діагностика поточного стану; класифікація номенклатури, запасів і операцій; розрахунок ключових показників; виявлення причинно-наслідкових зв'язків; побудова економіко-математичних моделей; порівняння сценаріїв; оцінювання ефекту від реалізації економічних рішень; формування інформаційної системи для регулярного оновлення розрахунків. Така послідовність узгоджується з процесною логікою APQC, де діяльність підприємства розглядається через ієрархію процесів, показників та результатів [2], а також із підходом CSCMP, де логістичний менеджмент охоплює транспорт, складування, вантажопереробку, виконання замовлень, управління запасами, проектування мережі та інформаційне забезпечення [1].

Узагальнення основних методів економічної аналітики логістичних операцій (табл. 1.3):

Таблиця 1.3 – Теоретико-методичний інструментарій економічної аналітики логістичних операцій виробничого підприємства

Метод / інструмент	Аналітичне призначення	Тип даних	Економічний результат
1	2	3	4
Горизонтальний і вертикальний аналіз	Оцінювання динаміки запасів, витрат, активів і джерел фінансування	Фінансова звітність, управлінські дані	Виявлення зростання запасів, зміни структури активів і впливу логістики на ліквідність
Коефіцієнтний аналіз	Оцінювання ліквідності, оборотності, рентабельності та фінансової стійкості	Баланс, звіт про фінансові результати	Визначення фінансових наслідків логістичних операцій
ABC/XYZ-аналіз	Класифікація номенклатури за вартісною значущістю та стабільністю попиту	Продажі, залишки, частота замовлень	Диференціація правил управління запасами
EOQ-модель	Визначення економічно обґрунтованого розміру партії замовлення	Річний попит, витрати на замовлення, витрати на зберігання	Мінімізація сукупних витрат на замовлення і зберігання

Кінець табл. 1.3

1	2	3	4
Точка замовлення та страховий запас	Визначення моменту поповнення і буфера для покриття невизначеності попиту	Попит, строк постачання, standard deviation, рівень сервісу	Зниження ризику дефіциту без надмірного замороження капіталу
OTIF-аналіз	Оцінювання своєчасності та повноти виконання замовлень	Дані про замовлення, відвантаження, строки доставки	Балансування між рівнем сервісу та витратами на його підтримання
Кореляційний аналіз	Виявлення сили зв'язку між логістичними й фінансовими показниками	Часові ряди або вибірки показників	Визначення факторів, що найбільше пов'язані з витратами або запасами
Регресійне моделювання	Кількісна оцінка впливу факторів на результативний показник	Залежна та незалежні змінні	Оцінювання причинно-наслідкових зв'язків і прогнозування
Сценарний аналіз	Порівняння варіантів дій за різних умов	Базові параметри, припущення, сценарії	Перевірка стійкості економічного рішення до зміни попиту, тарифів, пального
MILP-моделювання	Оптимізація рішень із неперервними, цілочисельними та бінарними змінними	Матриці попиту, тарифів, обмежень, потужностей	Мінімізація сукупних логістичних витрат за системи обмежень
ERP/WMS/MRP	Інформаційне забезпечення операційної аналітики	Замовлення, запаси, виробництво, склад, маршрути	Єдине джерело даних для контролю й регулярного оновлення моделей
ROI та строк окупності	Оцінювання фінансової ефективності запропонованих рішень	Інвестиції, економія, грошовий потік	Визначення доцільності впровадження управлінських та інформаційних рішень

Джерело: систематизовано автором на основі [3, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]

Початковим етапом економічної аналітики логістичних операцій є діагностика фінансово-економічного стану підприємства. Її завдання полягає у встановленні того, чи створюють логістичні операції фінансове навантаження на підприємство. Найчастіше це проявляється через зростання частки запасів в активах, погіршення абсолютної ліквідності, збільшення тривалості обороту запасів, зростання складських

і транспортних витрат, а також зниження операційної гнучкості підприємства. Для цього використовуються горизонтальний, вертикальний і коефіцієнтний аналіз.

Горизонтальний аналіз дає змогу оцінити зміну показників у часі. У сфері логістичних операцій він застосовується для визначення приросту запасів, логістичних витрат, транспортних витрат, складських витрат, дебіторської заборгованості або обсягу відвантажень [13, с. 25]. Формально темп приросту показника можна визначити за формулою 1.1:

$$T_{\text{пр}} = (X_t - X_{t-1}) / X_{t-1} \cdot 100, \quad (1.1)$$

де $T_{\text{пр}}$ – темп приросту показника, %;

X_t – значення показника у поточному періоді;

X_{t-1} – значення показника у попередньому періоді.

Вертикальний аналіз показує структуру показника. У контексті логістичних операцій він використовується для оцінювання частки запасів в активах, частки логістичних витрат у виручці, частки транспортних витрат у логістичних витратах, частки неліквідів у загальному обсязі запасів. Загальна формула частки має вигляд:

$$d_i = X_i / \sum X_i \cdot 100, \quad (1.2)$$

де d_i – частка i -го елемента у загальній сукупності, %;

X_i – значення i -го елемента;

$\sum X_i$ – загальна сума елементів.

Коефіцієнтний аналіз є важливим тому, що логістичні операції впливають на фінансову стійкість підприємства. Наприклад, надмірні запаси можуть формально збільшувати активи, але одночасно погіршувати ліквідність, якщо вони повільно перетворюються на гроші. Тому в економічній аналітиці логістичних операцій доцільно застосовувати коефіцієнт абсолютної ліквідності, коефіцієнт оборотності запасів, тривалість одного обороту запасів, частку запасів в активах, частку логістичних витрат у чистому доході та рентабельність продажів [14, с. 305].

Коефіцієнт абсолютної ліквідності розраховується так:

$$Кал = ГК / ПЗ, \quad (1.3)$$

де Кал – коефіцієнт абсолютної ліквідності;

ГК – грошові кошти та їх еквіваленти;

ПЗ – поточні зобов'язання.

Оборотність запасів показує, скільки разів за період запаси перетворюються у реалізовану продукцію:

$$Кобз = COGS / Zсер, \quad (1.4)$$

де Кобз – коефіцієнт оборотності запасів;

COGS – собівартість реалізованої продукції;

Zсер – середня вартість запасів за період.

Тривалість одного обороту запасів визначається як:

$$Dз = 365 / Кобз, \quad (1.5)$$

де Dз – тривалість обороту запасів, днів.

Ці показники дозволяють перейти до економічно вимірюваного висновку: запаси можуть бути справжнім джерелом втрати ліквідності, зростання витрат на зберігання та зниження фінансової гнучкості підприємства.

Наступним важливим інструментом є ABC/XYZ-аналіз. Він використовується для диференціації номенклатури, оскільки всі товарні позиції не можуть управлятися за однаковими правилами. ABC-аналіз класифікує позиції за їхньою економічною значущістю, найчастіше за виручкою, маржинальним доходом або вартістю споживання. XYZ-аналіз класифікує позиції за стабільністю попиту. У сучасних працях підкреслюється, що ABC/XYZ-аналіз дає змогу класифікувати запаси одночасно за значущістю та варіативністю попиту, а на основі результатів формувати різні правила управління матеріальними потоками [9, с. 1965].

XYZ-частина аналізу базується на коефіцієнті варіації попиту:

$$CV_i = \sigma_i / \mu_i \cdot 100, \quad (1.6)$$

де CV_i – коефіцієнт варіації попиту за i -ю позицією, %;

σ_i – стандартне відхилення попиту;

μ_i – середній попит за період.

Позиції групи X мають відносно стабільний попит, тому для них доцільно застосовувати точніші математичні моделі поповнення запасу. Позиції групи Y мають сезонний або помірно нестабільний попит, тому потребують календарного або сценарного коригування. Позиції групи Z мають нерегулярний попит, тому утримання значного запасу за ними може призводити до накопичення неліквідів. Поєднання ABC і XYZ дає матрицю, у якій група AX потребує високої уваги та регулярного контролю, а група CZ є потенційним джерелом замороженого капіталу.

Таблиця 1.4 – Аналітична інтерпретація ABC/XYZ-матриці для логістичних операцій

Група	Економічна характеристика	Логістичне правило	Ризик
AX	Висока значущість, стабільний попит	Підтримання запасу, EOQ, точка замовлення, контроль сервісу	Дефіцит може призвести до втрати виручки
AY	Висока значущість, помірна нестабільність	Сезонне планування, коригування норм запасу	Після піку можливе накопичення надлишків
AZ	Висока значущість, нестабільний попит	Виробництво або закупівля під підтверджене замовлення	Високий ризик дорогого неліквіду
BX/BY	Середня значущість	Контроль мінімального залишку, обмежене поповнення	Ризик розширення складського залишку
BZ	Середня значущість, нерегулярний попит	Поповнення лише після підтвердження потреби	Ризик повільного обороту
CX/CY	Низька значущість	Мінімальні залишки, періодичний перегляд	Витрати на контроль можуть перевищувати користь
CZ	Низька значущість, нерегулярний попит	Уцінка, розпродаж, заборона повторного поповнення без замовлення	Накопичення неліквідів і замороження капіталу

Джерело: складено автором на основі [9]

ABC/XYZ-аналіз є основою для вибору подальших аналітичних моделей. Для стабільних позицій групи X доцільно застосовувати EOQ-модель. Для позицій із

нестабільним попитом важливішими стають страховий запас, точка замовлення та сценарний аналіз. Для неліквідних позицій потрібні не моделі поповнення, а моделі вивільнення капіталу через уцінку, розпродаж або зміну правила виробництва.

Однією з базових моделей економічної аналітики запасів є модель економічно обґрунтованого розміру замовлення, або модель EOQ. У сучасних працях з управління запасами EOQ розглядається як інструмент мінімізації сукупних витрат, що виникають через оформлення замовлень і утримання запасів. [15, с. 179].

Класична функція сукупних витрат має вигляд:

$$TC(q) = S \cdot D / q + H \cdot q / 2, \quad (1.7)$$

де $TC(q)$ – сукупні витрати на замовлення та зберігання запасу;

S – витрати на оформлення одного замовлення або однієї поставки;

D – попит або потреба за період;

q – розмір однієї партії замовлення;

H – витрати на зберігання одиниці запасу за період.

Перша частина формули $S \cdot D / q$ показує витрати на оформлення замовлень. Чим більша партія q , тим менше замовлень потрібно зробити за період. Друга частина $H \cdot q / 2$ показує витрати на зберігання середнього запасу. Чим більша партія q , тим більший середній залишок на складі. Оптимальний розмір замовлення виникає в точці, де ці дві групи витрат збалансовані.

Формула EOQ має вигляд:

$$EOQ = \sqrt{(2 \cdot D \cdot S / H)}, \quad (1.8)$$

де EOQ – економічно обґрунтований розмір замовлення.

Економічний зміст EOQ полягає у тому, що надто малі партії збільшують витрати на часті замовлення і перевезення, а надто великі партії збільшують витрати на складське утримання та замороження капіталу. Тому модель є особливо придатною для позицій із відносно стабільним попитом, де можна достатньо надійно оцінити D , S та H .

Ще один важливий показник – страховий запас SS . Він може бути визначений через бажаний рівень сервісу і варіативність попиту або строку постачання:

$$SS = z \cdot \sigma L, \quad (1.9)$$

де z – коефіцієнт стандартного нормального розподілу, що відповідає цільовому рівню сервісу;

σL – стандартне відхилення попиту за період постачання.

З економічної точки зору страховий запас є компромісом між ризиком дефіциту і вартістю замороженого капіталу. Вищий рівень сервісу потребує більшого z -фактора, а отже, більшого страхового запасу. Але надмірно високий рівень сервісу може створювати непропорційно високі витрати на утримання запасу. Тому аналітика страхового запасу має оцінювати не тільки сервіс, а й фінансові наслідки його підтримання.

Для оцінювання сервісного результату логістичних операцій поширеним є показник OTIF (On Time In Full). Він відображає частку замовлень, виконаних одночасно вчасно і в повному обсязі:

$$OTIF = N_{\text{вч.п.}} / N_{\text{заг}} \cdot 100, \quad (1.10)$$

де OTIF – рівень своєчасного і повного виконання замовлень, %;

$N_{\text{вч.п.}}$ – кількість замовлень, виконаних вчасно і в повному обсязі;

$N_{\text{заг}}$ – загальна кількість замовлень.

OTIF є важливим, оскільки високий рівень сервісу часто підтримується за рахунок надлишкових запасів, термінових доставок або дорогих малотоннажних рейсів. Тому показник не можна розглядати ізольовано. Його потрібно зіставляти з витратами на зберігання, транспортними витратами, часткою термінових відправлень і рівнем замороженого капіталу.

Для поєднання запасів, транспорту, хабів і сервісу використовується аналіз сукупних логістичних витрат. У межах такого підходу логістичні витрати доцільно розглядати як взаємопов'язану систему. Наприклад, скорочення запасів може зменшити витрати на зберігання, але збільшити ризик термінових доставок. Навпаки,

збільшення партії замовлення може зменшити транспортні витрати на одиницю вантажу, але підвищити складські витрати та погіршити ліквідність.

Цей підхід особливо важливий для виробничих підприємств, у яких запаси сировини, профілю, комплектуючих або готових систем можуть мати високу вартість. У такому випадку складський залишок є деякою формою замороженого оборотного капіталу. Саме тому економічна аналітика логістичних операцій має оцінювати запаси саме через їхній вплив на ліквідність та фінансовий результат.

Для виявлення взаємозв'язків між логістичними й фінансовими показниками застосовуються кореляційний та регресійний аналіз. Кореляційний аналіз дозволяє оцінити силу і напрям зв'язку між двома показниками. Наприклад, може оцінюватися зв'язок між обсягом запасів і логістичними витратами, між часткою прямих доставок і транспортними витратами, між рівнем OTIF і страховим запасом, між кількістю термінових рейсів і питомими витратами доставки. У документації SciPy коефіцієнт кореляції Пірсона описується як показник лінійного зв'язку між двома наборами даних, значення якого змінюється від -1 до +1 [12].

Формула коефіцієнта кореляції Пірсона має вигляд:

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2)}} , \quad (1.11)$$

де r_{xy} – коефіцієнт кореляції між показниками x та y ;

x_i, y_i – фактичні значення показників;

$\bar{x}, \bar{y}$ – середні значення показників.

Додатне значення r_{xy} означає, що зростання одного показника супроводжується зростанням іншого. Від'ємне значення означає протилежний напрям зв'язку. Значення, близьке до нуля, свідчить про слабкий лінійний зв'язок. Кореляційний аналіз не доводить причинність, але допомагає виявити фактори, які потребують подальшої перевірки.

Регресійне моделювання дозволяє оцінити кількісний вплив одного або кількох факторів на результативний показник. Найчастіше лінійна регресія описується як

модель, що підбирає коефіцієнти для мінімізації суми квадратів залишків між фактичними й прогнозними значеннями [16]. У найпростішому вигляді лінійна регресія має форму:

$$Y = a + bX + \varepsilon, \quad (1.12)$$

де Y – результативний показник;

X – факторний показник;

a – вільний член;

b – коефіцієнт впливу фактора X ;

ε – випадкова похибка.

У логістичній аналітиці результативним показником можуть бути логістичні витрати, витрати на доставку, обсяг запасів, рівень оборотності або інтегральний показник ефективності логістичних операцій. Факторами можуть виступати обсяг запасів, ціна пального, відстань перевезення, кількість рейсів, частка термінових доставок, ставка зберігання, попит за регіонами або частка крос-докінгових операцій. Регресійне моделювання є корисним тоді, коли потрібно не просто описати відхилення, а кількісно оцінити, який фактор створює найбільший внесок у зміну витрат.

Окремим блоком інструментарію є сценарний аналіз. Він застосовується тоді, коли майбутні умови невизначені, а економічне рішення має залишатися стійким до зміни ключових параметрів. У логістиці такими параметрами можуть бути ціна пального, тарифи перевізників, попит, рівень сервісу, витрати на хаби, строк постачання, курс валюти, доступність транспорту або обмеження воєнного часу. Сценарний аналіз дозволяє порівняти базовий, сприятливий та несприятливий варіанти і визначити, чи зберігає обране рішення економічну доцільність.

Загальна логіка сценарного аналізу (табл. 1.5):

Таблиця 1.5 – Сценарний аналіз у системі економічної аналітики логістичних операцій

Сценарій	Тип припущень	Приклад логістичного параметра	Аналітичне призначення
Базовий	Поточні або найбільш очікувані умови	Поточні тарифи, попит, витрати на зберігання	Оцінювання основного економічного результату
Сприятливий	Умови кращі за базові	Зниження ціни пального, стабільний попит, зниження складських втрат	Оцінювання максимального потенціалу економії
Несприятливий	Умови гірші за базові	Зростання пального, затримки поставок, збільшення витрат на хаби	Перевірка стійкості рішення до ризиків
Стресовий	Різне погіршення одного або кількох параметрів	Блокування маршруту, дефіцит транспорту, падіння попиту	Оцінювання межі допустимості рішення

Джерело: [17, с. 107]

Найбільш складним, але й найбільш прикладним інструментом є економіко-математична оптимізація. У сфері логістичних операцій вона використовується для вибору маршрутів, типів транспорту, обсягів потоків, місць розташування хабів, графіків постачання, партій замовлення та рівнів запасу. Якщо у простих моделях змінні можуть бути неперервними, то реальні логістичні задачі часто потребують цілочисельних або бінарних змінних. Наприклад, кількість автомобілів має бути цілим числом, а хаб може бути або активований, або не активований. У таких випадках застосовується змішано-цілочисельне лінійне програмування – MILP. У логістичних задачах MILP дозволяє одночасно враховувати неперервні вантажопотоки, цілочисельну кількість автомобілів та бінарні рішення щодо використання хабів або маршрутів. Саме така структура робить MILP придатним для моделювання прямих доставок, крос-докінгу, транспортної консолідації та обмежень за пропускну здатністю. У сучасних публікаціях щодо виробничої логістики

MIP/MILP-моделі використовуються для оптимізації матеріального потоку, розподілу продукції між зонами та маршрутизації в межах виробничої системи [8].

Для опису логістичної задачі через MILP зазвичай формуються такі елементи [18, с. 4639]:

- множини вузлів, маршрутів, клієнтів, хабів і транспортних засобів;
- параметри попиту, відстаней, тарифів, місткості автомобілів, фіксованих і змінних витрат;
- змінні вантажопотоків, кількості рейсів і статусів об'єктів;
- цільова функція мінімізації сукупних логістичних витрат;
- обмеження попиту, пропускної здатності, місткості транспорту, балансу потоків, невід'ємності, цілочисельності та бінарності.

Перевага MILP-моделі полягає у тому, що вона дозволяє порівнювати альтернативні логістичні рішення через цільову функцію. Наприклад, модель може порівняти пряму доставку з доставкою через хаб, малотоннажне перевезення з FTL-консолідацією, економію від скорочення запасу з фіксованими витратами на хаб. У такій постановці можна оцінити не лише окремий тариф, а всю систему витрат, що виникають унаслідок вибору певної операційної схеми.

Для практичного розв'язання оптимізаційних задач можуть використовуватися табличні та програмні інструменти. Microsoft Excel Solver є доступним інструментом для what-if analysis та оптимізації. Офіційна документація Microsoft визначає Solver як надбудову Excel, що дозволяє знаходити оптимальне максимальне або мінімальне значення цільової комірки за умов обмежень і зміни комірок змінних; для лінійних задач передбачено метод Simplex LP [19]. У логістичній аналітиці Solver зручний для побудови прикладних моделей, де вхідні дані вже містяться у таблицях Excel: попит, тарифи, відстані, витрати, місткість автомобілів, фіксовані витрати на хаби.

Для задач із цілочисельними або бінарними змінними важливо враховувати параметр цілочисельної оптимальності. Solver.com пояснює, що для задач із integer constraints пошук точного оптимуму може потребувати значного часу, тому

допускається зупинка на рішенні, що перебуває в межах заданого відхилення від оптимального значення [20]. З практичної позиції це означає, що розв'язок може бути близьким до оптимального, але не завжди абсолютно найкращим. Тому результати Solver доцільно перевіряти додатковим інструментом або сценарним аналізом.

Для програмної реалізації оптимізаційних моделей застосовується Python. Однією з поширених бібліотек для лінійного та змішано-цілочисельного програмування є PuLP. У документації PuLP зазначено, що бібліотека дає змогу створювати LP та MILP-моделі, генерувати LP/MPS-файли та викликати відкриті або комерційні солвери, зокрема CBC, GLPK, CPLEX, GUROBI, HiGHS та інші [21]. Для економічної аналітики логістичних операцій Python має кілька переваг: автоматизоване зчитування даних, повторюваність розрахунків, гнучкість сценаріїв, можливість перевірки моделі на різних припущеннях і краща прозорість алгоритмічної логіки.

До інструментів програмної аналітики також належать бібліотеки для статистичних розрахунків і машинного навчання. SciPy може використовуватися для кореляційного аналізу, зокрема через `pearsonr`, що оцінює коефіцієнт кореляції Пірсона і `p-value` [12]. Scikit-learn може використовуватися для побудови регресійних моделей, зокрема `LinearRegression`, яка мінімізує суму квадратів залишків. У поєднанні з Excel або ERP-даними ці інструменти дозволяють створювати відтворювану аналітичну модель, яку можна оновлювати після зміни попиту, тарифів, залишків або логістичних обмежень.

Важливо підкреслити, що жоден із наведених інструментів не є універсальним. ABC/XYZ-аналіз добре класифікує номенклатуру, але не визначає оптимальний розмір замовлення. EOQ визначає економічний розмір партії, але потребує відносно стабільного попиту. Страховий запас знижує ризик дефіциту, але збільшує заморожений капітал. Кореляційний аналіз виявляє зв'язок між показниками, але не доводить причинність. Регресія оцінює кількісний вплив факторів, але залежить від якості даних і коректності припущень. MILP-модель дозволяє знайти оптимальне

рішення за обмежень, але потребує точних вхідних параметрів. ERP/WMS-система забезпечує дані, але сама по собі не гарантує економії без зміни правил управління.

Саме тому ефективна економічна аналітика логістичних операцій має бути комплексною. Вона повинна поєднувати фінансову діагностику, класифікацію запасів, моделі поповнення, аналіз сервісу, оцінку вартості капіталу, оптимізацію маршрутів, сценарну перевірку ризиків і цифрову підтримку. Такий підхід дозволяє розглядати логістичні операції не як окремі технічні дії, а як джерело економічного результату, що впливає на ліквідність, оборотність, витрати і прибутковість виробничого підприємства.

Висновки до першого розділу

1. У підрозділі 1.1 було розкрито сутність логістичних операцій виробничого підприємства та визначено їх місце в системі управління матеріальними, інформаційними й супутніми потоками. Логістика виробничого підприємства не обмежується транспортуванням або складським зберіганням, а охоплює значно ширший комплекс дій: постачання сировини, приймання, переміщення, зберігання, комплектацію, пакування, відвантаження, доставку, крос-докінг, інформаційний супровід і контроль виконання замовлень. Це дає підстави розглядати логістичні операції як важливий чинник ритмічності виробництва, своєчасного обслуговування клієнтів і формування загального рівня витрат підприємства.

2. На основі узагальнення сучасних підходів було доведено, що логістичний процес і логістична операція не є тотожними поняттями. Логістичний процес є ширшою послідовністю взаємопов'язаних дій, яка має вхід, вихід, мету, виконавців і показники результативності. Натомість логістична операція є конкретною дією або групою однорідних дій, що виконується в межах процесу та безпосередньо змінює стан матеріального, інформаційного або супутнього потоку. Саме тому процес формує організаційну рамку, а операція виступає первинним об'єктом калькулювання, нормування, вимірювання й оптимізації.

3. Встановлено, що для економічної аналітики виробничого підприємства ключове значення має саме операційний рівень логістики. Процеси постачання, складування, дистрибуції або виконання замовлення є занадто широкими для прямого кількісного оцінювання. Водночас окремі операції можна виміряти через витрати, час виконання, обсяг вантажу, кількість рейсів, рівень запасів, частку неліквідів, вартість перевалки, витрати на зберігання або рівень сервісу. Через це логістична операція є найбільш придатною одиницею для подальшої економіко-аналітичної оцінки.

4. У підрозділі було систематизовано основні групи логістичних операцій виробничого підприємства: вхідні, внутрішньовиробничі та вихідні. Вхідні операції забезпечують надходження сировини, матеріалів і комплектуючих; внутрішньовиробничі – рух ресурсів між складом, виробничими зонами та робочими центрами; вихідні – комплектацію, пакування, відвантаження, доставку готової продукції та контроль виконання замовлення. Такий поділ показує, що логістика виробничого підприємства одночасно обслуговує виробничий цикл і ринковий попит.

5. Окремо обґрунтовано, що логістичні операції мають прямий вплив на оборотний капітал і фінансовий стан підприємства. Надмірне поповнення запасів великими партіями призводить до накопичення складських залишків; несинхронізовані операції комплектації та відвантаження сприяють утворенню неліквідів; переважання термінових LTL-відправлень підвищує транспортні витрати; розрізнені інформаційні операції створюють асиметрію між продажами, складом, виробництвом і закупівлями. Отже, логістичні операції формують не лише операційний, а й фінансовий результат підприємства.

6. Підкреслено відмінність між логістичними й технологічними операціями. Технологічна операція змінює фізичну форму або властивості продукції, тоді як логістична операція забезпечує її наявність, переміщення, збереження, ідентифікацію, комплектність і готовність до наступного етапу. Для виробничого підприємства це означає, що навіть за ефективного виробництва фінансовий результат може погіршуватися через нераціональні складські, транспортні або інформаційні операції.

7. Важливою ознакою сучасних логістичних операцій є їх цифровий характер. Приймання, резервування, переміщення, комплектація, відвантаження та доставка мають бути не лише фізично виконані, а й зафіксовані в інформаційній системі. Без такого цифрового контуру неможливо точно контролювати залишки, відстежувати виконання замовлень, оцінювати витрати, підтримувати актуальність моделей управління запасами та коригувати логістичні рішення відповідно до фактичних даних.

8. Отже, у підрозділі 1.1 сформовано теоретичну основу для подальшого аналізу логістичних операцій виробничого підприємства. Логістичні операції доцільно розглядати як локалізовані, вимірювані дії з переміщення, зберігання, поповнення, комплектації, транспортування, перевалки, інформаційного супроводу та контролю потоків, які виконуються в межах ширших логістичних процесів і безпосередньо впливають на витрати, ліквідність, рівень сервісу та фінансовий результат підприємства.

2 АНАЛІТИКА СТАНУ ТА КЛЮЧОВИХ ТЕНДЕНЦІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОГІСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

2.1 Економічний аналіз діяльності виробничого підприємства

Економіко-аналітичне оцінювання ефективності логістичних операцій неможливе без попереднього проведення комплексного економічного аналізу загальної діяльності підприємства. Як доводять сучасні дослідження, зокрема В. Самодай та ін., логістична система є наскрізною кровоносною системою бізнесу, неефективність якої миттєво віддзеркалюється на базових фінансових індикаторах: ліквідності, оборотності активів та загальній рентабельності підприємства [22].

Базою для проведення прикладного дослідження обрано Товариство з обмеженою відповідальністю «БАРКС» (далі – ТОВ «БАРКС») – сучасне українське виробничо-торгівельне підприємство, що спеціалізується на розробці, серійному виробництві та реалізації енергоефективних алюмінієвих архітектурних рішень. Основною метою компанії є забезпечення вітчизняного ринку технологічними фасадними системами, які складають конкуренцію європейським аналогам за якістю, проте мають оптимізовану логістичну складову вартості [23].

Аналіз видів економічної діяльності за КВЕД демонструє комплексну бізнес-модель компанії. Основною статутною діяльністю є «Оптова торгівля деревиною, будівельними матеріалами та санітарно-технічним обладнанням» (46.73). Проте реальним центром формування доданої вартості виступає виробничий блок: «Виробництво будівельних металевих конструкцій» (25.11) та «Механічне оброблення металевих виробів» (25.62) [24]. Підприємство серійно виготовляє навісні вентильовані фасади (НВФ), світлопрозорі огорожувальні конструкції (СПОК), суцільноскляні перегородки та сонцезахисні ламелі.

Критичним аспектом забезпечення конкурентоспроможності ТОВ «БАРКС» є його логістична політика. Компанія оперує розгалуженою мережею дистрибуції:

власні та транзитні склади у Києві, Харкові, Запоріжжі, а також дилерська мережа у Вінниці, Львові, Дніпрі та Івано-Франківську. Маркетингова обіцянка компанії базується на двох жорстких КРІ: постійна наявність на складах понад 1000 одиниць номенклатури та оперативна доставка на будівельні майданчики максимум за 2 дні [25].

Для оцінки того, як обрана операційно-логістична модель впливає на фінансовий стан підприємства, проведемо горизонтальний та вертикальний аналіз доходів і витрат за 2022-2025 роки (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Динаміка доходів та витрат ТОВ «БАРКС» за 2022-2025 рр.

Показник	2022 р., тис. грн	2023 р., тис. грн	2024 р., тис. грн	2025 р., тис. грн	Темп росту 2025/2024, %
Чистий дохід від реалізації	427.4	76950.7	94694.1	91208.4	96.30
Інші операційні доходи	8.4	37.7	252.9	841.1	332.60
Разом доходи	435.8	76988.4	94947	92089.5	97.00
Собівартість реалізованої продукції	387.8	67898.5	70082.5	62561.4	89.30
Інші операційні витрати	35.4	6110.9	21196.9	26056.3	122.90
Разом витрати	423.2	74009.4	91279.4	88617.7	97.10
Валовий прибуток	39.6	9052.2	24611.6	28647	116.40
Фінансовий результат до оподаткування	12.6	2979	3667.6	3471.8	94.70
Податок на прибуток	2.3	536.2	660.2	624.9	94.60
Чистий прибуток	10.3	2442.8	3007.4	2846.9	94.70

Джерело: розраховано автором на основі фінансової звітності підприємства [26]

Економічний аналіз даних табл. 2.1 свідчить, що ТОВ «БАРКС» здійснило великий стрибок від мікропідприємства у 2022 році до системного гравця ринку. У 2025 році спостерігається етап консолідації: чистий дохід стабілізувався на рівні 91.2 млн грн. Головним операційним досягненням менеджменту у 2025 році стала

оптимізація виробничої собівартості, яка скоротилася на 10.7%, що дозволило згенерувати рекордний валовий прибуток у 28.6 млн грн.

Однак, з позиції логістичного менеджменту, ключовою проблемою є стрімке зростання «Інших операційних витрат», які піднялися з 21.2 млн грн у 2024 році до 26.05 млн грн у 2025 році (зростання на 22.9%). Згідно з дослідженнями У. М. Плекан та співавторів, у структурі звітності торговельно-виробничих підприємств саме ця стаття акумулює в собі приховані логістичні витрати: утримання надлишкових складських площ, магістральну дистрибуцію та оплату послуг сторонніх транспортних організацій [27, с. 117]. Зростання цих витрат повністю поглинуло позитивний ефект від оптимізації виробничої собівартості.

Вплив логістичних витрат на результативність компанії підтверджується розрахунком ключових показників рентабельності (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Показники рентабельності ТОВ «БАРКС» за 2023-2025 рр.

Показник	Формула	2023	2024	2025
Валова маржа, %	$(\text{Валовий прибуток} / \text{Чистий дохід}) \cdot 100\%$	11.76	25.99	31.41
Рентабельність продажів, %	$(\text{Чистий прибуток} / \text{Чистий дохід}) \cdot 100\%$	3.17	3.18	3.12
Рентабельність активів, %	$(\text{Чистий прибуток} / \text{Середні активи}) \cdot 100\%$	13.96	6.69	4.33
Рентабельність власного капіталу, %	$(\text{Чистий прибуток} / \text{Середній власний капітал}) \cdot 100\%$	159.2	17.22	7.53

Джерело: розраховано автором на основі [26]

Валова маржа у 31.41% підтверджує, що компанія виробляє продукцію з високою доданою вартістю. Водночас рентабельність продажів за чистим прибутком балансує на низькому рівні 3.12%. Зниження рентабельності активів з 6.69% до 4.33% є прямим індикатором проблеми надмірного нарощування майна, яке не генерує адекватного прибутку.

Для розуміння причин падіння оборотності активів необхідно проаналізувати структуру майна підприємства (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Динаміка та структура активів ТОВ «БАРКС» за 2023-2025 рр.

Показник	2023 р., тис. грн	Питома вага, %	2024 р., тис. грн	Питома вага, %	2025 р., тис. грн	Питома вага, %	Відхилення 2025/2024, тис. грн
Необоротні активи	0.0	0.0	1725.2	3.1	2707.9	3.6	982.7
- Основні засоби	0.0	0.0	863.0	1.6	381.1	0.5	-481.9
- Незавершені капіт. інвестиції	0.0	0.0	862.2	1.5	2326.8	3.1	1464.6
Оборотні активи	482.0	100.0	53700.8	96.9	73298.5	96.4	19597.7
- Запаси	375.5	77.9	35902.9	64.8	51729.6	68.1	15826.7
- Дебіторська заборгованість (сумарно)	0.0	0.0	13620.6	24.6	16301.6	21.4	2681.0
- Гроші та їх еквіваленти	0.0	0.0	2829.8	5.1	2653.8	3.5	-176.0
- Інші оборотні активи	106.5	22.1	1347.5	2.4	2613.5	3.4	1266.0
БАЛАНС (Усього активів)	482.0	100.0	55426.0	100.0	76006.4	100.0	20580.4

Джерело: розраховано автором на основі [26]

Детальний розгляд балансу ТОВ «БАРКС» виявляє тенденцію до зростання сукупної вартості майна. Якщо у 2023 році загальна сума активів становила лише 482.0 тис. грн, то на кінець 2025 року вона досягла 76006.4 тис. грн, абсолютний приріст за останній рік склав 20580.4 тис. грн. На перший погляд, таке збільшення масштабів діяльності може трактуватися як позитивний сигнал. Однак, глибокий якісний аналіз цього зростання вказує на формування критичних структурних диспропорцій, які генерують значні логістичні ризики.

Динаміка необоротних активів демонструє поступову розбудову інфраструктурної бази. У 2023 році вони були відсутні, проте до 2025 року їх обсяг зріс до 2707.9 тис. грн, а питома вага досягла 3.6%. Основний драйвер цього зростання – стаття «незавершені капітальні інвестиції», яка у 2025 році склала 2326.8 тис. грн. Це свідчить про активну фазу придбання нового технологічного або складського обладнання, що ще не введене в експлуатацію. Водночас загальна питома вага

інфраструктурних активів залишається мізерною порівняно із загальними масштабами балансу компанії.

Найбільш загрозливі процеси розгортаються у структурі оборотних активів, частка яких стабільно перевищує 96%. Абсолютний приріст на 19597.7 тис. грн за 2024-2025 роки був спровокований акумуляцією колосальних обсягів виробничих запасів (зростання на 15826.7 тис. грн за останній рік) та збільшенням дебіторської заборгованості до 16301.6 тис. грн. Якщо наявність у підприємства готової продукції або запасів супроводжується стрімким збільшенням обсягів дебіторської заборгованості за умови відсутності або низького рівня грошових коштів, це є беззаперечним індикатором того, що продукція реалізована в кредит, зобов'язання зростають, ліквідність падає, і на підприємстві розвиваються глибокі кризові явища. [28].

Діагностична оцінка майнового стану виявляє формування надзвичайно важкого оборотного капіталу. Головним джерелом роздування валюти балансу до 76 млн грн стало нарощування матеріальних запасів. У 2025 році вони збільшилися на 15800 тис. грн і досягли 51729.6 тис. грн, що становить 68.1% усього майна компанії. З них понад 32.7 млн грн – це готова продукція на складах.

З позиції логістичної аналітики, такий обсяг запасів підлягає критичній оцінці через розрахунок коефіцієнта оборотності ($K_{об.}$) (формула 2.1):

$$K_{об.} = \frac{\text{Собівартість реалізації}}{\text{Середні запаси}}, \quad (2.1)$$

Отримали, що $K_{об.} = 1.43$ рази на рік. Перевішивши цей показник у дні, отримуємо тривалість одного операційного циклу – 252 дні. Такий результат свідчить, що запаси підприємства оновлюються повільно, а один повний цикл їх перетворення в реалізовану продукцію триває майже 8.5 місяців. З економічної позиції це означає, що значна частина оборотного капіталу тривалий час залишається зв'язаною у складських залишках і не повертається у грошову форму. Внаслідок цього частка найліквідніших активів критично скоротилася до 3.5%.

Джерела фінансування такого масивного балансу відображені у структурі пасивів підприємства (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Динаміка та структура пасивів ТОВ «БАРКС» за 2023-2025 рр.

Показник	2023 р., тис. грн	Питома вага, %	2024 р., тис. грн	Питома вага, %	2025 р., тис. грн	Питома вага, %	Відхилення 2025/2024, тис. грн
Власний капітал	40	8.3	31 904.6	57.6	43713.9	57.5	11809.3
Зареєстрований капітал	50	10.4	50	0.1	50	0.1	0
Нерозподілений прибуток	-10	-	31854.6	57.5	43663.9	57.4	11809.3
Поточні зобов'язання	442	91.7	23521.4	42.4	32292.5	42.5	8771.1
Кред. заборг. за товари	302.4	62.7	11213.5	20.2	10176.3	13.4	-1037.2
Інші поточні зобов'язання	112.1	23.3	11584.4	20.9	21546.3	28.3	9961.9
БАЛАНС (Усього пасивів)	482	100	55426	100	76006.4	100	20580.4

Джерело: розраховано автором на основі [26]

Замороження коштів у запасах неминуче б'є по здатності компанії вчасно розраховуватися за своїми поточними зобов'язаннями – кредиторська заборгованість перед постачальниками сировини складає понад 10.1 млн грн. Для підтвердження цієї гіпотези проведемо діагностику ліквідності (табл. 2.5). Ліквідність підприємства – це його здатність швидко та без суттєвих фінансових втрат конвертувати наявні активи у грошові кошти для безперебійного погашення поточних зобов'язань [29, с. 212]. Для ТОВ «БАРКС» показники ліквідності є найточнішим індикатором того, наскільки злагоджено функціонує логістичний механізм. Будь-які затримки у транспортуванні або накопичення неліквідів на складах миттєво погіршують ці метрики. Аналіз ліквідності базується на розрахунку трьох класичних коефіцієнтів.

Таблиця 2.5 – Динаміка показників ліквідності ТОВ «БАРКС»

Показник	Формула	2024	2025	Відхилення
Коефіцієнт поточної ліквідності (Кпл)	Оборотні активи / Поточні зобов'язання	2.28	2.27	-0.01
Коефіцієнт швидкої ліквідності (Кшл)	(Оборотні активи - Запаси) / Поточні зобов'язання	0.75	0.66	-0.09
Коефіцієнт абсолютної ліквідності (Кал)	Грошові кошти / Поточні зобов'язання	0.12	0.08	-0.04

Джерело: *розраховано автором на основі [26]*

Коефіцієнт поточної ліквідності є ідеальним (2.27). Однак, очистивши поточні активи від найменш ліквідної частини – запасів, ми бачимо, що швидка ліквідність падає до 0.66. Критичною є ситуація з коефіцієнтом абсолютної ліквідності: значення 0.08 означає, що підприємство здатне миттєво погасити лише 8% своїх боргів.

Для інтегральної оцінки ризику банкрутства внаслідок такої логістичної політики застосовано універсальну дискримінантну модель О. Терещенка. Як доводить Д. С. Ломоносов, незважаючи на глобальні шоки через повномасштабну війну, ця модель залишається найбільш релевантним інструментом для вітчизняних підприємств з високою питомою вагою оборотного капіталу [30].

Формула дискримінантної функції (2.2):

$$Z = 1.5X_1 + 0.08X_2 + 10X_3 + 5X_4 + 0.3X_5 + 0.1X_6, \quad (2.2)$$

де X_1 – відношення грошових надходжень до зобов'язань;

X_2 – відношення валюти балансу до зобов'язань;

X_3 – відношення чистого прибутку до середньорічної суми активів;

X_4 – відношення чистого прибутку до виручки від реалізації;

X_5 – відношення запасів до виручки від реалізації;

X_6 – відношення чистого доходу до суми активів.

Змінні для 2025 року розраховані так:

– $X_1 = 3501.6/32292.5 = 0.108;$

– $X_2 = 76006.4/32292.5 = 2.353;$

- $X_3 - 2846.9/65716.2 = 0.043$;
- $X_4 - 2846.9/91298.4 = 0.031$;
- $X_5 - 51729.6/91208.4 = 0.567$;
- $X_6 - 91208.4 / 76006.4 = 1.2$

Розрахунок інтегрального показника:

$$Z = 1.5 \cdot 0.108 + 0.08 \cdot 2.353 + 10 \cdot 0.043 + 5 \cdot 0.031 + 0.3 \cdot 0.567 + 0.1 \cdot 1.200 = 1.226$$

Згідно з методологією моделі Терещенка, оскільки значення Z потрапляє в інтервал $1 < Z < 2$, підприємство знаходиться у зоні прихованого ризику [31]. Значна сума зобов'язань перед постачальниками у поєднанні з величезним обсягом заморожених запасів (найбільший вплив фактору X_5) тягнуть інтегральний індикатор вниз, сигналізуючи про операційну кризу.

Проведені розрахунки майнового стану, структури капіталу, ліквідності, фінансової стійкості, ділової активності та дискримінантних моделей банкрутства дозволяють зробити ряд взаємопов'язаних висновків, які чітко локалізують першоджерело наростаючої кризи. По-перше, виявлено глибокий дисбаланс у структурі активів. Підприємство потерпає від гіпертрофованої частки оборотних активів, які майже на 40% складаються з матеріальних складських запасів. Це призводить до масштабної іммобілізації робочого капіталу в неефективних логістичних ланцюгах. Складські потужності перевантажені лісоматеріалами та будівельним обладнанням, які не обертаються з належною швидкістю і не генерують доданої вартості, натомість абсорбуючи логістичні витрати на своє утримання.

По-друге, зафіксовано небезпечну деградацію ліквідності та перманентну загрозу касових розривів. Критичне падіння показника абсолютної ліквідності підтверджує тезу про те, що підприємство відчуває гострий дефіцит реальних грошових коштів, що паралізує його операційну та транспортну діяльність, не дозволяючи своєчасно розраховуватися з контрагентами.

Й по-третє, спостерігається стрімке зростання ймовірності настання банкрутства. Хоча вітчизняна модель Терещенка ще демонструє певний запас міцності за рахунок роздутих оборотних активів, комплексна діагностика підтверджує, що якщо тенденція до накопичення неліквідних запасів та зростання боргового навантаження не буде негайно зупинена управлінськими заходами, ці кризові явища набудуть незворотного характеру.

2.2 Економіко-аналітичне оцінювання ефективності логістичних операцій виробничого підприємства

Проведений у попередньому підрозділі загальний економічний аналіз ТОВ «БАРКС» виявив наявність суттєвих структурних диспропорцій між високою результативністю виробничого процесу та значним зростанням операційних витрат підприємства. Для точної локалізації причин цього явища необхідно провести глибоке економіко-аналітичне оцінювання ефективності саме логістичних операцій компанії.

Оцінювання ефективності логістики базується на концепції «7R», головним критерієм якої є забезпечення необхідного рівня обслуговування клієнтів за умови мінімізації сукупних витрат [32, с. 72]. Аналіз операційної діяльності ТОВ «БАРКС» свідчить, що підприємство виконує вимоги щодо часу та місця, дотримуючись маркетингового стандарту доставки за 2 дні, проте має суттєві відхилення за критерієм раціонального використання оборотного капіталу.

Для комплексного дослідження цього явища застосуємо методи індикаторного оцінювання, а також трендовий та кореляційно-регресійний аналіз.

Для кількісного виміру ефективності матеріальних потоків ТОВ «БАРКС» сформовано систему аналітичних індикаторів, яка включає показники оборотності, частки логістичних витрат та рентабельності логістичних активів. Базовим індикатором ефективності управління запасами є період їх обороту у днях (формула 2.3):

$$T_{об.} = \frac{\text{Середньорічна вартість запасів} \cdot 360}{\text{Собівартість реалізованої продукції}}, \quad (2.3)$$

Розрахуємо цей показник для ТОВ «БАРКС» за 2025 рік. Середньорічна вартість запасів склала 43816.3 тис. грн $((35902.9 + 51729.6) / 2)$. Водночас собівартість реалізованої продукції дорівнює 62561.4 тис. грн. $T_{об.} = (43816.3 \cdot 360) / 62561.4 = 251.1$ дні.

Другим індикатором є рівень логістичних витрат у структурі доходів підприємства (формула 2.4):

$$LCR = \frac{\text{Сукупні логістичні витрати}}{\text{Виручка від реалізації}} \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

Для ТОВ «БАРКС» сукупні логістичні витрати акумулюються у статті «інші операційні витрати», яка включає транспортні послуги, оренду складів та витрати на утримання запасів. Зведемо результати розрахунку ключових логістичних індикаторів (табл. 2.6):

Таблиця 2.6 – Індикаторне оцінювання ефективності логістичних операцій ТОВ «БАРКС» за 2023-2025 рр.

Показник	2023	2024	2025	Відхилення 2025 до 2024
Вартість запасів на кінець року, тис. грн	375.5	35902.9	51729.6	15826.7
Період обороту запасів, днів	0.9	93.3	252.1	158.8
Логістичні витрати, тис. грн	6110.9	21196.9	26056.3	4859.4
Рівень логістичних витрат (LCR), %	7.94	22.38	28.56	6.18
Рентабельність логістичних витрат	0.4	0.14	0.11	-0.03

Джерело: розраховано автором на основі [26]

Аналіз даних табл. 2.5 виявляє негативну тенденцію: частка логістичних витрат у загальній виручці (LCR) зросла з 22.38% у 2024 році до 28.56% у 2025 році. Рентабельність логістичних витрат знизилася до 0.11. Це означає, що кожна гривня, витрачена на транспортування та зберігання продукції, генерує лише 11 копійок

чистого прибутку, що свідчить про зниження віддачі від логістичної інфраструктури компанії.

Для обґрунтування напрямів подальшого дослідження необхідно встановити математично достовірний зв'язок між складовими операційної політики підприємства. У межах дипломної роботи висунуто гіпотезу: стрімке зростання логістичних витрат ТОВ «БАРКС» (Y) є не наслідком зовнішніх цінових шоків, наприклад, зростання тарифів на паливо через війну, а прямою функцією від обсягу заморожених матеріальних запасів на складах підприємства (X).

Для перевірки цієї гіпотези застосовано метод найменших квадратів для побудови однофакторної лінійної регресійної моделі виду $Y = \alpha + \beta X$. Аби забезпечити високу статистичну значущість та виключити вплив сезонних відхилень, як базу дослідження використано динамічний ряд помісячних даних внутрішньої управлінської звітності ТОВ «БАРКС» за період 2023-2025 років. Загальний обсяг вибірки становить $n = 36$ спостережень (додаток А).

За допомогою надбудови пакету аналізу даних отримано результати моделювання, що включають регресійну статистику, дисперсійний аналіз та оцінку коефіцієнтів (табл. 2.7 – 2.9).

Таблиця 2.7 – Регресійна статистика моделі логістичних витрат

Показник	Значення
Multiple R	0.939056448
R Square	0.881827012
Adjusted R Square	0.878351336
Standard Error	274.4364475
Observations	36

Джерело: складено автором

Коефіцієнт кореляції ($R = 0.939$) вказує на наявність дуже тісного прямого лінійного зв'язку між обсягом запасів та величиною логістичних витрат. Коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0.882$) свідчить про те, що 88.18% варіації щомісячних логістичних

витрат ТОВ «БАРКС» обумовлено зміною обсягів складських запасів. Лише 11.82% витрат формуються під впливом інших факторів. Високе значення скоригованого R^2 підтверджує надійність моделі.

Особливої уваги заслуговує показник стандартної похибки, який становить 274.44 тис. грн. На перший погляд, це число може здатися великим, проте таке відхилення є обґрунтованим з економічної та логістичної точки зору. Логістичні витрати підприємства формуються під впливом не лише обсягу збережених запасів, а й низки високодинамічних екзогенних факторів, притаманних воєнним 2023-2025 рокам. До них належать стрибкоподібні зміни вартості паливно-мастильних матеріалів, нестабільні тарифи зовнішніх логістичних операторів через термінові, експрес-відправлення та штрафи за терміновість, витрати на альтернативні джерела енергії для підтримки складів під час блекаутів, а також нерівномірні витрати на оренду додаткових площ. Саме ці специфічні для періоду фактори генерують залишкову дисперсію, яку відображає стандартна похибка моделі. Також така похибка пов'язана зі швидким зростанням компанії у 2024 року в порівнянні з 2023.

Таблиця 2.8 – Дисперсійний аналіз

Джерело варіації	Ступені свободи (df)	Сума квадратів (SS)	Середній квадрат (MS)	F-статистика	Значущість F
Регресія	1	19108547.48	19108547.48	253.71	2.46333E-17
Залишок	34	2560722.366	75315.3637		
Разом	35	21669269.84			

Джерело: розраховано автором на основі даних підприємства

Дисперсійний аналіз доводить загальну статистичну адекватність побудованої моделі. Значення F-критерію Фішера дорівнює 253.71, а його рівень значущості становить 2.46333E-17. Оскільки розраховане р-значення є значно меншим за прийнятий рівень 0.05, рівняння регресії визнається високо значущим та придатним для аналітичного використання.

Таблиця 2.9 – Оцінка коефіцієнтів економетричної моделі

Показник	Коефіцієнти	Стандартна похибка	t-статистика	P-значення	Нижні 95%	Верхні 95%
Y-перетин	92.8816	100.0434	0.9284	0.3597	-110.4	296.194
X (Запаси, тис. грн)	0.0503	0.0032	15.9284	2.46E-17	0.0439	0.0567

Джерело: розраховано автором на основі даних підприємства

На основі отриманих коефіцієнтів, формалізоване рівняння регресії має такий вигляд: $Y = 92.8816 + 0.0503X$ (рис. 2.1).

P-значення коефіцієнту b_2 перевищує 0.05. Це означає, що статистично цей коефіцієнт не відрізняється від нуля. Постійні логістичні витрати є незначними порівняно зі змінними.

Коефіцієнт регресії $b_1 = 0.0503$ означає, що при збільшенні обсягу запасів на складах ТОВ «БАРКС» на 1000 тис. грн, супутні логістичні витрати автоматично зростають у середньому на 50.3 тис. грн щомісяця. Відповідно, обслуговування, інвентаризація та переміщення додаткових запасів становить значне, мультиплікативне навантаження на операційний бюджет компанії. Значення t-статистики становить 15.9284, а p-значення прямує до нуля, що підтверджує його статистичну достовірність.

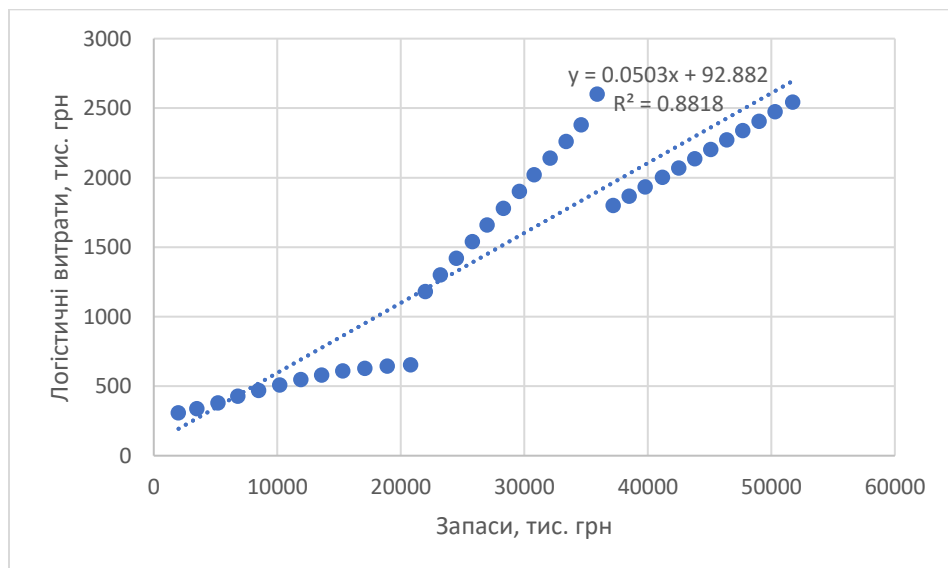


Рисунок 2.1 – Залежність логістичних витрат від обсягу запасів у 2023-2025 рр.
Джерело: складено автором на основі даних підприємства

Оскільки залежна змінна Y відображає логістичні витрати за місяць, коефіцієнт регресії $\beta = 0.0503$ має помісячну економічну інтерпретацію. Це означає, що збільшення обсягу запасів на 1 тис. грн супроводжується зростанням логістичних витрат у середньому на 0.0503 тис. грн за місяць. Відповідно, за умови збереження такого додаткового обсягу запасів протягом усього року, умовний річний еквівалент витрат становитиме: $0.0503 \cdot 12 = 0.6036$.

Отже, кожна додаткова 1 тис. грн запасів може формувати близько 0.6036 тис. грн супутніх логістичних витрат у річному вимірі. Важливо підкреслити, що цей показник не є чистою ставкою складського зберігання, а відображає комплексне витратне навантаження, пов'язане з обслуговуванням, переміщенням, зберіганням і логістичним супроводом надлишкових запасів.

На рис. 2.1 спостерігається певне групування точок за роками. Це пояснюється тим, що у 2023, 2024 та 2025 роках підприємство працювало в різних операційних умовах. У 2023 році масштаби діяльності, обсяг запасів і логістичні витрати були нижчими. У 2024 році відбулося суттєве розширення діяльності, збільшення складських залишків і зростання витрат на їх обслуговування. У 2025 році підприємство вже функціонувало в умовах значно більшого запасу продукції, вищих транспортно-складських витрат і більшого навантаження на логістичну систему.

Важливим інструментом аналітики є оцінювання прихованих збитків підприємства, які не відображаються у стандартній бухгалтерській звітності. До таких збитків належить альтернативна вартість замороженого капіталу – дохід, який підприємство могло б отримати, якби реінвестувало ці кошти у розвиток бізнесу або розмістило на фінансових ринках, замість утримання у вигляді матеріальних запасів.

Для розрахунку орієнтовної суми втраченої вигоди (ВВ) використовується формула 2.5:

$$ВВ = 3 \cdot r, \quad (2.5)$$

де 3 – вартість запасів на кінець періоду;

r – ставка дисконтування.

$$ВВ = 51729.6 \cdot 0.15 = 7759.4 \text{ (тис. грн)}$$

Отже, приховані економічні збитки підприємства від нераціонального управління логістикою запасів становлять близько 7.76 млн грн на рік. Для порівняння, офіційний чистий прибуток компанії за 2025 рік склав лише 2.84 млн грн. Це означає, що оптимізація політики управління запасами здатна потенційно збільшити фінансовий результат компанії у кілька разів.

Альтернативна вартість замороженого капіталу – це дохід, який підприємство могло б отримати, якби вклало ці кошти у розвиток або поклало на депозит, замість того, щоб перетворювати їх на алюмінієві профілі, що лежать на складі (див. табл. 2.10) [33]:

Таблиця 2.10 – Оцінювання альтернативних втрат ТОВ «БАРКС»

Показник	Значення	Пояснення
Фактичний рівень запасів, тис. грн	51729.6	
Нормативний рівень запасів, тис. грн	25335.6	За умови скорочення оборотності до показника 2024 р.
Надлишок запасів, тис. грн	26394	Фактичний рівень - Нормативний
Ставка дисконтування, %	15	
Альтернативні економічні втрати, тис. грн	3959.1	Надлишок · Ставка

Джерело: розраховано автором на основі даних підприємства

Якби підприємство змогло оптимізувати свої логістичні процеси та повернутися хоча б до показників оборотності 2024 року, воно вивільнило б понад 26 млн грн грошей. Навіть найпростіше безризикове розміщення цих коштів принесло б підприємству 3.16 млн грн додаткового прибутку, що більше за поточний чистий прибуток від основної діяльності.

Ще одним свідченням логістичної неефективності є динаміка інших операційних витрат». З 2024 по 2025 рік вони зросли на 4859.4 тис. грн, що становить 22.9%. Враховуючи, що виручка за цей період впала на 3.7%, таке зростання логістичних витрат є економічно необґрунтованим (див. табл. 2.11).

Таблиця 2.11 – Порівняльний аналіз динаміки операційних показників

Показник	2024 р., тис. грн	2025 р., тис. грн	Темп росту, %
Обсяг реалізації	94694.1	91208.4	-3.68%
Собівартість виробництва	70082.5	62561.4	-10.73%
Транспортно-складські та інші операційні витрати	21196.9	26056.3	22.93%
Питома вага операційних витрат у виручці	22.3%	28.5%	6.20%

Джерело: складено автором на основі даних підприємства

Відділ виробництва спрацював чудово, бо знизив собівартість, але логістика розподілу знищила цей економічний ефект через неефективні маршрути, термінові малотоннажні перевезення та витрати на оренду додаткових площ для зберігання нереалізованого обсягу товару.

Для інтегральної оцінки впливу логістичних диспропорцій на загальну результативність бізнесу ТОВ «БАРКС», необхідно провести декомпозицію фінансових результатів. Найбільш релевантним інструментом для цього є модифікована двофакторна модель Дюпона, яка дозволяє розкласти рентабельність активів (ROA) на два базові чинники: рентабельність та оборотність активів.

Математична формалізація моделі має вигляд (формула 2.6):

$$ROA = ROS \cdot K_{oa}, \quad (2.6)$$

де ROS – комерційна рентабельність продажів за чистим прибутком;

K_{oa} – коефіцієнт оборотності сукупних активів.

Як було встановлено у підрозділі 2.1, загальна рентабельність активів компанії зазнала падіння: з 6.69% у 2024 році до 4.33% у 2025 році. Загальне відхилення становить: $\Delta ROA = -2.36$ відсоткових пункти. Застосуємо метод ланцюгових підстановок для кількісного виміру впливу кожного фактора на це падіння (табл. 2.12).

Таблиця 2.12 – Факторний аналіз впливу логістичної та комерційної діяльності на рентабельність активів ТОВ «БАРКС»

Аналітичний показник	Позначення	2024	2025	Абсолютне відхилення
Чистий прибуток, тис. грн	NP	3007.4	2846.9	-160.5
Виручка від реалізації, тис. грн	TR	94694.1	91208.4	-3485.7
Середньорічна вартість активів, тис. грн	A ⁻	44966.3	65716.2	20749.9
Комерційна рентабельність продажів, %	ROS	3.176	3.121	-0.055
Коефіцієнт оборотності активів, разів	K _{oa}	2.106	1.388	-0.718
Рентабельність активів, %	ROA	6.69	4.33	-2.36

Джерело: складено автором на основі даних підприємства

Практичний сенс застосування моделі Дюпона для ТОВ «БАРКС» полягає у необхідності розв'язати класичний управлінський конфлікт між підрозділами. Відділ виробництва звітує про успішне зниження собівартості на 10.7%, а відділ продажу – про утримання високих обсягів реалізації понад 91 млн грн. Проте фінальний індикатор ефективності бізнесу – рентабельність сукупних активів (ROA) – обвалився з 6.69% до 4.33%. Для того, щоб визначити, який саме бізнес-процес призвів до деградації прибутковості, застосовується математична декомпозиція показників ROS та K_{oa}.

Комерційна рентабельність ROS відображає рівень прибутковості реалізації та ефективність формування фінансового результату від операційної діяльності. Цей показник розраховується як відношення чистого прибутку до виручки.

Коефіцієнт оборотності активів K_{oa} відображає інтенсивність використання майна підприємства: скільки гривень виручки генерує кожна гривня, вкладена в активи, зокрема, у складські запаси. Він розраховується як відношення виручки до

середньорічної вартості активів. Якщо у 2024 році кожна гривня активів прокручувалася через логістичний цикл і приносила 2.10 грн виручки, то у 2025 році бізнес катастрофічно сповільнився, бо віддача впала до 1.38 грн. Оскільки необоротні активи становлять лише 3.6% майна компанії, єдиною причиною цього сповільнення є надмірне заморожування капіталу в запасах (51729.6 тис. грн), що лежать на складах мертвим вантажем.

Щоб математично зважити частку вини кожного з цих двох факторів у загальному падінні ROA на 2.36 в.п., проведемо факторний розрахунок методом ланцюгових підстановок.

Вплив зміни рентабельності продажів (ΔROA_{ROS}) відображає, як зростання логістичних операційних витрат вплинуло на фінальний результат при фіксованій оборотності активів: $\Delta ROA_{ROS} = \Delta ROS \cdot K_{oa2024} = -0.116$ в.п.

Вплив зміни рентабельності продажів (ΔROA_{Koa}) відображає, ізольований вплив замороження капіталу в надлишкових матеріальних запасах: $\Delta ROA_{Koa} = ROS \cdot \Delta K_{oa} = -2.241$ в.п.

Математичний аналіз Дюпона розв'язує управлінський конфлікт. Він доводить, що 95% загального падіння ефективності бізнесу (-2.24 з -2.36 в.п.) спричинено саме уповільненням логістичного циклу та роздуванням балансу через екстенсивне складування матеріалів (падіння K_{oa}). Лише 5% падіння ефективності спричинено зниженням маржинальності через зростання витрат на транспорт. Відповідно, керівництво ТОВ «БАРКС» має спрямувати всі управлінські зусилля не на спроби здешевити транспортні тарифи, а на вивільнення капіталу через оптимізацію складських залишків, що має стати абсолютним пріоритетом стратегічного управління.

Результати кількісного оцінювання підтверджують, що існуюча логістична модель ТОВ «БАРКС» потребує реінжинірингу. Для переходу до формалізації економічної моделі проблеми у наступному підрозділі необхідно декомпонувати виявлені диспропорції на три взаємопов'язані субпроблеми в межах логістичного

ланцюга: проблема вхідної логістики, проблема внутрішньої логістики та проблема логістики дистриб'юції.

Субпроблема вхідної логістики є ключовою й виходить через екстенсивне накопичення сировини. Аналіз вхідних потоків свідчить, що строк постачання первинного алюмінію від заводів-виробників коливається від 2 до 6 тижнів. За відсутності інтегрованої системи планування (ERP) відділ закупівель керується стратегією перестраховування ризиків. Застосування стратегії штовхання сировини на склад без урахування реальних замовлень призвело до накопичення надлишкових обсягів матеріалів.

Субпроблема внутрішньої логістики, у свою чергу, полягає у відсутності диференційованого управління номенклатурою. Асортиментна матриця компанії налічує понад 1000 одиниць продукції. Управління здійснюється лінійно: до високомаржинальних базових профілів і до специфічної фурнітури застосовуються однакові алгоритми контролю. Це призводить до заповнення дефіцитних складських площ неліквідними запасами з високим коефіцієнтом варіації попиту.

Остання субпроблема логістики дистрибуції пов'язана з неоптимальною просторовою маршрутизацією. Для забезпечення виконання жорстких KPI зі швидкості доставки компанія змушена формувати термінові малотоннажні маршрути, такі як LTL-відправлення. Відправлення напівпорожніх автомобілів на далекі відстані мультиплікує транспортні витрати в розрахунку на одиницю реалізованої продукції.

2.3 Побудова економічної моделі проблеми ефективності логістичних операцій

Першим етапом вирішення будь-якої логістичної кризи є пошук її першопричин. Для дослідження факторів, що призвели до переходу компанії від ефективного виробництва до затоварення складів та падіння ліквідності, адаптовано інструмент когнітивного моделювання – діаграму Ісікави [8, с.10]. Головною проблемою, що потребує негайного вирішення, визначено низьку оборотність запасів

у 255.6 днів та економічно необґрунтовано високі логістичні витрати. Аналіз факторів впливу структуровано за п'ятьма категоріями: Закупівлі, Складування, Маршрутизація, Маршрутизація та Інформаційні потоки (рис. 2.2).

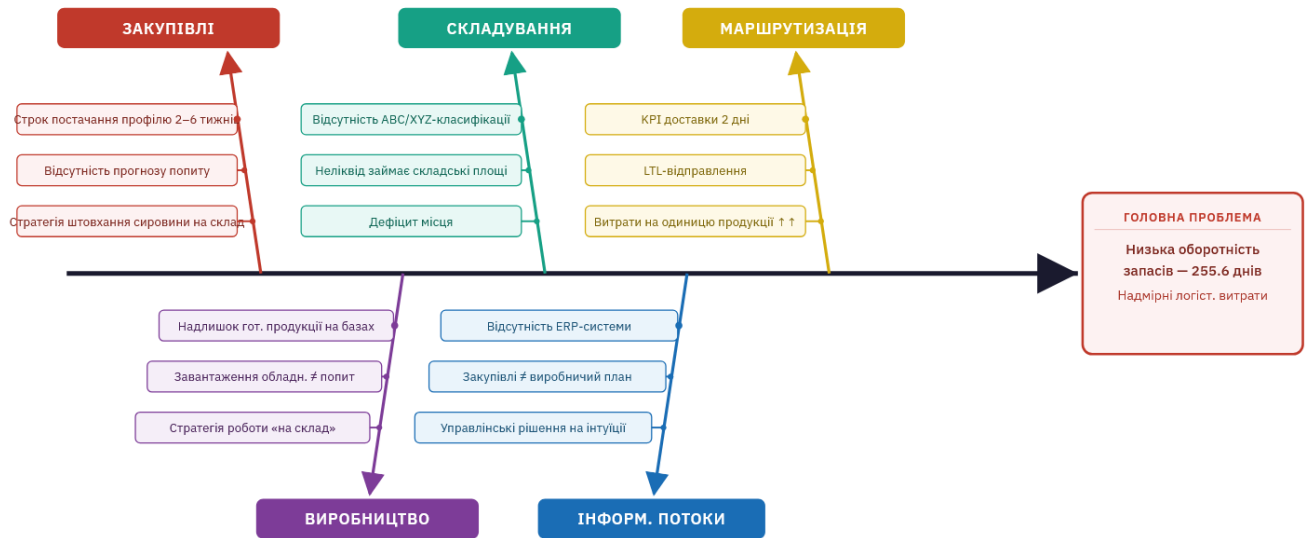


Рисунок 2.2 – Діаграма Ісикави причин низької ефективності логістичних операцій ТОВ «БАРКС»

Джерело: складено автором на основі даних підприємства

Субпроблема вхідної логістики (Закупівлі) виникає через екстенсивне накопичення сировинного буфера. Аналіз свідчить, що строк постачання первинного алюмінієвого профілю від заводів-виробників коливається від 2 до 6 тижнів. За відсутності точного інструментарію прогнозування попиту, відділ закупівель керується стратегією перестраховування ризиків. Застосування стратегії штовхання сировини на склад без урахування реальних замовлень призвело до накопичення надлишкових обсягів матеріалів, замороживши значний обсяг оборотного капіталу.

У векторі Складування проблема полягає у відсутності диференціації та ранжування запасів. На складах застосовується однаковий підхід як до високомаржинальних базових систем, так і до специфічної фурнітури з поодиноким попитом. Це призводить до того, що дефіцитні складські площі займають неліквідні

товари, обмежуючи простір для високооборотних позицій та збільшуючи витрати на зберігання.

На рівні Виробництва на підприємстві домінує стратегія роботи на склад. Операції компанії орієнтовані на максимальне завантаження наявного обладнання. Робота обладнання заради завантаження потужностей неминує генерує надлишок готової продукції (наприклад, нарізаних СПОК або ламелів), що згодом осідає на регіональних базах.

Субпроблема логістики дистрибуції (Маршрутизація) пов'язана з неоптимальною просторовою організацією потоків. Для виконання жорстких KPI зі швидкості доставки у 2 дні компанія формує термінові малотоннажні маршрути (LTL-відправлення). Відправлення напівпорожніх автомобілів на далекі відстані мультиплікує транспортні витрати в розрахунку на одиницю реалізованої продукції.

Основою, що посилює дію всіх перелічених факторів (Інформаційні потоки), є відсутність єдиної інтегрованої ERP-системи. Інформаційна асиметрія між виробничим цехом та відділом збуту унеможливорює синхронізацію процесів. Детальний розбір діаграми доводить, що проблема вимагає комплексного реінжинірингу логістичної системи ТОВ «БАРКС».

Для поглиблення аналізу фактору «Складування», була застосована методика матричного ABC/XYZ-аналізу. Зважаючи на те, що номенклатура ТОВ «БАРКС» налічує понад 1000 позицій, її оптимізація є критично необхідною для розмороження 51.7 млн грн запасів.

В основу аналітики лягли фактичні продуктові лінійки компанії:

- Групи товарів: BARK-INSIDE (для внутрішнього оздоблення), BARK-STANDARD (базові), BARK-STEEL (оцинковані), BARK-STRONG (посилені).
- Системи СПОК: Стійково-ригельна фасадна система, віконно-дверні конструкції, суцільноскляні перегородки, розсувні системи, офісні перегородки.
- Підтипи кріплення: на клей, на кляймер, на заклепку, на салазку.

– Складові: терморозрив, кронштейн, профіль (L-подібний, Т-подібний), метизи (саморізи, дюбелі, заклепки), кляймери (під керамограніт).

Критерієм для ABC-аналізу виступала частка товарної позиції у загальній виручці компанії за 2025 рік. Критерієм для XYZ-аналізу – коефіцієнт варіації попиту. Результати групування представлені у вигляді 9-секторної матриці (див. табл. 2.13).

Таблиця 2.13 – Результуюча матриця інтегрованого ABC-XYZ аналізу номенклатури ТОВ «БАРКС»

XYZ / ABC	Клас А (найбільший прибуток)	Клас В	Клас С (найменший прибуток)
Клас Х (Стабільний попит)	Сектор АХ (Флагмани)	Сектор ВХ (Стабільні середняки)	Сектор СХ (Масовий дешевий товар)
	Профілі BARK-STANDARD	Кронштейни	Гумові ущільнювачі
	Стійково-ригельна алюмінієва фасадна система	Кляймери	Базові заглушки
	Профіль (L-подібний, Т-подібний)	Система на кляймер (під керамограніт)	
	Терморозриви	Метизи (саморізи, дюбелі)	
Клас Y (Сезонний попит)	Сектор АУ (Високомаржинальна статика)	Сектор ВУ (Сезонні позиції)	Сектор СУ (Дешеві сезонні деталі)
	Віконно-дверні алюмінієві конструкції	Розсувні системи	Вентиляційні решітки
	BARK-INSIDE (Алюмінієві системи для внутр. оздоблення)	Система на клей	Декоративні елементи
	Офісні перегородки		
Клас Z (Випадковий попит)	Сектор AZ (Проекти під замовлення)	Сектор ВZ (Рідкісні замовлення)	Сектор CZ (Неліквід, заморожений капітал)
	BARK-STRONG (Посилені системи для каркасу)	BARK-STEEL (Оцинковані та нержавіючі системи)	Система на салазку
	Суцільноскляні перегородки	Профілі нестандартних кольорів	Система на заклепку
			Залишки партій

Джерело: складено автором на основі даних підприємства

Аналіз показує, що лівова частка замороженого капіталу акумульована у квадрантах BZ, CY та особливо CZ. Наприклад, системи на салазку та системи на заклепку мають вкрай низьку частоту продажів, проте займають значні складські об'єми, оскільки їх виготовлено наперед. Для сектора AZ утримання готових запасів взагалі немає економічного сенсу, оскільки такі посилені рішення проєктуються виключно під архітектуру конкретного об'єкту.

Можна зробити проміжний висновок, що для групи X слід утримувати страхові запаси і використовувати модель Вілсона. Групу Z (особливо AZ і BZ) необхідно повністю перевести на стратегію виробництва під замовлення. Позиції сектора CZ слід реалізувати зі значним дисконтом для швидкого отримання готівки.

Перед побудовою моделі необхідно провести Гар-аналіз (аналіз розриву) між маркетинговими амбіціями компанії та її економічною реальністю. Як зазначається у дослідженні щодо адаптації українського бізнесу, однією з головних причин втрати прибутковості виробничих компаній у 2023-2024 роках стала спроба зберегти довоєнні стандарти швидкості доставки за рахунок екстенсивного роздування складських запасів, що залишається вельми небезпечним під час військових дій.

Маркетингова обіцянка ТОВ «БАРКС» полягає у доставці будь-якого замовлення максимум за 2 дні. У сучасній практиці управління ланцюгами постачань здатність компанії виконувати замовлення вчасно та в повному обсязі вимірюється комплексним індикатором логістичного сервісу – OTIF (On-Time In-Full) [11]. Для ТОВ «БАРКС» цільовий показник OTIF встановлено на екстремально високому рівні –98.0%. Визначення цільового рівня логістичного сервісу на такій позначці пояснюється специфікою B2B-ринку комерційного будівництва та власною маркетинговою парадигмою підприємства. Клієнтами ТОВ «БАРКС» є генеральні підрядники зведення великих ТРЦ та житлових комплексів, для яких простій будівельного майданчика через затримку матеріалів генерує колосальні фінансові збитки. Щоб задовольнити ці вимоги, компанія публічно декларує жорсткий стандарт. З точки зору теорії ймовірностей, регулярне виконання такого стандарту в масштабах

усієї країни вимагає підтримки індикатора OTIF на рівні не нижче 98%. Проте, за відсутності математичного прогнозування попиту, компанія досягає цього екстремального показника не за рахунок оптимізації процесів, а виключно за рахунок екстенсивного заморожування понад 51.7 млн грн у страхових запасах та використання дорогих експрес-перевезень.

Однак, згідно зі звітом глобальної дослідницької компанії Gartner «Supply Chain Benchmarking 2023», навіть для лідерів європейського ринку B2B-виробництва, зокрема, у секторі будівельних матеріалів, бенчмарк показника OTIF становить 92-95%. Залежність між рівнем логістичного сервісу та витратами на утримання запасів має нелінійний характер. Для досягнення рівня обслуговування, що наближається до 100%, підприємство змушене формувати надлишковий страховий запас (Safety Stock – SS).

Формула обсягу страхового запасу має вигляд (формула 2.6):

$$SS = Z \cdot \sigma_D \cdot \sqrt{L}, \quad (2.6)$$

де Z – коефіцієнт нормального розподілу;

σ_D – стандартне відхилення попиту;

L – час виконання замовлення від постачальника.

За відсутності ERP-системи та точного IT-прогнозування, ТОВ «БАРКС» намагається підтримувати максимальний Z -фактор (2.05) для всієї номенклатури, включаючи товари з непередбачуваним попитом. Проведемо економіко-аналітичне оцінювання вартості підтримки такого рівня сервісу (табл. 2.14).

Попит на ринку будівельних матеріалів не є сталою детермінованою величиною, оскільки формується під впливом багатьох окремих замовлень, сезонності будівельної активності, коливань платоспроможного попиту та змін у графіках виконання проєктів. Тому для розрахунку страхового запасу його доцільно розглядати як стохастичний показник. При цьому сукупний попит за період постачання може бути наближений до нормального розподілу за умови, що він формується як результат великої кількості окремих відносно незалежних коливань попиту. Такий підхід

відповідає логіці центральної граничної теореми, згідно з якою за певних умов стандартизована сукупність або середнє значення випадкових величин наближається до нормального розподілу [35].

У межах такого підходу зв'язок між цільовим рівнем сервісу OTIF та необхідним обсягом страхового запасу визначається через Z-фактор стандартного нормального розподілу. Z-фактор показує, на скільки стандартних відхилень потрібно збільшити середній очікуваний попит за період постачання, щоб забезпечити задану ймовірність виконання замовлень без дефіциту. Значення Z-фактора для відповідних рівнів сервісу було визначено за допомогою оберненої функції стандартного нормального розподілу. У програмному середовищі MS Excel для цього використовується функція =NORM.S.INV(Probability), яка повертає значення стандартної нормально розподіленої величини для заданої накопиченої ймовірності.

Наприклад, для сервісу 90%: $Z = 1.28$, для 95% – 1.65, для фактичного сервісу у 98% – 2.05. Бачимо, що перехід від 90% до 98% сервісу вимагає збільшення коефіцієнта напруженості системи майже вдвічі.

Проведемо прикладне розрахункове оцінювання обсягу страхового запасу за формулою 2.6. Як репрезентативну базу дослідження обрано флагманську номенклатурну позицію компанії з групи «АХ» – «Алюмінієвий профіль Т-подібний базовий».

Для забезпечення достовірності математично розрахуємо кожен детермінант формули, базуючись на фінансовій звітності підприємства та результатах проведеного інтегрованого ABC/XYZ-аналізу.

Для забезпечення поточного маркетингового стандарту OTIF на рівні 98.00%, значення Z-фактора за таблицею оберненої функції стандартного нормального розподілу становить 2.05. Для оптимізованого європейського бенчмарку у 95.00% цей коефіцієнт дорівнює 1.65.

Для розрахунку σ_D необхідно математично декомпонувати річний фізичний попит (D). Згідно з фінансовим звітом (див. табл. 2.1), чистий дохід компанії від

реалізації у 2025 році склав 91208.4 тис. грн. Відповідно до результатів ABC-аналізу (див. табл. 2.13), флагманський Т-подібний профіль є базоутворюючим продуктом сектору «А», що генерує близько 20.73% загальної виручки підприємства. У грошовому вимірі частка реалізації цього профілю становить 18909.0 тис. грн. Розділивши цю суму на середню контрактну B2B-вартість 1.0 погонного метра архітектурного Т-подібного профілю в Україні (яка, за даними профільних постачальників металопродукату, становить 378.18 грн [36]), аналітично виводимо річний фізичний обсяг попиту: $D = 18909000 / 378.18 \approx 50000$ пог. м.

Відповідно, середньоденний попит дорівнює: $d = 50000 / 365 \approx 137$ пог. м.

Оскільки даний товар належить до стабільної групи «Х», коефіцієнт варіації попиту (CV) для нього є відносно низьким і складає 10%. Отже, середнє квадратичне відхилення денного попиту становить: $\sigma_D = 137 \cdot 0.1 = 13.7$ пог.м.

Час виконання замовлення L, згідно з типовими умовами ЗЕД-контрактів із заводами-виробниками первинного екструдованого алюмінію, становить від 2 до 6 тижнів. Для розрахунку прийнято середньозважене медіанне значення – 4 тижні, тобто $L = 28$ днів.

Підставимо обґрунтовані значення у формулу 2.5 для діючої ситуації (цільовий OTIF 98.00%): $SS_{98\%} = 2.05 \cdot 13.7 \cdot \sqrt{28} \approx 148.6$ пог.м.

Тепер розрахуємо необхідний страховий запас для оптимізованого європейського рівня логістичного сервісу (OTIF 95.00%): $SS_{95\%} = 1.65 \cdot 13.7 \cdot \sqrt{28} \approx 119.6$ пог.м.

Для економіко-аналітичного оцінювання отриманих результатів, монетизуємо фізичні обсяги. Зважаючи на собівартість одного пог. м. даного профілю на рівні 378.18 грн, вартість замороженого капіталу в страховому запасі лише для однієї номенклатурної позиції становить: $148.6 \cdot 378.18 = 56197.5$ грн при завищеному сервісі; та $119.6 \cdot 378.18 = 45228.3$ грн.

Лише за однією товарною позицією зниження гарантії безперебійної наявності товару на 3 відсоткові пункти вивільняє з неліквідного запасу 10969.2 грн ($56197.5 -$

45228.3), тобто обсяг замороженого оборотного капіталу скорочується на 19.51%. Якщо екстраполювати цю математичну закономірність на всю асортиментну матрицю ТОВ «БАРКС», стає очевидним, що намагаючись задовольнити будь-яке замовлення за 2 дні без впровадження спеціалізованих ІТ-рішень, компанія застосовує максимальний мультиплікатор $Z = 2.05$ лінійно до всієї номенклатури, включаючи товари групи «CZ».

Саме це лінійне застосування завищеного Z-фактора є рушієм кризи абсолютної ліквідності підприємства. Відповідно, для вирішення спеціалізованої задачі необхідне розроблення економічних рішень щодо диференціації цільових показників OTIF. Для товарів групи «AX» доцільно підтримувати високий рівень сервісу (95.00% – 98.00%), тоді як для групи «CZ» логістичний стандарт має бути знижений до 80.00% – 85.00%, або ж такі товари повинні бути повністю переведені на економічну модель виробництва під замовлення.

Для того, щоб екстраполювати цю закономірність на весь макрорівень підприємства та обґрунтувати економічний сенс відмови від завищених KPI, потрібно показати, як саме прискореними темпами зростають фінансові потреби у замороженому капіталі та витрати на його утримання при спробі досягти абсолютного рівня OTIF (табл. 2.14).

Таблиця 2.14 – Моделювання експоненційного зростання витрат ТОВ «БАРКС» залежно від цільового рівня логістичного сервісу

OTIF, %	Z-фактор	Потреба у буферних запасах, тис. грн	Витрати на утримання запасів на рік, тис. грн	Характер зміни
90.00%	1.28	32299.46	4844.92	—
95.00%	1.65	41636.02	6245.40	Високий
98.00%	2.05	51729.60	7759.44	Критичний
99.90%	3.09	77972.91	11695.94	Економічно збитковий

Джерело: розраховано автором на основі [26] та даних підприємства.

Потреба у буферних запасах розраховується методом пропорційної екстраполяції еластичності. Базовою точкою є фактичний стан 2025 року (98.00% та

51729.6 тис. грн). Для інших економічних рішень обсяг коригується відповідно до зміни Z-фактора. Наприклад, зниження до 95.00% зменшує потребу до 41636.02 тис. грн ($51729.6 \cdot (1.65 / 2.05)$). Відповідно, витрати на утримання запасів розраховуються як добуток потреби у буферних запасах на фіксовану ставку витрат на зберігання та альтернативну вартість капіталу $r = 15.00\%$. Її використання обґрунтовується тим, що надлишкові запаси підприємства є формою замороження оборотного капіталу. Кошти, вкладені у буферні запаси, не можуть одночасно використовуватися для погашення поточних зобов'язань, фінансування операційної діяльності, розвитку підприємства або отримання фінансового доходу від альтернативного розміщення. Як орієнтир вартості гривневого капіталу використано облікову ставку Національного банку України [37]. Такий підхід дозволяє не завищувати розрахований економічний ефект від скорочення страхового запасу, але водночас враховує реальну вартість капіталу в умовах українського фінансового ринку.

Економічний висновок щодо доцільності підтримки такого рівня. Демонструє, що стрибок з 95.00% до 98.00% є критичним для ліквідності компанії.

Завершальним кроком моделювання стала монетизація виявлених розривів. Управлінський облік визначає, що утримання надлишкових запасів на складах коштує підприємству грошей. Для ТОВ «БАРКС» ставку витрат на зберігання (h) зафіксовано на рівні 15% річних, що дорівнює базовій ставці дисконтування, застосованої у підрозділі 2.2.

Відповідно, граничні витрати для кожного економічного рішення розраховані як добуток вартості запасів на ставку утримання:

- Для фактичного рівня (98%): $51729.6 \cdot 0.15 = 7759.4$ тис.грн/рік;
- Для оптимізованого рівня (95%): $39800.0 \cdot 0.15 = 5970.0$ тис. грн/рік.

Отримаємо, що намагаючись підвищити гарантію наявності товару лише на 3 відсоткові пункти (з оптимальних 95% до 98%), компанія змушена збільшити обсяг заморожених запасів майже на 12 млн грн.

Для систематизації виявлених протиріч між поточним станом операційної системи та економічно доцільним вектором її розвитку, розроблено матрицю стратегічних розривів (табл. 2.15):

Таблиця 2.15 – Гар-аналіз логістичної системи ТОВ «БАРКС»

Напрямок діяльності	Поточний стан	Цільовий стан	Зміст розриву	Напрямок вирішення
Управління запасами	Єдина політика страхових запасів для всіх номенклатурних позицій.	Диференційоване управління запасами залежно від рівня попиту та економічної значущості продукції.	Надмірне накопичення низько оборотних запасів і заморожування оборотного капіталу.	ABC-XYZ аналіз номенклатури, впровадження EOQ-моделі та оптимізація страхових запасів.
ОТІФ	Єдиний норматив сервісу для всіх категорій замовлень.	Гнучкі стандарти сервісу залежно від категорії продукції та вимог клієнтів.	Невідповідність між рівнем сервісу та витратами на його забезпечення.	Перехід до комбінованої системи Make-to-Stock / Make-to-Order.
Мережева дистрибуція	Переважають прямі малотоннажних відправлень із центрального складу.	Багаторівнева система дистрибуції з використанням регіональних транзитних вузлів.	Високі транспортні витрати та низький рівень завантаження транспортних засобів.	Оптимізація транспортної мережі та впровадження крос-докінгу.
Інформаційний супровід	Розрізнені інформаційні бази та ручна обробка даних.	Інтегрована цифрова система управління логістичними процесами.	Інформаційна асиметрія та затримки в обміні даними між підрозділами.	Впровадження ERP/WMS-рішень та оцінювання їх економічної ефективності.

Джерело: розроблено автором на основі даних підприємства.

Проведений Гар-аналіз наочно демонструє, що ТОВ «БАРКС» перебуває у стані глибокого економічного розриву. Компанія намагається обслуговувати макроекономічні обсяги збуту у розмірі понад 91 млн грн виручки за допомогою мікроекономічних логістичних інструментів. Подолання цього розриву є неможливим без впровадження математичних алгоритмів управління ланцюгами постачань.

Метою цього математичного моделювання є створення універсального математичного алгоритму для переходу від збиткового рішення прямих малотоннажних LTL-доставок до дворівневої моделі магістральних FTL-перевезень через регіональні транзитні крос-докінгові хаби.

Для розроблення макромоделі спеціалізована задача була формалізована у вигляді змішано-цілочисельної задачі лінійного програмування (Mixed-Integer Linear Programming (MILP)). Логістичні операції ТОВ «БАРКС» описується такими математичними множинами: I – вузли-джерела (центральный виробничий склад у м. Київ); K – множина потенційних транзитних хабів (Вінниця, Львів, Івано-Франківськ, Харків, Полтава, Дніпро); J – множина кінцевих клієнтів по всій території України; V – множина типів гетерогенного автопарку (від 1.5 до 20.0 тон).

У класичних моделях оптимізації цільова функція (ТС) зазвичай обмежується мінімізацією суто транспортно-складських витрат. Проте для ТОВ «БАРКС» критичним фактором, що генерує кризу абсолютної ліквідності, є обсяг замороженого оборотного капіталу в страхових запасах на центральному складі. Переведення дистрибуції з хаотичних LTL-відправлень на плановий магістральний крос-докінг дозволяє агрегувати дисперсію попиту, що математично знижує потребу в утриманні гіпертрофованого страхового буфера на заводі.

Цільова функція мінімізації загальних логістичних витрат (ТС) має вигляд (формула 2.7):

$$TC = \sum_v \left(\sum_{i,k} T_{ik}^v N_{ik}^v + \sum_{k,j} T_{kj}^v M_{kj}^v + \sum_{i,j} T_{ij}^v S_{ij}^v \right) + \sum_k (F_k Y_k + V_k \sum_i X_{ik}) + H(SS_{max} - \sum_k \Delta S_k \cdot Y_k) \rightarrow \min, \quad (2.7)$$

де T_{ik}^v – тариф перевезення вантажу транспортним засобом типу v з центрального складу i до хабу k , грн/рейс;

T_{kj}^v – тариф перевезення вантажу транспортним засобом типу v від хабу k до клієнта або дилера j , грн/рейс;

T_{ij}^v – тариф прямої доставки транспортним засобом типу v з центрального складу i до клієнта або дилера j , грн/рейс;

N_{ik}^v – кількість автомобілів типу v на магістральному маршруті i - k , од.;

M_{kj}^v – кількість автомобілів типу v на локальному маршруті k - j , од.;

S_{ij}^v – кількість автомобілів типу v на прямому маршруті i - j , од.;

F_k – фіксовані місячні витрати на використання транзитного хабу k , грн;

Y_k – бінарна змінна активації хабу k , яка дорівнює 1 у разі використання хабу та 0 у разі його невикористання;

v_k – змінна вартість перевалки 1.0 тонни вантажу через хаб k , грн/т;

X_{ik} – обсяг вантажу, що надходить із центрального складу i до хабу k , т;

H – вартість утримання 1.0 тонни страхового запасу на центральному складі за місяць, грн/т;

$SS_{\max}$ – базовий страховий запас у Києві за умови збереження моделі прямих LTL-доставок, т;

ΔS_k – обсяг вивільнення страхового запасу в Києві у разі активації хабу k , т.

Перший блок цільової функції відображає транспортні витрати. Він включає три типи перевезень. Перша складова $\sum_i \sum_k T_{ik}^v \cdot N_{ik}^v$ описує магістральні перевезення з Києва до транзитних хабів. Друга складова $\sum_k \sum_j T_{kj}^v \cdot M_{kj}^v$ описує локальну дистрибуцію з хабів до кінцевих напрямів. Третя складова $\sum_i \sum_j T_{ij}^v \cdot S_{ij}^v$ залишає моделі можливість використовувати прямі доставки для термінових замовлень. Така структура є важливою, тому що повна відмова від прямих доставок є нереалістичною для B2B-ринку будівельних матеріалів, де частина замовлень має обмеження за терміном виконання.

Другий блок $\sum_k (F_k \cdot Y_k + v_k \cdot \sum_i X_{ik})$ відображає витрати на транзитні хаби. Фіксована частина $F_k \cdot Y_k$ виникає лише тоді, коли хаб активовано. Якщо $Y_k = 0$, то витрати на хаб дорівнюють нулю. Змінна частина $v_k \cdot \sum_i X_{ik}$ залежить від обсягу перевалки. Вона показує, що крос-докінг не є безкоштовним: навіть без

довготривалого зберігання підприємство несе витрати на розвантаження, сортування, переміщення вантажу між доками та повторне завантаження.

Третій блок $H \cdot (SS_{\max} - \sum_k \Delta S_k \cdot Y_k)$ є ключовим розширенням моделі. Він переводить проблему замороженого оборотного капіталу у формалізований грошовий показник. Якщо хаби не використовуються, усі $Y_k = 0$, тому вартість утримання страхового запасу дорівнює $H \cdot SS_{\max}$. Якщо один або декілька хабів активуються, базова потреба у страховому запасі в Києві зменшується на величину $\sum_k \Delta S_k \cdot Y_k$. Завдяки цьому модель порівнює два типи витрат: витрати на оренду та перевалку в хабах і втрати від утримання надлишкового запасу у м. Київ.

Особливість цієї цільової функції полягає в тому, що вона створює прямий економічний компроміс. Якщо хаб занадто дорогий, модель залишає прямі доставки. Якщо витрати на заморожений запас у м. Київ перевищують витрати на хаб, модель активує транзитний вузол. Це робить модель не описовою, а оптимізаційною, оскільки вона не просто демонструє проблему, а математично знаходить економічно доцільне поєднання маршрутів, автомобілів і транзитних хабів.

Для формалізації оптимізаційної моделі введено такі множини:

- I – множина початкових пунктів відправлення продукції. У межах моделі таким пунктом виступає центральний склад підприємства у м. Київ;
- K – множина потенційних крос-докінгових хабів, через які може здійснюватися консолідація та подальший розподіл вантажопотоків;
- J – множина кінцевих клієнтів або регіональних напрямів доставки, для яких має бути задоволений підтверджений попит. У межах прикладної моделі до множини J належать такі напрями: Вінниця, Львів, Івано-Франківськ, Харків, Полтава та Дніпро;
- V – множина типів транспортних засобів, доступних для виконання перевезень.

Транспортні засоби V згруповано за вантажністю та тарифом використання: малотоннажний автомобіль 1.5 т, автомобіль вантажністю 5 т, середньотоннажний автомобіль 10 т та магістральна фура 20 т.

Такий поділ дозволяє моделі врахувати різну економічну природу перевезень. Автомобіль 1.5 т використовується для дуже малих партій, коротких локальних відправлень або доставки позицій без габаритного обмеження. Він має найменшу місткість, однак у моделі може бути доцільним для невеликих потоків, коли використання більшого автомобіля призводило б до надлишкової незавантаженої місткості. Автомобіль 5 т застосовується для невеликих і середніх партій, зокрема для частини прямих або локальних доставок, коли обсяг вантажу перевищує можливості 1.5-тонного автомобіля, але ще не потребує залучення 10- або 20-тонної машини. Автомобіль 10 т розглядається як проміжний варіант для середніх партій, коли необхідно зберегти баланс між вартістю рейсу та рівнем заповнення кузова. Автомобіль 20 т виконує функцію основного магістрального транспорту та використовується переважно для FTL-відправлень між центральним складом у м. Київ і регіональними хабами, а також для великих прямих партій.

У моделі для кожного типу автомобіля задано два параметри: вантажність і тариф за 1 км руху. Вантажність становить 1.5 т, 5 т, 10 т і 20 т відповідно. Тариф за 1 км прийнято на рівні 28 грн/км для автомобіля 1.5 т, 38 грн/км для автомобіля 5 т, 40 грн/км для автомобіля 10 т та 45 грн/км для автомобіля 20 т [42].

Для забезпечення адекватності моделі реальним виробничо-комерційним умовам ТОВ «БАРКС», цільова функція підпорядковується системі лінійних обмежень:

1. Обмеження задоволення попиту (формула 2.8):

$$\sum_k \sum_v Q_{kj}^v + \sum_i \sum_v Q_{ij}^v \geq D_j, \forall j \in J, \quad (2.8)$$

Обсяг продукції, що надійшов до кожного клієнта або регіонального напрямку як через крос-докінгові хаби, так і прямими маршрутами, має перевищувати або дорівнювати сукупному підтвердженому попиту D_j . Це обмеження гарантує повне

виконання замовлень та виключає можливість зменшення витрат за рахунок недопоставки продукції;

2. Обмеження термінового попиту (формула 2.9):

$$\sum_i \sum_v Q_{ij}^v \geq U_j, \forall j \in J, \quad (2.9)$$

Обсяг продукції, доставлений прямими маршрутами, повинен бути не меншим за величину термінового попиту U_j . Це дозволяє забезпечити необхідний рівень сервісу для клієнтів, які потребують прискореної доставки без використання проміжних хабів.;

3. Обмеження місткості транспортних засобів (формула 2.10 – 2.12):

$$Q_{ik}^v \leq Cap^v \cdot N_{ik}^v, \forall i \in I, k \in K, v \in V, \quad (2.10)$$

$$Q_{kj}^v \leq Cap^v \cdot M_{kj}^v, \forall k \in K, j \in J, v \in V, \quad (2.11)$$

$$Q_{ij}^v \leq Cap^v \cdot S_{ij}^v, \forall i \in I, j \in J, v \in V, \quad (2.12)$$

Обсяг вантажу на кожному маршруті не може перевищувати сумарну вантажність залучених транспортних засобів відповідного типу. Дані обмеження забезпечують фізичну реалізованість транспортного плану та виключають перевантаження автомобілів.;

4. Обмеження активації хабів (формула 2.13):

$$\sum_i X_{ik} \leq Mbig_k \cdot Y_k, \forall k \in K, \quad (2.13)$$

Обсяг вантажу, що проходить через хаб, може бути додатним лише за умови його активації. Якщо бінарна змінна Y_k дорівнює нулю, потік через відповідний хаб також повинен дорівнювати нулю. Якщо $Y_k = 1$, хаб може функціонувати в межах своєї максимальної пропускної здатності;

5. Обмеження габаритної сумісності транспорту (формула 2.14):

$$S_{ij}^{1.5} = 0, \forall j \in J_{long} \quad (2.14)$$

Для напрямів, де перевозяться алюмінієві профілі довжиною до 6.0 м, використання малотоннажних автомобілів вантажністю 1.5 т забороняється. Це обмеження враховує технологічні особливості продукції;

6. Обмеження типу змінних (формула 2.15 – 2.17):

$$Y_k \in \{0; 1\}, \forall k \in K \quad (2.15)$$

$$N_{ik}^v, M_{kj}^v, S_{ij}^v \in Z_+ \quad (2.16)$$

$$Q_{ik}^v, Q_{kj}^v, Q_{ij}^v \geq 0 \quad (2.17)$$

Бінарність змінної Y_k означає, що хаб може перебувати лише у двох станах – активований або неактивований. Цілочисельність змінних N_{ik}^v , M_{kj}^v та S_{ij}^v забезпечує використання цілої кількості транспортних засобів. Невід’ємність потокових змінних виключає появу від’ємних обсягів перевезень і гарантує фізичну коректність моделі.

Метод розв’язання доцільно встановити як Simplex LP. Це пояснюється тим, що всі складові цільової функції та всі обмеження мають лінійний характер: у формулах використовуються операції додавання, множення змінної на сталий коефіцієнт та підсумовування. Наявність цілочисельних і бінарних змінних не скасовує лінійності задачі, а перетворює її на змішано-цілочисельну лінійну задачу. Для таких задач Excel Solver застосовує процедури цілочисельної оптимізації, що дають змогу знайти допустиме рішення з урахуванням обмежень int і bin.

Механізм скорочення страхового запасу ґрунтується на концепції об’єднання ризиків – Risk Pooling [38]. У логістичному змісті вона означає, що агрегування попиту та консолідація замовлень знижують сумарну варіативність матеріального потоку. У поточній моделі київський склад виконує роль єдиного страхового буфера для всієї країни. Він має покривати дрібні, різномірні та нерівномірні LTL-замовлення, що призводить до зростання страхового запасу. Перехід до крос-докінгу змінює характер потоку: замість великої кількості дрібних випадкових відправлень формується магістральна партія до регіонального вузла, а локальні коливання попиту частково поглинаються на рівні регіону.

Для розрахунку обсягу вивільнення страхового запасу використано пропорційний метод. Його логіка полягає в тому, що кожен регіональний напрям формує певну частку загального попиту. Якщо відповідний хаб активується, саме ця частка страхового запасу перестає бути обов’язковою для утримання у Києві. Формула має вигляд:

$$\Delta S_k = SS_{\max} \cdot D_k / \sum_j D_j, (2.19)$$

де ΔS_k – обсяг страхового запасу, що вивільняється в Києві у разі активації хабу k , т;

$SS_{\max}$ – базовий страховий запас у Києві, т;

D_k – попит регіону або хабу k , т;

$\sum_j D_j$ – сукупний попит усіх регіонів, т.

Сукупний попит у моделі становить:

$$\sum_j D_j = 32.0 + 34.0 + 28.0 + 60.0 + 24.0 + 80.0 = 258.0 \text{ т.} (2.20)$$

Наприклад, для хабу у м. Дніпр, де плановий попит становить 80.0 т, обсяг вивільнення запасу дорівнює:

$$\Delta S_{\text{Дніпро}} = 120.0 \cdot 80.0 / 258.0 = 37.21 \text{ т.} (2.21)$$

Розрахунок для всіх потенційних хабів (табл. 2.16)

Таблиця 2.16 – Розрахунок вивільнення страхового запасу за регіональними хабами

Хаб-кандидат	Попит D_k , т	Частка у сукупному попиті, %	ΔS_k , т	Місячне зменшення вартості утримання запасу, грн
Вінниця	32	12.4	14.88	58626.98
Львів	34	13.18	15.81	62291.16
Івано-Франківськ	28	10.85	13.02	51298.6
Харків	60	23.26	27.91	109925.58
Полтава	24	9.3	11.16	43970.23
Дніпро	80	31.01	37.21	146567.44
Разом	258	100	120	472680

Джерело: розраховано автором на основі даних підприємства.

Дані табл. 2.16 показують, що найбільший економічний ефект від скорочення страхового запасу дає активація Дніпровського та Харківського напрямів. Це пояснюється не тільки вищим попитом, а й тим, що саме ці напрями створюють найбільше навантаження на центральний склад через значну відстань і потребу у своєчасному обслуговуванні. Водночас менші напрями, такі як м. Полтава або м. Івано-Франківськ, можуть виявитися менш доцільними для окремої активації хабу,

якщо витрати F_k перевищують економію від вивільнення запасу. Саме тому остаточний вибір не може здійснюватися вручну, а має бути розв'язаний через оптимізаційну модель.

Сформована комплексна економічна модель доводить, що ТОВ «БАРКС» перебуває у стані логістичного дисбалансу, який загрожує платоспроможності компанії. Вирішення цієї проблеми потребує розроблення оптимізаційних рішень, що формує чітку спеціалізовану задачу для наступного розділу дипломної роботи.

Потрібно розрахувати економіко-математичну модель оптимального розміру замовлення для товарів групи «X», що має мінімізувати сукупні витрати на зберігання та транспортування. Також знайти економічне рішення щодо конвертації неліквідів групи «CZ» у грошові кошти із застосуванням дисконтування для відновлення нормативного рівня абсолютної ліквідності. Сконцентруватися на розробці потокової моделі оптимізації маршрутів із застосуванням цільової функції мінімізації загальних витрат, де необхідно порівняти поточне економічне рішення LTL-доставок із запропонованою моделлю крос-докінгу. Й останнім пунктом потрібно економічно обґрунтувати впровадження ERP-системи шляхом розрахунку рентабельності інвестицій (ROI) та періоду окупності.

Висновки до другого розділу

1. Діагностовано структурний дисбаланс операційної моделі підприємства. Незважаючи на успішну оптимізацію виробничої собівартості на 10.7% та високу валову маржу, компанія зіткнулася з кризою абсолютної ліквідності. Показник впав до критичного рівня 0.08. Головним деструктивним рушієм стало екстенсивне накопичення товарно-матеріальних запасів, частка яких на кінець 2025 року сягнула 68.1% усіх активів компанії, що спровокувало паралельне зростання логістичних витрат на 22.9%.

2. Доведено математичну залежність зростання витрат від замороження капіталу. Індикаторне оцінювання зафіксувало збільшення періоду обороту запасів до

255.6 днів, що свідчить про перехід на неефективну стратегію роботи накопичування на склад. Побудована кореляційно-регресійна модель із високою статистичною значущістю підтвердила, що стрімке зростання операційних витрат є прямою похідною від обсягу заморожених складських залишків, спростовуючи гіпотезу про виключний вплив зовнішніх цінових шоків.

3. Кількісно оцінено приховані фінансові збитки. Оцінювання альтернативних втрат довело, що замороження капіталу в запасах коштує підприємству понад 3.9 млн грн втраченої вигоди щорічно. Водночас факторна модель Дюпона підтвердила, що 95% падіння рентабельності активів спричинено саме уповільненням логістичного циклу та зниженням оборотності майна.

4. Ідентифіковано кореневі причини кризи за допомогою когнітивного та структурного моделювання. Діаграма Ісікави локалізувала системну управлінську помилку – лінійний підхід до управління запасами. Здійснений матричний ABC/XYZ-аналіз довів, що 27% усього капіталу підприємства абсорбовано у групі «CZ» – специфічних запасах з непередбачуваним попитом і нульовою оборотністю, утримання яких є економічно недоцільним.

5. Виявлено стратегічний розрив між маркетинговими стандартами та логістичними витратами. Намагання підприємства забезпечити екстремальний рівень логістичного сервісу для всієї номенклатури заганяє компанію в експоненційну пастку витрат. Спроби виконати обіцянки швидкої доставки генерують потребу у прямих неоптимальних LTL-маршрутах, що мультиплікує транспортні збитки на дальніх дистанціях.

6. Формалізовано задачу для оптимізаційних рішень. Економічна модель доводить необхідність відмови від збиткової стратегії виштовхування. Подальше дослідження вимагає: розрахунку оптимального розміру замовлень для стабільних позицій групи «X», ліквідації неліквідів групи CZ, а також мінімізації витрат шляхом переведення магістральної дистрибуції на модель крос-докінгу за умови впровадження ERP-системи.

З РОЗРОБЛЕННЯ ТА ЕКОНОМІКО-АНАЛІТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РІШЕНЬ З ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ ВИРОБНИЧОГО ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Економіко-математичне моделювання і аналітика економічних рішень щодо оптимізації логістичних операцій

Діагностоване в аналітичному розділі суттєве зниження абсолютної ліквідності ТОВ «БАРКС» до 0.08 та вимивання понад 51729.6 тис. грн оборотного капіталу в складських запасах вимагають переходу до активного використання інструментарію економіко-математичного моделювання. Традиційно процес управління ресурсами підприємства будується на використанні статичних та строго детермінованих моделей. Проте статичні моделі управління запасами лише наближено відповідають умовам ринку, оскільки в реальних завданнях ринковий попит ніколи не є постійною величиною, а виступає стохастичною змінною [39].

Відповідно до викладених теоретичних положень Л. А. Останкової та Н. Ю. Шевченко, ефективна система управління запасами є багатокритеріальною системою, зорієнтованою на подолання невизначеності зовнішнього середовища [40, с. 144]. Намагання ТОВ «БАРКС» зберегти високий рівень обслуговування клієнтів (OTIF на рівні 98.00%) за допомогою інтуїтивних методів призвело до значного заморожування фінансових ресурсів. Побудована у підрозділі 2.2 економетрична модель ($Y=92.8816+0.0503X$) продемонструвала наявність статистичного взаємозв'язку між обсягом запасів та логістичними витратами. Коефіцієнт 0.0503 свідчить, що кожна додаткова 1000.0 грн запасів генерує 50.3 грн щомісячних витрат. Важливо зазначити, що цей коефіцієнт відображає не лише чисту вартість утримання капіталу, а акумулює в собі синергетичний ефект супутніх логістичних неефективностей: витрати на термінові малотоннажні перевезення для покриття дефіциту, оренду додаткових

транзитних площ, фізичне пошкодження матеріалів при перевантаженні складів та адміністрування неліквідів.

Для усунення виявлених деструкцій та подолання стратегічного розриву в межах логістичної системи ТОВ «БАРКС» розроблено багаторівневу методологію моделювання, що включає локальний модуль оптимізації циклічних запасів на базі моделі економічно обґрунтованого розміру замовлення; модель розрахунку точки замовлення та стохастичного страхового резерву; багатокритеріальну модель оптимізації просторової логістики для мінімізації сукупних транспортно-складських витрат шляхом крос-докінгу; стохастичну модель інвестиційної діяльності (Дерево рішень) для вибору економічного рішення розвитку підприємства.

За результатами проведеного інтегрованого ABC/XYZ-аналізу (див. табл. 2.13), базові алюмінієві профілі BARK-STANDARD були віднесені до групи «АХ», що характеризується відносно стабільним ринковим попитом та високим внеском у загальну виручку підприємства. Для цієї категорії номенклатури випадкові відхилення попиту є мінімальними, тому базою для розрахунку циклічної частини запасу виступає класична формула Вілсона (модель EOQ). Модель відповідає на питання «Скільки замовляти?» [41, с. 5].

Цільова функція сумарних витрат на утримання запасу за рік $B(q)$ має вигляд (формула 3.1):

$$B(q) = c_1 \cdot \frac{D}{q} + c_2 \cdot \frac{q}{2}, \quad (3.1)$$

де D – сумарний за період попит на ресурс (пог. м);

c_1 – витрати на оформлення партії та її доставку, що не залежать від обсягу поставки (грн);

c_2 – витрати на зберігання одиниці ресурсу в запасах протягом року (грн);

q – обсяг однієї поставки.

Мінімум цільової функції досягається при диференціюванні функції за керуючим параметром q та прирівнюванні результату до нуля (формула 3.2):

$$\frac{\partial B(q)}{\partial q} = -c_1 \cdot \frac{D}{q^2} + \frac{c_2}{2} = 0 \rightarrow q = \sqrt{\frac{2Dc_1}{c_2}}, \quad (3.2)$$

Застосуємо цей локальний модуль оптимізації для ключової позиції ТОВ «БАРКС» «Алюмінієвий профіль Т-подібний базовий (пог. м)». Параметри моделювання становлять:

$D = 50000$ пог. м на рік. Цей обсяг визначено на основі фактичної роздрібно-оптової ціни профілю (378.18 грн за 1 пог. м [36]) та частки товарів групи «А» у загальній виручці компанії (реалізація 50000.0 метрів генерує ≈ 18.9 млн грн доходу, що якраз відповідає $\approx 20\%$ сукупної річної виручки підприємства);

$c_1 = 14500$ грн. Параметр розраховано на основі ринкових В2В-прайсів логістичних операторів на фрахт магістральної 20-тонної фури. Тарифоутворення включає: мінімальне замовлення з подачею (5500.0 грн), орієнтовний міжміський пробіг 200 км (за тарифом 45.0 грн/км = 9000.0 грн) [42];

$c_2 = 56.73$ грн. Витрати на зберігання розраховано на основі вартості 1 пог. м. профілю (378.18 грн) та визначеної ставки дисконтування на рівні 15.0% ($378.18 \cdot 0.15 = 56.727$ грн).

Розрахуємо оптимальний розмір замовлення q :

$$q = \sqrt{\frac{2 \cdot 50000 \cdot 14500}{56.73}} = 5055.7 \text{ пог. м.}$$

До впровадження моделі EOQ закупівлі та переміщення на хаби здійснювалися інтуїтивно масивними партіями, наприклад, по 25000 пог. м, що формувало запас на півроку вперед для економії кількості транспортних рейсів. Порівняємо річні логістичні витрати для обох варіантів рішення:

$$B(25000) = 14500 \cdot \frac{50000}{25000} + 56.73 \cdot \frac{25000}{2} = 29000 + 709125 = 738125(\text{грн})$$

$$B(5055.7) = 14500 \cdot \frac{50000}{5055.7} + 56.73 \cdot \frac{5055.7}{2} = 143394.6 + 143404.7 = 286799.3(\text{грн})$$

Математичне моделювання доводить, що заміна інтуїтивних масивних обсягів постачань на оптимальний розмір замовлення дозволяє ТОВ «БАРКС» досягти економічного балансу між витратами на транспортування та зберігання. Цей перехід знижує логістичні витрати лише по одному номенклатурному номеру на 451325.7 грн за рік.

Після визначення оптимального розміру замовлення для стабільної номенклатурної позиції групи «Х» доцільно перейти від локальної оптимізації запасів до розв'язання просторової задачі розподілу вантажопотоків. Модель Вілсона доводить, що підприємству економічно не вигідно формувати надмірно великі партії запасів заради скорочення кількості рейсів. Однак сама по собі EOQ-модель не відповідає на питання, яким маршрутом має рухатися вантаж після формування партії: прямо зі складу м. Київ до клієнта або через транзитний крос-докінговий хаб. Саме тому другим етапом моделювання стало розв'язання змішано-цілочисельної моделі мінімізації сукупних логістичних витрат, сформованої у підрозділі 2.3 (формула 2.7).

Для проведення модельного експерименту було сформовано три окремих економічних рішення організації дистрибуції. Перше рішення передбачає збереження прямих доставок із центрального складу до кожного регіонального напрямку. У такому випадку всі хаби вимикаються, а підприємство продовжує нести повну вартість утримання страхового запасу в м. Київ. Другий сценарій передбачає повний перехід на крос-докінг без урахування термінових поставок. У цьому випадку весь попит проходить через регіональні хаби, а прямі доставки не використовуються. Третій сценарій є змішаним: модель самостійно визначає, яку частину вантажу економічно доцільно доставляти через хаби, а яку – прямими рейсами. Саме цей сценарій найбільше відповідає реальній практиці підприємства, оскільки дозволяє одночасно зберегти швидкість обслуговування клієнтів і скоротити витрати на надлишковий запас.

Розрахунковий період моделі прийнято рівним одному місяцю. Такий часовий інтервал відповідає практиці місячного планування логістичних операцій

підприємства, включаючи формування транспортних заявок, управління складськими запасами та координацію роботи регіональних хабів.

Загальний попит у моделі становить 258.0 т продукції на місяць. Значення отримано шляхом підсумовування планових потреб усіх регіонів: Вінниця – 32.0 т, Львів – 34.0 т, Івано-Франківськ – 28.0 т, Харків – 60.0 т, Полтава – 24.0 т та Дніпро – 80.0 т. Наведені показники сформовано на основі матриці вантажопотоків підприємства та відображають прогнозовані обсяги відвантажень за кожним напрямом. Найбільший попит спостерігається у Дніпрі, що пояснюється високою концентрацією будівельних проєктів і значною віддаленістю регіону від центрального складу.

Базовий страховий запас центрального складу SS_{max} прийнято на рівні 120.0 т. Це значення визначено як страховий буфер після переходу від рівня сервісу OTIF 98.00 % до цільового рівня 95.00 %. Відносно загального місячного попиту страховий запас становить 46.51 %, що підтверджується розрахунком: $120.0 / 258.0 \cdot 100 = 46.51\%$.

На основі ставки дисконтування визначено питомі витрати на утримання запасу. Вартість зберігання однієї тонни продукції за місяць становить 3939.0 грн/т і розраховується за формулою $315150.0 \cdot 0,15 / 12 = 3939.375$ грн/т. Для подальших розрахунків використано округлене значення 3939.0 грн/т.

Місячні витрати на утримання базового страхового запасу на складі в м. Київ становлять 472680.0 грн. Показник отримано множенням питомих витрат на обсяг страхового запасу: $3939.0 \cdot 120,0 = 472680,0$ грн на місяць.

Параметр SS_{max} було розраховано аналітично. У підрозділі 2.3 доведено, що фактичний рівень сервісу 98.00% потребує надмірного буферу, а перехід до 95.00% скорочує потребу в запасі приблизно на 19.51%. Якщо фактичні запаси на кінець 2025 р. становили 51729.6 тис. грн, то скорочення на 19.51% відповідає вивільненню 10091.0 тис. грн. У фізичному вимірі за вартості 315150.0 грн/т це становить $10091000.0 / 315150.0 = 32.02$ т. Тобто лише корекція сервісного нормативу з 98.00%

до 95.00% уже дає змогу вивільнити орієнтовно 32.0 т запасу. Після цього для макромоделі прийнято базовий страховий запас 120.0 т як консервативний залишковий буфер центрального складу за умови збереження моделі переважно прямих доставок. Такий підхід є економічно обґрунтованим, тому що 120.0 т становлять 46.51% від місячного попиту 258.0 т. Іншими словами, центральний склад утримує страховий запас майже на половину місячного планового попиту. Для підприємства з високою часткою будівельних B2B-замовлень це пояснюється жорсткою вимогою швидкої доставки, довгими строками поставки алюмінієвого профілю та значною варіативністю замовлень у групах Y і Z. Водночас саме такий рівень буферу і створює проблему абсолютної ліквідності, оскільки кожна тонна запасу має не лише складську, а й фінансову вартість.

Показник $H = 3939.0$ грн/т на місяць також не є довільним. Його розрахунок базується на оцінці альтернативної вартості капіталу, вкладеного в 1.0 т алюмінієвого профілю. Спочатку визначено грошову вартість 1.0 т профілю. Якщо середня ціна 1.0 пог. м становить 378.18 грн, а орієнтовна маса 1.0 пог. м – 1.2 кг, тоді 1.0 т містить 833.33 пог. м профілю ($1000/1.2 = 833.33$ пог. м.). Вартість 1 т профілю дорівнює: $833.33 \cdot 378.18 = 315150.0$ грн. За ставки альтернативної вартості капіталу 15.00% річних річна вартість утримання 1.0 т запасу становить: $315150.0 \cdot 0.15 = 47272.5$ грн/т на рік. Оскільки модель будується для місячного періоду, річну величину поділено на 12 місяців й отримаємо $H = 3939.375$ грн/т на місяць. Для використання в Excel Solver показник округлено до 3939.0 грн/т на місяць. Відповідно, повна місячна вартість утримання базового страхового запасу у Києві дорівнює: $H \cdot SS_{\max} = 3939.0 \cdot 120.0 = 472680.0$ грн/місяць. Саме ця величина виконує у моделі роль фінансового штрафу за збереження надлишкового страхового запасу на центральному складі. Якщо ж модель активує один або декілька регіональних хабів, цей штраф зменшується пропорційно до обсягу попиту, який переходить із хаотичних прямих LTL-відправлень у більш передбачуваний FTL-потік.

У середовищі MS Excel Solver було розраховано три варіанти цільової функції ТС (додаток Б). Для рішень крос-докінгу та змішаної моделі було встановлено ліміт підзадач на рівні 50000, що дозволяє уникнути передчасної зупинки пошуку в умовах великої кількості маршрутних і цілочисельних комбінацій (табл. 3.1):

Таблиця 3.1 – Результати розв’язання MILP-моделі в MS Excel Solver

Показник	С1 Прямі доставки	С2 Крос-докінг	С3 Змішана модель
Сукупний попит, т	258	258	258
Обсяг прямих доставок, т	258	0	224
Обсяг вантажу через крос-докінг, т	0	258	34
Обсяг магістральних FTL-відправлень, т	0	258	34
Централізований страховий запас у Києві після оптимізації, т	120	0	0
Витрати на утримання страхового запасу, грн/міс	472680.0	0	0
Сукупні логістичні витрати ТС, грн/міс	1089290.0	872498.0	798870.0
Абсолютна економія до С1, грн/міс	0	216792.0	290420.0
Відносна економія до С1, %	0	19.9	26.66
Перевищення витрат над найкращим сценарієм, грн/міс	290420.0	73628.0	0

Джерело: *розраховано автором*

Результати табл. 3.1 демонструють, що найвитратнішою є модель прямих доставок. Її сукупні логістичні витрати становлять 1089290.0 грн на місяць. Основною причиною такої вартості є не лише висока ціна міжміських рейсів, а й необхідність утримувати повний страховий запас на складі м. Київ. Вартість цього запасу становить 472680.0 грн на місяць, тобто 43.39% від усіх логістичних витрат рішення С1. Розрахунок частки: $472680.0 / 1089290.0 \cdot 100 = 43.39\%$. Отже, майже половина витрат базового сценарію пов’язана не з фізичним транспортуванням, а з фінансовою ціною замороженого капіталу.

Економічне рішення повного крос-докінгу знижує сукупні витрати до 872498.0 грн на місяць. Економія порівняно з прямими доставками становить 216792.0 грн, або 19.90%. Такий результат пояснюється тим, що активація хабів дозволяє повністю прибрати витрати на утримання страхового запасу на складі у м. Київ. Водночас повний перехід на крос-докінг не є мінімально витратним рішенням. Причина полягає в тому, що модель змушена проводити через хаби навіть ті вантажі, які дешевше доставити напряду. Для окремих напрямів додаткові операції перевалки, фіксована оренда хабу та локальна дистрибуція збільшують витрати порівняно з прямим рейсом.

Найкращим за результатами Excel Solver є змішаний сценарій С3. Його сукупні логістичні витрати становлять 798870.0 грн на місяць. Порівняно з прямими доставками економія дорівнює 290420.0 грн на місяць, або 26.66%. Порівняно з повним крос-докінгом змішана модель дешевша на 73628.0 грн на місяць. Це доводить, що економічно доцільним є не повне витіснення прямих доставок, а їх селективне поєднання з хабовою моделлю. У змішаному сценарії через крос-докінг проходить 34.0 т вантажу, а 224.0 т доставляються напряду. Такий розподіл свідчить, що для частини напрямів пряма доставка залишається дешевшою через уникнення подвійної перевалки, тоді як хаби виконують роль інструменту скорочення страхового запасу та консолідації окремих регіональних потоків. Нульове значення страхового запасу в С3 слід трактувати як результат зміни ролі центрального складу, а не як повну ліквідацію всіх запасів підприємства. Сценарій С3 демонструє, що після активації регіональних хабів і переходу до планових поставок Київ більше не повинен утримувати страховий буфер для всіх напрямів одночасно. Це дозволяє вивільнити капітал, який раніше був заморожений у запасах, і зменшити тиск логістичної системи на ліквідність підприємства.

Для перевірки стійкості отриманих результатів модель було додатково реалізовано в середовищі Python із використанням бібліотек `orpnruhl` та `PuLP` (додаток В). Програмна реалізація дублює основну логіку Excel-моделі: зчитує відстані, тарифи, попит, фіксовані та змінні витрати хабів, після чого формує MILP-

задачу з цільовою функцією мінімізації ТС. Для розв'язання використано CBC Solver, що входить до складу PuLP (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Контрольне розв'язання MILP-моделі в Python PuLP

Показник	Змішана модель	Прямі доставки	Крос-докінг
Статус розв'язку	Оптимальний	Оптимальний	Оптимальний
Сукупні логістичні витрати ТС, грн/міс	759514	1087914	811752
Абсолютна економія до прямих доставок, грн/міс	328400	0	276162
Відносна економія до прямих доставок, %	30.19	0	25.38
Перевищення витрат над найкращим сценарієм, грн/міс	0	328400	52238
Статус хабів	Відкрито всі хаби	Закрито всі хаби	Відкрито всі хаби
Магістральний потік через Вінницю, т	20	0	40
Магістральний потік через Львів, т	0	0	34
Магістральний потік через Івано-Франківськ, т	0	0	20
Магістральний потік через Харків, т	0	0	60
Магістральний потік через Полтаву, т	0	0	24
Магістральний потік через Дніпро, т	0	0	80

Джерело: *розраховано автором.*

Контрольний розрахунок у Python підтвердив той самий економічний порядок рішень, що і Excel Solver. Найдорожчим залишається варіант прямих доставок, витрати якого становлять 1087914.0 грн на місяць. Повний крос-докінг дає зниження витрат до 811752.0 грн, тобто економію 276162.0 грн на місяць. Найкращий результат

знову демонструє змішана модель із витратами 759514.0 грн на місяць та економією 328400.0 грн відносно прямого варіанта.

Незначна різниця між результатами Excel Solver та Python PuLP пояснюється різними алгоритмами обробки цілочисельної оптимізації. В Excel Solver було використано допуск цілочисельної оптимальності та обмеження кількості підзадач, тоді як Python PuLP через CBC Solver виконав незалежний пошук допустимого оптимального рішення. Водночас збіг основного висновку є принциповим: за обома інструментами пряма модель є найдорожчою, повний крос-докінг є дешевшим, а змішаний підхід забезпечує найменші сукупні витрати.

Для узагальнення результатів обидва модельні експерименти було зіставлено (табл. 3.3):

Таблиця 3.3 – Порівняння результатів оптимізації між MS Excel Solver та Python PuLP

Сценарій	Сукупні логістичні витрати за MS Excel Solver, грн/міс	Сукупні логістичні витрати за Python PuLP, грн/міс	Абсолютне відхилення результатів, грн	Відносне відхилення до результату MS Excel Solver
Прямі доставки	1089290	1087914	1376	0.13
Крос-докінг	872498	811752	60746	6.96
Змішана модель	798870	759514	39356	4.93

Джерело: *розраховано автором.*

Дані табл. 3.3 підтверджують надійність модельного висновку. Різниця між Excel Solver та Python PuLP для прямої доставки становить лише 1376.0 грн, або 0.13%, що підтверджує узгодженість тарифної бази, відстаней і розрахунку транспортних витрат. Більші відхилення у сценаріях крос-докінгу та змішаної моделі пояснюються тим, що ці варіанти містять значно більше бінарних і цілочисельних комбінацій: модель має одночасно обирати статус хабів, типи автомобілів, кількість рейсів і напрям руху вантажу. Проте навіть за різних обчислювальних інструментів

ранжування сценаріїв не змінюється, що є важливим доказом стійкості отриманих результатів.

Зважаючи на високу турбулентність сучасного ринку будівельних матеріалів та стохастичну природу ринкового попиту, розроблена змішана лінійно-цілочисельна модель підлягає перевірці на чутливість та адаптивність до динамічних змін обсягів замовлень D_j . Математична архітектура моделі закладає гнучкий механізм автоматичного перерозподілу потоків і структурної перебудови логістичної мережі залежно від вектору коливань попиту.

У разі збільшення обсягів замовлень у конкретному регіональному напрямі модель реагує через механізм синергії двох факторів: ефекту масштабу при транспортуванні та посилення ефекту об'єднання ризиків. Відповідно до формули (2.19), обсяг вивільнення страхового запасу ΔS_k перебуває у прямій пропорційній залежності від частки попиту регіону. Зростання D_k максимізує фінансовий бонус від зменшення витрат на утримання залишків у м. Київ, який у цільовій функції починає суттєво переважувати фіксовані витрати на утримання транзитного хабу F_k .

Одночасно з цим збільшення щільності матеріального потоку дозволяє оптимізаційному алгоритму повністю відмовитися від дорогих малотоннажних прямих доставок на користь магістральних FTL-відправлень великими партіями до активованого хабу з подальшим локальним розвезенням. Модель максимізує завантаження вантажності автомобілів, мінімізуючи питомі транспортні витрати на одну тону продукції.

У випадку стиснення ринку або падіння обсягів замовлень у регіоні нижче критичного рівня, модель демонструє зворотну еластичність. Коли попит D_k зменшується, пропорційно падає і потенційна величина вивільнення страхового запасу ΔS_k . У певний момент математичний аналіз цільової функції виявляє, що фінансовий ефект від скорочення капіталомісткості запасу в Києві та транспортна консолідація вже не здатні покрити постійні місячні витрати на оренду та адміністрування хабу F_k .

За таких умов MILP-модель миттєво змінює структуру мережі: булева змінна активації хабу автоматично набуває значення нуля, що повністю обнуляє витрати на даний транзитний вузол. Весь залишковий дрібний попит цього регіону модель переспрямовує на прямі доставки з центрального складу, минаючи етап подвійної перевалки в хабі, оскільки в даному випадку уникнення постійних витрат є більш пріоритетним для мінімізації загальних логістичних витрат ТС.

Таким чином, запропонована потокова модель виступає як адаптивний алгоритм прийняття економічних рішень, який дозволяє підприємству підтримувати логістичні витрати на рівні глобального математичного мінімуму за будь-яких коливань кон'юнктури ринку.

З економічної точки зору отримані результати мають декілька важливих наслідків. По-перше, поточна модель прямих доставок не може вважатися раціональною, оскільки вона поєднує найдорожчу просторову схему перевезень із максимальною потребою у страховому запасі. Вона створює подвійний тиск на підприємство: через оплату міжміських рейсів і через фінансове замороження 120.0 т продукції в Києві.

По-друге, повний перехід на крос-докінг справді знижує витрати, однак не забезпечує мінімального значення цільової функції. Це означає, що крос-докінг не повинен застосовуватися механічно до всіх напрямів. Для частини маршрутів, особливо за великих партій або за наявності прямих термінових замовлень, прямий рейс залишається економічно виправданим. Тому крос-докінг слід розглядати не як повну заміну прямим доставкам, а як інструмент вибіркової консолідації потоків.

По-третє, змішана модель є найкращим економічним рішенням, оскільки вона мінімізує сукупні витрати за рахунок поєднання двох ефектів. Перший ефект – скорочення вартості утримання страхового запасу через активацію регіонального покриття. Другий ефект – збереження прямих доставок там, де вони дешевші за ланцюг «магістральний рейс – хаб – локальний рейс». Саме через це змішана модель

дає економію 290420.0 грн на місяць за Excel Solver та 328400.0 грн на місяць за Python PuLP.

По-четверте, річний економічний ефект від переходу до змішаної моделі є суттєвим. За результатами Excel Solver він становить: $90420.0 \cdot 12 = 3485040.0$ грн на рік. За результатами контрольного розрахунку в Python він становить: $328400.0 \cdot 12 = 3940800.0$ грн на рік. Отже, навіть за більш консервативним Excel-розрахунком потенційне скорочення логістичних витрат перевищує 3.48 млн грн на рік. Це співставно з чистим прибутком підприємства за 2025 р. і підтверджує, що оптимізація логістичної мережі має прямий вплив на фінансову стійкість підприємства.

Методичну доцільність такого підходу виклали Ж. Т. Черноусова та О. С. Шкапенко у роботі «Економіко-математичне моделювання інноваційної діяльності підприємства в сучасних умовах», де вони розглядають економіко-математичну модель як інструмент вибору найвигіднішого варіанта дій підприємства за умов обмежених ресурсів, різних сценаріїв попиту та необхідності мінімізації фінансового ризику [43]. У статті акцентовано, що раціональний розподіл обмежених ресурсів є важливим елементом економічного моделювання, а порівняння кількох економічних рішень дає змогу визначити варіант, який забезпечує кращий фінансовий результат підприємства. Цей підхід є релевантним для логістичної задачі ТОВ «БАРКС», оскільки підприємство також функціонує в умовах ресурсних обмежень: обмеженої ліквідності, обмеженої пропускної здатності хабів, різної вантажності автомобілів, нерівномірного попиту за регіонами та високої вартості замороженого капіталу.

3.2 Практичні рекомендації щодо реалізації обраних економічних рішень в управлінні логістичними операціями

Результати економіко-математичного моделювання, проведеного у підрозділі 3.1, підтвердили, що найкращим варіантом для ТОВ «БАРКС» є не повна відмова від прямих доставок і не повний перехід на крос-докінг, а змішана модель організації

матеріальних потоків. Саме вона забезпечує мінімальне значення сукупних логістичних витрат, оскільки поєднує прямі доставки на тих маршрутах, де вони залишаються економічно виправданими, та крос-докінгову консолідацію там, де вона дозволяє скоротити витрати на надлишковий страховий запас і підвищити завантаження транспорту.

Водночас саме по собі отримання оптимального сценарію в Excel Solver та Python PuLP не гарантує автоматичного покращення фінансового стану підприємства. Модельний результат має бути перетворений у систему практичних економічних рішень.

Логіка рекомендацій ґрунтується на трьох проблемах, виявлених у другому розділі: надмірному заморожуванні оборотного капіталу в запасах, високій вартості прямих LTL-доставок та інформаційній роз'єднаності між продажами, виробництвом і складом. У зв'язку з цим практичні рекомендації доцільно згрупувати за чотирма напрямками: диференційоване управління запасами за результатами ABC/XYZ-аналізу; конвертація неліквідних запасів групи «CZ» у грошові кошти; впровадження змішаної моделі дистрибуції з використанням крос-докінгу; впровадження ERP-системи з модулями MRP та WMS для усунення інформаційної асиметрії.

Перед формуванням економічних рішень доцільно провести SWOT-аналіз логістичної системи ТОВ «БАРКС» (див. рис. 3.1).

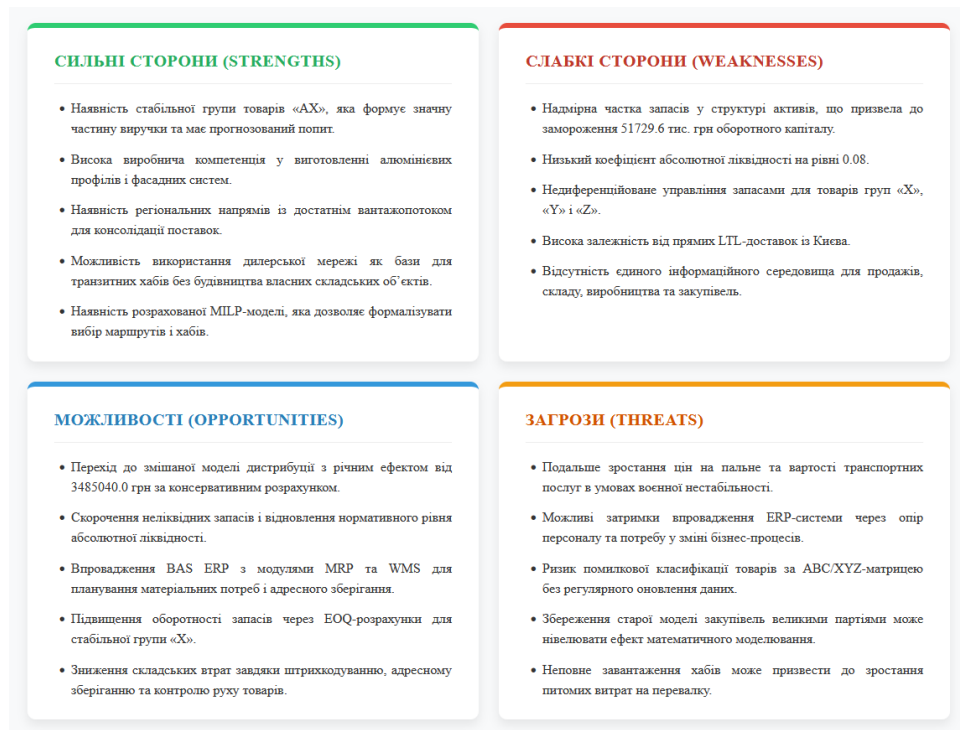


Рисунок 3.1 – SWOT-аналіз логістичних операцій ТОВ «БАРКС» у контексті впровадження економічних рішень

Джерело: складено автором

SWOT-аналіз показує, що підприємство має достатню внутрішню базу для реалізації запропонованих рішень: стабільний попит на ключові профілі, наявність регіональних вантажопотоків, сформовану дилерську мережу та розраховану економіко-математичну модель. Водночас головним обмеженням залишається організаційна інерція: якщо підприємство продовжить формувати запаси за єдиним правилом для всієї номенклатури, а прямі доставки залишаться основним способом обслуговування регіонів, модельний ефект не буде реалізований у практичній діяльності.

На основі результатів SWOT-аналізу сформовано систему економічних рішень, яка пов'язує виявлену проблему, модельний результат і практичний захід реалізації. Першим практичним рішенням має стати впровадження диференційованого управління запасами. За результатами ABC/XYZ-аналізу було встановлено, що товари групи «АХ», зокрема базові профілі BARK-STANDARD та стійково-ригельні

системи, мають стабільний попит і високий внесок у виручку. Для них доцільно використовувати модель економічно обґрунтованого розміру замовлення, оскільки саме ця група потребує регулярного поповнення, але не повинна закуповуватися надлишковими партіями.

У підрозділі 3.1 було розраховано EOQ для репрезентативної позиції «Алюмінієвий профіль Т-подібний базовий». Оптимальний розмір партії становив 5055.7 пог. м. Порівняння інтуїтивної партії 25000.0 пог. м з оптимальною партією показало, що річні витрати зменшуються з 738125.0 грн до 286799.3 грн. Економія для однієї номенклатурної позиції становить: $738125.0 - 286799.3 = 451325.7$ грн/рік.

Для кожної групи має бути встановлено окреме правило. Для товарів групи «АХ» доцільно підтримувати наявність на складі та використовувати EOQ із регулярним перерахунком раз на квартал. Для груп «АУ» та «ВУ» слід урахувати сезонність і коригувати точку замовлення відповідно до пікових періодів будівельної активності. Для груп «АЗ», «ВЗ» і «СЗ» доцільним є перехід до виробництва або закупівлі лише після підтвердженого замовлення клієнта.

Другим практичним рішенням є конвертація неліквідних запасів групи «СЗ» у грошові кошти. За результатами ABC/XYZ-аналізу ця група включає системи на салазку, застарілі системи на заклепку, залишки індивідуальних партій та специфічні профілі з непередбачуваним попитом. Вартість запасів групи «СЗ» оцінено у 13967.0 тис. грн. Збереження цих запасів на складі є економічно недоцільним, оскільки вони не забезпечують регулярного продажу, займають складські площі, потребують адміністрування та погіршують ліквідність.

Для прискореної реалізації групи «СЗ» доцільно застосувати дисконт 40.00%. Вибір дисконту на рівні 40.00% обґрунтовується специфікою групи «СЗ» як неліквідної частини запасів підприємства. Дисконт 15.00% у цій роботі використовується як ставка альтернативної вартості капіталу, тобто як оцінка річних втрат від того, що кошти залишаються замороженими у складських запасах. Однак така ставка відображає лише фінансову вартість капіталу і не є достатньою для

прискореної реалізації неліквідної номенклатури. Вона могла б бути прийнятною для товарів зі стабільним попитом, які мають нормальну оборотність і можуть бути реалізовані в межах звичайного операційного циклу. Для групи «CZ» ситуація є іншою, оскільки ці позиції мають низьку економічну значущість, нерегулярний попит і високий ризик подальшого морального старіння або втрати придатності. Метою цього рішення є не максимізація маржі за кожною позицією, а швидке повернення коштів у грошову форму та зниження ризику подальшого псування, морального старіння або втрати придатності продукції.

Проведемо фінансове моделювання цього управлінського рішення:

- Балансова вартість групи «CZ»: 13967.0 тис. грн.
- Пропонований управлінський дисконт: 40%.
- Очікуваний грошовий потік: $13967 \cdot (1 - 0.40) = 8380.2$ тис. грн.
- Фінансовий збиток від уцінки: 5586.8 тис. грн.

На перший погляд, генерація збитку у 5.5 млн грн є негативним кроком. Однак, з точки зору фінансового менеджменту, ці кошти вже є незворотніми. Утримання їх на складі генерує подальші збитки. Конвертація цього неліквіду у 8.38 млн грн дозволить компанії миттєво поповнити поточний рахунок.

Моделювання впливу на ліквідність (на основі даних 2025 р.):

- Грошові кошти до рішення: 2653.8 тис. грн.
- Грошові кошти після розпродажу CZ: $2653.8 + 8380.2 = 11034.0$ тис. грн.
- Поточні зобов'язання компанії: 32292.5 тис. грн.
- Новий коефіцієнт абсолютної ліквідності: $11034.0 / 32292.5 = 0.34$

Позбувшись неліквідів, ТОВ «БАРКС» повністю виходить із зони ризику банкрутства. Показник абсолютної ліквідності зростає з 0.08 до 0.34, що перевищує нормативне значення (0.2). Компанія отримує здатність миттєво розраховуватися за своїми поточними боргами.

Третім практичним рішенням є впровадження змішаної моделі дистрибуції. За результатами Excel Solver, прямі доставки формують витрати 1089290.0 грн на місяць,

тоді як змішана модель знижує їх до 798870.0 грн на місяць. Отже, місячна економія становить: $1089290.0 - 798870.0 = 290420.0$ грн/міс.

Річний економічний ефект від цього рішення дорівнює: $290420.0 \cdot 12 = 3485040.0$ грн/рік.

З урахуванням воєнної нестабільності окремо необхідно перевірити, як змішана модель поводить за сприятливого та несприятливого сценаріїв зміни транспортних витрат. Основним фактором ризику є ціна пального, яка безпосередньо впливає на вартість рейсів. Для сценарного аналізу прийнято припущення, що паливна складова становить 45.00% транспортного тарифу, оскільки тариф перевізника включає не лише пальне, а й зарплату водія, амортизацію автомобіля, ремонт, страхування, податки та маржу перевізника.

Для змішаної моделі сукупні витрати становлять 798870.0 грн на місяць. Із них витрати на хаби, за розрахунковою таблицею, становлять 165100.0 грн. Відповідно транспортна частина дорівнює: $T_{\text{міх}} = 798870.0 - 165100.0 = 633770.0$ грн.

Для прямої моделі транспортна частина становить: $T_{\text{direct}} = 1089290.0 - 472680.0 = 616610.0$ грн.

У несприятливому сценарії передбачено зростання паливної складової на 20.00% та збільшення витрат на хаби на 15.00% через підвищення орендних і перевантажувальних витрат. Тоді змішана модель матиме такі витрати: $TC = 633770.0 + 633770.0 \cdot 0.45 \cdot 0.20 + 165100.0 \cdot 1.15 = 880674.3$ грн/міс.

Для прямої моделі несприятливий сценарій становить: $TC = 616610.0 + 616610.0 \cdot 0.45 \cdot 0.20 + 472680.0 = 1144784.9$ грн/міс.

Сценарний аналіз доводить, що змішана модель залишається економічно доцільною навіть за несприятливого сценарію. За умови зростання паливної складової на 20.00% і збільшення витрат на хаби на 15.00% річна економія все одно становить 3169327.2 грн. Це важливо для підприємства, яке працює в умовах воєнної невизначеності, оскільки модель не втрачає ефективності при погіршенні транспортного середовища.

Четвертим практичним рішенням є впровадження ERP-системи. жодна з вищеописаних математичних моделей не працюватиме в умовах інформаційної асиметрії. Економічним рішенням є впровадження хмарної ERP-системи, яка об'єднає дані відділу продажів, складу та виробництва у єдине інформаційне середовище. Це дозволить перейти до виробництва алюмінієвих профілів і систем типу BARK-STRONG (Група Z) лише після внесення підтвердженого замовлення в ERP.

Для ТОВ «БАРКС» доцільним є обрання системи BAS ERP – одного з найбільш поширених рішень для управління виробничими підприємствами в Україні. Вона містить вбудовані модулі WMS (управління складом з адресним зберіганням) та MRP (планування матеріальних ресурсів), що повністю закривають потреби компанії.

Розрахуємо рентабельності інвестицій (ROI) у впровадження ERP:

- Основна ліцензія BAS ERP: 300000 грн;
- Послуги з впровадження: експертно оцінюються у ≈ 50000 грн.
- Загальна сума інвестицій: 800000 грн.

Очікувані результати:

- Зниження витрат на фізичне псування запасів на алюмінії та фурнітурі, завдяки впровадженню адресного зберігання та штрихкодування у WMS, на 50% від поточних втрат: $3126.7 \cdot 0.5 = 1563.3$ тис. грн./рік. З методичної позиції коефіцієнт 50,00% є помірним припущенням, оскільки він не передбачає повного усунення псування запасів. У розрахунку зберігається друга половина поточних втрат, що враховує залишкові ризики фізичного пошкодження, людського фактору та зовнішніх операційних відхилень. Тому цей коефіцієнт можна розглядати як реалістичний консервативний сценарій впливу WMS, а не як оптимістичну оцінку максимального ефекту.

- Скорочення адміністративних витрат: 400 тис. грн/рік. Воно виникає за рахунок зменшення ручної обробки даних, прискорення інвентаризації, скорочення помилок у замовленнях та зменшення дублювання функцій між відділами.

- Річна економія (разом): ≈ 1963.3 тис. рік

Термін окупності: $800000 / 1963300 = 0.41$ року (5 місяців).

ROI = 145.4%.

Впровадження реально діючої системи BAS ERP окупається менш ніж за півроку лише за рахунок усунення складського хаосу. Високий показник ROI математично доводить, що інформаційна інтеграція є прибутковою операційною інвестицією компанії, яка стане фундаментом для утримання оптимізованих рівнів запасів.

Завершальним етапом є інтегральна оцінка економічного ефекту від реалізації запропонованих рішень (табл. 3.4). Для уникнення завищення результату у підсумковому розрахунку враховано підтверджені величини: економію від змішаної логістичної моделі за Excel Solver, економію EOQ для однієї репрезентативної позиції, зниження витрат від ERP та уникнення альтернативних витрат на утримання групи «CZ». Окремо показано грошовий потік від розпродажу неліквідів, оскільки він покращує ліквідність, але не є операційним прибутком.

Таблиця 3.4 – Аналітика інтегрального економічного ефекту від реалізації економічних рішень

Джерело ефекту	Тип ефекту	Сума, тис. грн/рік
1	2	3
Перехід до змішаної моделі дистрибуції	Скорочення логістичних витрат	3485.04
EOQ для репрезентативної позиції групи «AX»	Скорочення витрат на замовлення і зберігання	451.33
Припинення утримання групи «CZ»	Уникнення альтернативної вартості капіталу	2095.05
Впровадження BAS ERP	Скорочення складських та адміністративних витрат	1963.35
Разом річний операційний ефект	Скорочення витрат	7994.77

Кінець табл. 3.4

1	2	3
Інвестиції у BAS ERP	Одноразові витрати	-800
Чистий ефект першого року	Економія після інвестицій	7194.77
Грошовий потік від розпродажу «CZ»	Одноразове покращення ліквідності	8380.2

Джерело: *розраховано автором.*

Отримані результати доводять, що навіть за консервативного підходу регулярний річний ефект від реалізації запропонованих рішень становить 7994.77 тис. грн. У перший рік, після врахування інвестицій у BAS ERP, чистий ефект дорівнює 7194.77 тис. грн. Додатково підприємство отримує одноразовий грошовий потік 8380.2 тис. грн від реалізації неліквідних запасів групи «CZ». Отже, загальний фінансовий вплив рішень у перший рік може бути оцінений як: $7194.77 + 8380.2 = 15574.97$ тис. грн.

Для оцінювання впливу на прибутковість потрібно розрахувати потенційне зростання чистого прибутку. Якщо річний ефект до оподаткування становить 7994.77 тис. грн, то після умовного податку на прибуток 18.00% чистий ефект дорівнює: $7994.77 \cdot (1 - 0.18) = 6555.71$ тис. грн.

За умови, що чистий прибуток підприємства у 2025 р. становив 2846.9 тис. грн, прогнозний чистий прибуток після реалізації рішень може становити: $2846.9 + 6555.71 = 9402.61$ тис. грн.

Рентабельність продажів за чистим прибутком після реалізації рішень за умови незмінної виручки 91208.4 тис. грн становитиме: $9402.61 / 91208.4 \cdot 100 = 10.31\%$.

Поточна рентабельність продажів за чистим прибутком становила 3.12%. Отже, реалізація запропонованих рішень потенційно підвищує цей показник до 10.31%. Такий результат пояснюється тим, що запропоновані рішення впливають не лише на транспортні витрати, а й на заморожений капітал, складські втрати, адміністративні витрати та ліквідність.

Таблиця 3.5 – Вплив запропонованих рішень на ключові фінансові показники

Показник	До реалізації рішень	Після реалізації рішень	Зміна
Грошові кошти, тис. грн	2653.8	10234	7580.2
Коефіцієнт абсолютної ліквідності	0.08	0.32	0.24
Чистий прибуток, тис. грн	2846.9	9402.61	6555.71
Рентабельність продажів, %	3.12	10.31	7.19
Річні логістичні витрати за прямою моделлю, тис. грн	13071.48	9586.44	-3485.04
Регулярний річний операційний ефект, тис. грн	0	7994.77	7994.77

Джерело: розраховано автором

Підсумовуючи результати рекомендаційної аналітики, можна зробити висновок, що практична реалізація обраних економічних рішень дозволяє ТОВ «БАРКС» перейти від реактивного управління логістикою до керованої моделі матеріальних потоків, яка базується на цілеспрямованій мінімізації сукупних витрат та підвищенні загальної рентабельності активів. Диференціація запасів за ABC/XYZ-матрицею зменшує надлишкове накопичення продукції. Розпродаж групи «CZ» забезпечує швидке відновлення абсолютної ліквідності. Змішана модель дистрибуції з використанням крос-докінгу скорочує транспортно-складські витрати та знижує залежність від дорогих прямих LTL-доставок. BAS ERP із модулями MRP та WMS створює інформаційну основу для підтримання цих змін у щоденній роботі підприємства.

Висновки до третього розділу

1. У третьому розділі було розроблено економіко-математичне обґрунтування рішень щодо підвищення ефективності логістичних операцій ТОВ «БАРКС». Вихідною проблемою стало суттєве замороження оборотного капіталу в запасах, зниження абсолютної ліквідності до 0.08 та зростання логістичних витрат. Для розв'язання цієї проблеми було використано поєднання локальної моделі управління запасами, потокової MILP-моделі дистрибуції, сценарного аналізу та оцінювання економічного ефекту від практичного впровадження запропонованих рішень.

2. На першому етапі було застосовано модель оптимального розміру замовлення Вілсона для стабільної номенклатури групи «АХ». Для репрезентативної позиції «Алюмінієвий профіль Т-подібний базовий» оптимальний розмір партії становив 5055.7 пог. м. Порівняння з інтуїтивною партією у 25000.0 пог. м показало, що річні витрати на замовлення і зберігання можуть бути знижені з 738125.0 грн до 286799.3 грн. Економія лише за однією позицією становить 451325.7 грн на рік, що доводить доцільність переходу від великих інтуїтивних закупівель до математично обґрунтованого поповнення запасів.

3. На другому етапі було розв'язано змішано-цілочисельну модель мінімізації сукупних логістичних витрат. У межах модельного експерименту порівняно три сценарії організації дистрибуції: прямі доставки, повний крос-докінг та змішана модель. За результатами MS Excel Solver найнижчі витрати отримано саме для змішаної моделі – 798870.0 грн на місяць проти 1089290.0 грн у сценарії прямих доставок. Місячна економія становить 290420.0 грн, або 26.66%, а річний ефект – 3485040.0 грн. Це підтверджує, що повна відмова від прямих рейсів не є оптимальною; найбільш доцільним є поєднання прямих доставок із вибіркоvim використанням крос-докінгу.

4. Надійність отриманого результату було перевірено шляхом дублювання моделі в середовищі Python із використанням бібліотек `orpx1` та `PuLP`.

Контрольний розрахунок підтвердив той самий порядок ефективності сценаріїв: найдорожчою залишається модель прямих доставок, проміжним варіантом є повний крос-докінг, а найкращий результат забезпечує змішана модель. За Python-розрахунком економія змішаної моделі становить 328400.0 грн на місяць, або 3940800.0 грн на рік. Різниця між Excel Solver та Python PuLP пояснюється особливостями алгоритмів цілочисельної оптимізації, однак однакове ранжування сценаріїв підтверджує стійкість висновку.

5. У рекомендаційній частині було сформовано комплекс практичних рішень для впровадження результатів моделювання. До них належать диференційоване управління запасами за ABC/XYZ-матрицею, розпродаж неліквідної групи «CZ», впровадження змішаної моделі дистрибуції та запуск BAS ERP із модулями MRP і WMS. Реалізація групи «CZ» із дисконтом 40.00% дозволяє отримати 8380.2 тис. грн грошового потоку та підвищити коефіцієнт абсолютної ліквідності з 0.08 до 0.34. Це означає, що підприємство зможе вийти із зони критичного дефіциту грошових коштів і відновити здатність швидко покривати поточні зобов'язання.

6. Окремо було обґрунтовано необхідність впровадження BAS ERP, оскільки без єдиного інформаційного середовища математичні моделі не зможуть стабільно працювати у щоденній діяльності підприємства. ERP-система має об'єднати дані продажів, складу, закупівель і виробництва, забезпечити адресне зберігання, штрихкодування та планування матеріальних потреб. Загальна сума інвестицій у ERP-проект становить 800.0 тис. грн. Очікувана річна економія від скорочення складських втрат і адміністративних витрат становить 1963.3 тис. грн, строк окупності – близько 0.41 року, або 5 місяців, а ROI – 145.4%.

7. Підсумковий розрахунок економічного ефекту показав високу результативність запропонованих рішень. Регулярний річний операційний ефект становить 7994.77 тис. грн. Після врахування інвестицій у BAS ERP чистий ефект першого року дорівнює 7194.77 тис. грн. Додатково підприємство отримує одноразовий грошовий потік 8380.2 тис. грн від реалізації неліквідних запасів, тому

загальний фінансовий вплив у перший рік може становити 15574.97 тис. грн. Прогнозний чистий прибуток після реалізації рішень може зрости з 2846.9 тис. грн до 9402.61 тис. грн, а рентабельність продажів – з 3.12% до 10.31%.

8. Отримані результати доводять, що основний резерв підвищення ефективності логістичних операцій ТОВ «БАРКС» полягає не в окремому зниженні транспортних тарифів, а в комплексній перебудові управління матеріальними потоками. Поєднання EOQ, ABC/XYZ-аналізу, змішаної моделі дистрибуції, розпродажу неліквідів і впровадження BAS ERP дозволяє одночасно скоротити витрати, підвищити ліквідність, зменшити заморожений капітал і створити керовану логістичну систему, здатну адаптуватися до зміни попиту, тарифів і транспортних ризиків.

ВИСНОВКИ

1. У дипломній роботі узагальнено теоретичні підходи до розуміння логістичних операцій виробничого підприємства. Встановлено, що вони охоплюють як транспортування і складське зберігання, так й поповнення, комплектацію, пакування, відвантаження, перевалку, інформаційний супровід і контроль матеріальних потоків. Обґрунтовано, що саме логістичні операції безпосередньо впливають на витрати, ліквідність, оборотність активів і фінансовий результат підприємства.

2. Систематизовано інструментарій економічної аналітики логістичних операцій. До нього віднесено горизонтальний і вертикальний аналіз, коефіцієнтний аналіз, ABC/XYZ-класифікацію, EOQ-модель, розрахунок страхового запасу, OTIF-аналіз, кореляційно-регресійне моделювання, сценарний аналіз, MILP-моделювання, ERP/WMS/MRP-рішення, ROI та строк окупності. Це дозволило сформулювати комплексний підхід до оцінювання й оптимізації логістичних рішень.

3. Економічний аналіз діяльності ТОВ «БАРКС» показав, що підприємство має високий виробничий потенціал, проте стикається з логістичними диспропорціями. У 2025 році чистий дохід становив 91208.4 тис. грн, валовий прибуток – 28647.0 тис. грн, однак рентабельність продажів залишилася низькою – 3.12%, а рентабельність активів знизилася до 4.33%. Це свідчить про поглинання виробничого ефекту зростанням операційних і логістичних витрат.

4. Діагностика майнового стану виявила критичне накопичення запасів. У 2025 році їх вартість досягла 51729.6 тис. грн, або 68.1% усіх активів підприємства. Коефіцієнт абсолютної ліквідності знизився до 0.08, що свідчить про гострий дефіцит грошових коштів. За моделлю О. Терещенка підприємство потрапило до зони прихованого ризику.

5. Економіко-аналітичне оцінювання довело, що головною причиною зростання логістичних витрат є надмірне накопичення запасів. Період їх обороту у

2025 році перевищив 252 дні, рівень логістичних витрат зріс до 28.56%, а рентабельність логістичних витрат знизилася до 0.11. Регресійна модель підтвердила тісний зв'язок між запасами та логістичними витратами: R^2 становив 0.8818.

6. За допомогою моделі Дюпона встановлено, що основною причиною падіння рентабельності активів стало уповільнення оборотності майна. Близько 95% загального зниження ROA було спричинено саме зменшенням оборотності активів, а не падінням маржинальності. Це підтвердило необхідність вивільнення капіталу із надлишкових запасів.

7. Для визначення причин логістичної кризи застосовано діаграму Ісікави, ABC/XYZ-аналіз, Гар-аналіз та OTIF-моделювання. Встановлено, що значна частина замороженого капіталу зосереджена у групах із нерегулярним попитом, особливо у секторі «CZ». Підтримання OTIF на рівні 98% для всієї номенклатури створює надмірну потребу у страховому запасі та погіршує ліквідність.

8. Для стабільних позицій групи «AX» застосовано EOQ-модель. На прикладі базового Т-подібного алюмінієвого профілю доведено, що перехід від інтуїтивної великої партії до оптимального розміру замовлення може скоротити витрати на 451.33 тис. грн на рік лише за однією позицією. Це підтверджує доцільність математичного обґрунтування управління запасами.

9. Для оптимізації дистрибуції було сформовано MILP-модель мінімізації сукупних логістичних витрат. Порівняння прямих доставок, повного крос-докінгу та змішаної моделі показало, що найкращим рішенням є змішана модель. За результатами Excel Solver економія становить 290.42 тис. грн на місяць, або 3485.04 тис. грн на рік.

10. Практичні рекомендації сформовано за чотирма напрямками: диференційоване управління запасами, розпродаж неліквідної групи «CZ», впровадження змішаної моделі дистрибуції з крос-докінгом та використання BAS ERP з модулями MRP і WMS. Такий підхід дозволяє скоротити надлишкові залишки, зменшити логістичні витрати та підвищити грошову ліквідність.

11. Обґрунтовано доцільність впровадження BAS ERP як інформаційної основи для управління логістикою. Система має об'єднати продажі, закупівлі, виробництво, склад і логістику, забезпечити адресне зберігання, штрихкодування та планування матеріальних потреб. Інвестиції становлять 800.0 тис. грн, очікувана річна економія – 1963.35 тис. грн, строк окупності – близько 5 місяців.

12. Підсумковий економічний ефект від запропонованих рішень є суттєвим. Регулярний річний операційний ефект становить 7994.77 тис. грн, а чистий ефект першого року після врахування інвестицій у BAS ERP – 7194.77 тис. грн. Додатково підприємство може отримати 8380.2 тис. грн від реалізації неліквідних запасів групи «CZ».

13. Реалізація запропонованих рішень дозволяє покращити фінансові показники ТОВ «БАРКС». Грошові кошти можуть зрости до 10234.0 тис. грн, коефіцієнт абсолютної ліквідності – до 0.32, чистий прибуток – до 9402.61 тис. грн, а рентабельність продажів – до 10.31%. Це підтверджує практичну значущість розроблених рекомендацій.

14. Загалом дипломна робота підтвердила, що логістика є важливим джерелом фінансової стійкості виробничого підприємства. Поєднання фінансової діагностики, ABC/XYZ-аналізу, EOQ-моделювання, OTIF-аналізу, регресійної перевірки, MILP-оптимізації та BAS ERP дає змогу перейти від інтуїтивного управління до аналітично обґрунтованих логістичних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. SCM definitions and glossary of terms. *cscmp.org*. URL: https://cscmp.org/CSCMP/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx (date of access: 20.05.2026).
2. Process frameworks. *www.apqc.org*. URL: <https://www.apqc.org/process-frameworks> (date of access: 20.05.2026).
3. Ліпич Л. Г. Ідентифікація та класифікація логістичних процесів виробничого підприємства. Економічний форум. 2022. Т. 1, № 1. С. 72–79. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2308-8559-2022-1-9> (дата звернення: 20.05.2026).
4. Шелест Р. В. Теоретичні підходи до поняття логістичних процесів як об'єкту публічного управління. *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*. 2023. № 20. С. 188–194. URL: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2023.20.188> (дата звернення: 20.05.2026).
5. SCOR digital standard. *www.ascm.org*. URL: <https://www.ascm.org/corporate-solutions/standards-tools/scor-ds/> (date of access: 21.05.2026).
6. Родіна О. В. Управління виробничими та логістичними витратами підприємств птахівництва : дис. ... д-ра філософії в галузі економіки : 073. Дніпро, 2023. 263 с.
7. What is ERP?. *www.sap.com*. URL: <https://www.sap.com/sea/resources/what-is-erp> (date of access: 21.05.2026).
8. Karagoz S., Karagoz Y. Optimization of material flow and product allocation in inter-unit operations: a case study of a refrigerator manufacturing facility. *Logistics*. 2025. Vol. 9, no. 1. P. 13. URL: <https://doi.org/10.3390/logistics9010013> (date of access: 23.05.2026).
9. Alain H., Musoni W. Implementation of ABC - XYZ analysis on business inventory management using machine learning model technology by IJISRT. *International*

journal of innovative science and research technology (IJISRT). 2024. P. 1963–1968. URL: <https://doi.org/10.38124/ijisrt/ijisrt24feb1099> (date of access: 23.05.2026).

10. EOI or EOQ? A simulation study for the inventory management of a company operating in the railway sector / L. Tebaldi et al. *Procedia computer science*. 2023. Vol. 217. P. 1532–1541. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.353> (date of access: 23.05.2026).

11. OTIF in the supply chain - what is it and how to calculate it. www.adaptideations.com. URL: <https://www.adaptideations.com/otif-in-the-supply-chain-what-is-it-and-how-to-calculate-it> (date of access: 23.05.2026).

12. SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python / P. Virtanen et al. *Nature methods*. 2020. Vol. 17, no. 3. P. 261–272. URL: <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2> (date of access: 24.05.2026).

13. Григоряк П. М. Сучасні підходи до управління логістичними процесами на підприємстві: кваліфікаційна робота ; спец. 051 «Економіка» ОП «Міжнародна логістика та управління ланцюгами постачання» / П. М. Григоряк ; наук. кер. О. Я. Бозуленко. – Чернівці : ЧТЕІ ДТЕУ, 2025. – 69 с.

14. Організація та методика економічного аналізу : навч. посіб. / Л. Бойко та ін. Одеса : ОДЕУ, 2010. 351 с.

15. Fauziah S. N., Hati S. W. Analysis of raw material inventory planning to minimise stock out and stock out cost using min-max and eoq methods at PT XYZ. *Jurnal akuntansi, ekonomi dan manajemen bisnis*. 2024. Vol. 12, no. 2. P. 207–222. URL: <https://doi.org/10.30871/jaemb.v12i2.8387> (date of access: 23.05.2026).

16. Brian Beers. Regression: definition, analysis, calculation, and example. www.investopedia.com. URL: <https://www.investopedia.com/terms/r/regression.asp> (date of access: 23.05.2026).

17. Самойлик Ю. В., Гринько О. В. Сценарне планування в логістиці як інструмент протидії зовнішнім загрозам: роль бі-платформ у швидкому прийнятті управлінських рішень. Інвестиції: практика та досвід. 2025. № 14. С. 105–110. URL: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2025.14.105> (дата звернення: 23.05.2026).
18. Logistics village location with capacity planning problem, an MILP model approach / A. Baghestani et al. Sustainability. 2023. Vol. 15, no. 5. P. 4633. URL: <https://doi.org/10.3390/su15054633> (date of access: 08.06.2026).
19. Define and solve a problem by using Solver - Microsoft Support. Microsoft Support. URL: <https://support.microsoft.com/en-us/office/define-and-solve-a-problem-by-using-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040> (date of access: 24.05.2026).
20. Excel Solver - Integer Constraints and the Integer Optimality Tolerance. solver. URL: <https://www.solver.com/excel-solver-integer-constraints-and-integer-optimality-tolerance> (date of access: 24.05.2026).
21. Pulp – PuLP 4.0.0a9 documentation. COIN-OR Documentation Site | COIN-OR Documentation. URL: <https://coin-or.github.io/pulp/main/includeme.html> (date of access: 24.05.2026).
22. Самодай В., Донський М., Гладун М. Оптимізація управління логістичними витратами в діяльності підприємств. Економіка та суспільство. 2023. № 55. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-34> (дата звернення: 12.05.2026).
23. Виробник НВФ і СПОК. алюмінієві рішення від barks.ua. barks. URL: <https://barks.ua/> (дата звернення: 12.05.2026).
24. Українська аналітична онлайн-система для бізнесової аналітики, конкурентної розвідки та перевірки контрагентів – youcontrol. URL: <https://youcontrol.com.ua>.

25. Інформація про компанію виробника алюмінієвих рішень BarkS. barks. URL: <https://barks.ua/o-kompanii/> (дата звернення: 05.05.2026).
26. ТОВ "БАРКС" Профіль компанії. youcontrol.com.ua. URL: https://youcontrol.com.ua/catalog/company_details/43638756/ (дата звернення: 12.05.2026).
27. Analysis of logistics costs of the enterprise / U. Plekan et al. Journal of mechanical engineering and transport. 2023. Vol. 17, no. 1. P. 114–120. URL: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-17-1-114-120> (date of access: 17.05.2026).
28. Hayes A. Understanding the cash conversion cycle (CCC) for business efficiency. <https://www.investopedia.com>. URL: <https://www.investopedia.com/terms/c/cashconversioncycle.asp> (date of access: 13.05.2026).
29. Ситник Н. С., Смолінська С., Ясіновська І. Фінанси підприємств. Львів : ЛНУ ім. Ів. Франка, 2020. 389 с.
30. Ломоносов Д. С. Діагностика фінансового стану операторів поштового зв'язку України з використанням дискримінантних моделей оцінки ризику банкрутства підприємства. Ефективна економіка. 2024. № 7. URL: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.7.97> (дата звернення: 15.05.2026).
31. Терещенко О. Фінансова санація та банкрутство підприємств : науч. посіб. Київ, 2000. 412 с.
32. Additive technology and 7R methodology in circular economy for wearable sensors production / M. Vorkapić et al. Journal of engineering management and competitiveness. 2024. Vol. 14, no. 1. P. 71–78. URL: <https://doi.org/10.5937/jemc2401071v> (date of access: 08.06.2026).

33. Modelling opportunity cost effects in money demand due to openness / S. Huellen et al. International journal of finance & economics. 2020. URL: <https://doi.org/10.1002/ijfe.2175> (date of access: 25.05.2026).
34. Ariane de Saeger. Діаграма Ісікави для управління ризиками: передбачати та вирішувати проблеми всередині бізнесу. 2023. 29 с.
35. Central limit theorem. Statlect. URL: <https://www.statlect.com/asymptotic-theory/central-limit-theorem> (date of access: 25.05.2026).
36. Профіль Т80х50х2: продаж, ціна у Києві. Системи вентильованих фасадів від "БАРКС ТОВ" - 2247489141. bark-sistems.prom.ua. URL: <https://bark-sistems.prom.ua/ua/p2247489141-profil-t80h50h2.html> (дата звернення: 23.05.2026).
37. Облікова ставка Національного банку. Національний банк України. URL: <https://bank.gov.ua/ua/monetary/archive-rish> (дата звернення: 23.05.2026).
38. From supply chain risk to system-wide disruptions: research opportunities in forecasting, risk management and product design / T. Browning et al. International journal of operations & production management. 2023. URL: <https://doi.org/10.1108/ijopm-09-2022-0573> (date of access: 08.06.2026).
39. Maitra S. Inventory management under stochastic demand: a simulation-optimization approach. 2024. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2406.19425> (date of access: 27.05.2026).
40. Останкова Л., Шевченко Н. Аналіз, моделювання та управління економічними ризиками. Центр навч. літ., 2011. 256 с.
41. Панчишин С., Крупка І., Пушкар Т. Про використання сучасних методів управління запасами в міжнародному бізнесі. Соціальний розвиток: економіко-правові проблеми. 2025. № 3. URL: <https://doi.org/10.70651/3083-6018/2025.3.16> (дата звернення: 29.05.2026).

42. Ціни на вантажні перевезення в києві • тарифи 2026. TransPortal. URL: <https://transportal.pro/price/> (дата звернення: 29.05.2026).

43. Черноусова Ж.Т., Шкапенко О.С. Економіко-математичне моделювання інноваційної діяльності підприємства в сучасних умовах. Підприємництво та інновації. №24. 2022. С. 129-137. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/24.22> URL: <http://ei-journal.in.ua/index.php/journal/article/view/533/519>.

ДОДАТОК А

Вхідні дані для побудови регресійної моделі впливу запасів на логістичні витрати ТОВ «БАРКС» за 2023–2025 рр.

Таблиця А.1 – Вхідні дані для побудови регресійної моделі впливу запасів на логістичні витрати ТОВ «БАРКС» за 2023–2025 рр.

Рік	Місяць	Х (Запаси, тис. грн)	У (Логістичні витрати, тис. грн)
1	2	3	4
2023	Січень	2000	310
2023	Лютий	3500	340
2023	Березень	5200	380
2023	Квітень	6800	430
2023	Травень	8500	470
2023	Червень	10200	510
2023	Липень	11900	550
2023	Серпень	13600	580
2023	Вересень	15300	610
2023	Жовтень	17100	630
2023	Листопад	18900	645
2023	Грудень	20799.2	655.9
2024	Січень	22000	1181.4
2024	Лютий	23200	1301.4
2024	Березень	24500	1421.4
2024	Квітень	25800	1541.4
2024	Травень	27000	1661.4
2024	Червень	28300	1781.4
2024	Липень	29600	1901.4
2024	Серпень	30800	2021.4
2024	Вересень	32100	2141.4
2024	Жовтень	33400	2261.4
2024	Листопад	34600	2381.4

Продовження додатку А

Кінець табл. А.1

1	2	3	4
2024	Грудень	35902.9	2601.5
2025	Січень	37200	1800
2025	Лютий	38500	1867.5
2025	Березень	39800	1935
2025	Квітень	41200	2002.5
2025	Травень	42500	2070
2025	Червень	43800	2137.5
2025	Липень	45100	2205
2025	Серпень	46400	2272.5
2025	Вересень	47700	2340
2025	Жовтень	49000	2407.5
2025	Листопад	50300	2475
2025	Грудень	51729.6	2543.8

Джерело: складено автором на основі даних підприємства

ДОДАТОК Б

Результати розв'язання оптимізаційної MILP-моделі логістичної дистрибуції ТОВ «БАРКС» у MS Excel Solver

Маршрут (Джерело - Стік)	Відстань (км)	ПОТІК (т)	АВТО: 1.5т	АВТО: 5т	АВТО: 10т	АВТО: 20т	МІСТКІСТЬ	ВАРТІСТЬ РЕЙСУ (крюгорейс)
1. МАГІСТРАЛІ (Київ -> 6 Кандидатів)								
Київ - Вінниця (Хаб)	271	0	0	0	0	0	0	0
Київ - Львів (Хаб)	544	0	0	0	0	0	0	0
Київ - Ів-Франківськ (Хаб)	608	0	0	0	0	0	0	0
Київ - Харків (Хаб)	481	0	0	0	0	0	0	0
Київ - Полтава (Хаб)	344	0	0	0	0	0	0	0
Київ - Дніпро (Хаб)	495	0	0	0	0	0	0	0
2. КРОС-ДОКІНГ: ЗАХІД (Хаби Заходу -> Міста Заходу)								
Вінниця (Хаб) - Вінниця (місто)	8	0	0	0	0	0	0	0
Вінниця - Львів	363	0	0	0	0	0	0	0
Вінниця - Ів-Франківськ	365	0	0	0	0	0	0	0
Львів (Хаб) - Вінниця	363	0	0	0	0	0	0	0
Львів (Хаб) - Львів (місто)	8	0	0	0	0	0	0	0
Львів - Ів-Франківськ	135	0	0	0	0	0	0	0
Ів-Франк (Хаб) - Вінниця	365	0	0	0	0	0	0	0
Ів-Франк - Львів	135	0	0	0	0	0	0	0
Ів-Франк (Хаб) - ІФ (місто)	8	0	0	0	0	0	0	0
3. КРОС-ДОКІНГ: СХІД (Хаби Сходу -> Міста Сходу)								
Харків (Хаб) - Харків (місто)	15	0	0	0	0	0	0	0
Харків - Полтава	143	0	0	0	0	0	0	0
Харків - Дніпро	210	0	0	0	0	0	0	0
Полтава (Хаб) - Харків	143	0	0	0	0	0	0	0
Полтава (Хаб) - Полтава (місто)	8	0	0	0	0	0	0	0
Полтава - Дніпро	184	0	0	0	0	0	0	0
Дніпро (Хаб) - Харків	210	0	0	0	0	0	0	0
Дніпро - Полтава	184	0	0	0	0	0	0	0
Дніпро (Хаб) - Дніпро (місто)	8	0	0	0	0	0	0	0
4. ПРЯМА ДОСТАВКА (Київ -> Дилери напряму)								
Київ - Вінниця	271	32	0	0	0	2	40	48780
Київ - Львів	544	34	0	0	0	2	40	97920
Київ - Ів-Франківськ	608	28	0	0	1	1	30	103360
Київ - Харків	481	60	0	0	0	3	60	129870
Київ - Полтава	344	24	0	0	1	1	30	58480
Київ - Дніпро	495	80	0	0	0	4	80	178200
ЕКОНОМІКА 6 КАНДИДАТІВ (ХАБИ)								
Статус Хабу Y_k (1-вкл, 0-викл):	0	0	0	0	0	0		
Ввійшло магістраллю (т):	0	0	0	0	0	0		
Вийшло крос-докінгом (т):	0	0	0	0	0	0		
Фікс. оренда (F_k) грн/міс:	25000	32000	18000	35000	20000	30000		
Вартість перевалки (v_k) грн/т:	150	150	150	200	150	180		
Доступний ліміт Хабу (т):	0	0	0	0	0	0		
Витрати Хабу (грн):	0	0	0	0	0	0		
ЕКОНОМІКА ЦЕНТРАЛЬНОГО СКЛАДУ (КИЇВ)								
Максимальний страховий запас у Києві:	120							
Вартість утримання 1 тонни (грн/міс):	3939							
Скорочення запасу в Києві (т):	14.88372	15.81395	13.02326	27.90698	11.16279	37.2093		
Фактичний страховий запас у Києві (т):	120							
ВИТРАТИ НА УТРИМАННЯ ЗАПАСУ (Київ):	472680							
ПОПИТ КЛІЄНТІВ								
Вінниця	32	1	1	32	32			
Львів	34	2	1	34	34			
Ів-Франківськ	28	0	0	28	28			
Харків	60	4	1	60	60			
Полтава	24	1	0	24	24			
Дніпро	80	3	1	80	80			
СУКУПНІ ЛОГІСТИЧНІ ВИТРАТИ (ТС) -> min	1089290							

Рисунок Б.1 – Результати розв'язання MILP-моделі С1 «Прямі доставки»

Джерело: розраховано автором

Маршрут (Джерело - Стік)	Відстань	ПОТІК (т)	АВТО: 1.5	АВТО: 5т	АВТО: 10т	АВТО: 20т	МІСТКІСТЬ	ВАРТІСТЬ РЕЙСУ (крюгорейс)
1. МАГІСТРАЛІ (Київ -> 6 Кандидатів)								
Київ - Вінниця (Хаб)	271	52.5	0	0	0	3	60	73170
Київ - Львів (Хаб)	544	40	0	0	0	2	40	97920
Київ - Ів-Франківськ (Хаб)	608	1.5	1	0	0	0	1.5	34048
Київ - Харків (Хаб)	481	64	0	1	0	3	65	166426
Київ - Полтава (Хаб)	344	40	0	0	0	2	40	61920
Київ - Дніпро (Хаб)	495	60	0	0	0	3	60	133650
2. КРОС-ДОКІНГ: ЗАХІД (Хаби Заходу -> Міста Заходу)								
Вінниця (Хаб) - Вінниця (місто)	8	32	0	0	0	2	40	1440
Вінниця - Львів	363	1.5	1	0	0	0	1.5	20328
Вінниця - Ів-Франківськ	365	19	0	0	0	1	20	32850
Львів (Хаб) - Вінниця	363	0	0	0	0	0	0	0
Львів (Хаб) - Львів (місто)	8	32.5	0	0	0	2	40	1440
Львів - Ів-Франківськ	135	7.5	0	0	1	0	10	10800
Ів-Франк (Хаб) - Вінниця	365	0	0	0	0	0	0	0
Ів-Франк - Львів	135	0	0	0	0	0	0	0
Ів-Франк (Хаб) - ІФ (місто)	8	1.5	1	0	0	0	1.5	448
3. КРОС-ДОКІНГ: СХІД (Хаби Сходу -> Міста Сходу)								
Харків (Хаб) - Харків (місто)	15	60	0	0	0	3	60	4050
Харків - Полтава	143	4	0	1	0	0	5	10868
Харків - Дніпро	210	0	0	0	0	0	0	0
Полтава (Хаб) - Харків	143	0	0	0	0	0	0	0
Полтава (Хаб) - Полтава (місто)	8	20	0	0	0	1	20	720
Полтава - Дніпро	184	20	0	0	0	1	20	16560
Дніпро (Хаб) - Харків	210	0	0	0	0	0	0	0
Дніпро - Полтава	184	0	0	0	0	0	0	0
Дніпро (Хаб) - Дніпро (місто)	8	60	0	0	0	3	60	2160
4. ПРЯМА ДОСТАВКА (Київ -> Дилери напряму)								
Київ - Вінниця	271	0	0	0	0	0	0	0
Київ - Львів	544	0	0	0	0	0	0	0
Київ - Ів-Франківськ	608	0	0	0	0	0	0	0
Київ - Харків	481	0	0	0	0	0	0	0
Київ - Полтава	344	0	0	0	0	0	0	0
Київ - Дніпро	495	0	0	0	0	0	0	0
ЕКОНОМІКА 6 КАНДИДАТІВ (ХАБИ)								
Статус ХабУ Y_k (1-вкл, 0-викл):	1	1	1	1	1	1	1	
Ввійшло магістраллю (т):	52.5	40	1.5	64	40	60		
Вийшло крос-докінгом (т):	52.5	40	1.5	64	40	60		
Фікс. оренда (F_k) грн/міс:	25000	32000	18000	35000	20000	30000		
Вартість перевалки (v_k) грн/т:	150	150	150	200	150	180		
Доступний ліміт ХабУ (т):	80	100	40	80	40	80		
Витрати ХабУ (грн):	32875	38000	18225	47800	26000	40800		
ЕКОНОМІКА ЦЕНТРАЛЬНОГО СКЛАДУ (КИЇВ)								
Максимальний страховий запас у Києві:	120							
Вартість утримання 1 тонни (грн/міс):	3939							
Скорочення запасу в Києві (т):	14.88372	15.81395	13.02326	27.90698	11.1627907	37.2093		
Фактичний страховий запас у Києві (т):	0							
ВИТРАТИ НА УТРИМАННЯ ЗАПАСУ (Київ):	0							
ПОПИТ КЛІЄНТІВ								
Вінниця	32	0	1	32	0			
Львів	34	0	1	34	0			
Ів-Франківськ	28	0	0	28	0			
Харків	60	0	1	60	0			
Полтава	24	0	0	24	0			
Дніпро	80	0	1	80	0			
СУКУПНІ ЛОГІСТИЧНІ ВИТРАТИ (ТС) -> min								
	872498							

Рисунок Б.2 – Результати розв’язання MILP-моделі С2 «Крос-докінг»

Джерело: розраховано автором

Маршрут (Джерело - Стік)	Відстань	ПОТІК (т)	АВТО: 1.5	АВТО: 5т	АВТО: 10т	АВТО: 20т	МІСТКІСТ	ВАРТІСТЬ РЕЙСУ (кругореїс)
1. МАГІСТРАЛІ (Київ -> 6 Кандидатів)								
Київ - Вінниця (Хаб)	271	12.5	0	0	0	1	20	24390
Київ - Львів (Хаб)	544	20	0	0	0	1	20	48960
Київ - Ів-Франківськ (Хаб)	608	1.5	1	0	0	0	1.5	34048
Київ - Харків (Хаб)	481	0	0	0	0	0	0	0
Київ - Полтава (Хаб)	344	0	0	0	0	0	0	0
Київ - Дніпро (Хаб)	495	0	0	0	0	0	0	0
2. КРОС-ДОКІНГ: ЗАХІД (Хаби Заходу -> Міста Заходу)								
Вінниця (Хаб) - Вінниця (місто)	8	12	0	0	0	1	20	720
Вінниця - Львів	363	0	0	0	0	0	0	0
Вінниця - Ів-Франківськ	365	0.5	1	0	0	0	1.5	20440
Львів (Хаб) - Вінниця	363	0	0	0	0	0	0	0
Львів (Хаб) - Львів (місто)	8	14	0	0	0	1	20	720
Львів - Ів-Франківськ	135	6	0	0	1	0	10	10800
Ів-Франк (Хаб) - Вінниця	365	0	0	0	0	0	0	0
Ів-Франк - Львів	135	0	0	0	0	0	0	0
Ів-Франк (Хаб) - ІФ (місто)	8	1.5	1	0	0	0	1.5	448
3. КРОС-ДОКІНГ: СХІД (Хаби Сходу -> Міста Сходу)								
Харків (Хаб) - Харків (місто)	15	7.10543E-15	0	0	0	0	0	0
Харків - Полтава	143	0	0	0	0	0	0	0
Харків - Дніпро	210	0	0	0	0	0	0	0
Полтава (Хаб) - Харків	143	0	0	0	0	0	0	0
Полтава (Хаб) - Полтава (місто)	8	0	0	0	0	0	0	0
Полтава - Дніпро	184	0	0	0	0	0	0	0
Дніпро (Хаб) - Харків	210	0	0	0	0	0	0	0
Дніпро - Полтава	184	0	0	0	0	0	0	0
Дніпро (Хаб) - Дніпро (місто)	8	0	0	0	0	0	0	0
4. ПРЯМА ДОСТАВКА (Київ -> Дилери напряму)								
Київ - Вінниця	271	20	0	0	0	1	20	24390
Київ - Львів	544	20	0	0	0	1	20	48960
Київ - Ів-Франківськ	608	20	0	0	0	1	20	54720
Київ - Харків	481	60	0	0	0	3	60	129870
Київ - Полтава	344	24	0	1	0	1	25	57104
Київ - Дніпро	495	80	0	0	0	4	80	178200
ЕКОНОМІКА 6 КАНДИДАТІВ (ХАБИ)								
Статус Хабу Y_k (1-вкл, 0-викл):	1	1	1	1	1	1		
Ввійшло магістраллю (т):	12.5	20	1.5	0	0	0		
Вийшло крос-докінгом (т):	12.5	20	1.5	7.11E-15	0	0		
Фікс. оренда (F_k) грн/міс:	25000	32000	18000	35000	20000	30000		
Вартість перевалки (v_k) грн/т:	150	150	150	200	150	180		
Доступний ліміт Хабу (т):	80	100	40	80	40	80		
Витрати Хабу (грн):	26875	35000	18225	35000	20000	30000		
ЕКОНОМІКА ЦЕНТРАЛЬНОГО СКЛАДУ (КИЇВ)								
Максимальний страховий запас у Києві:	120							
Вартість утримання 1 тонни (грн/міс):	3939							
Скорочення запасу в Києві (т):	14.88372	15.81395349	13.02326	27.90698	11.1627907	37.2093		
Фактичний страховий запас у Києві (т):	0							
ВИТРАТИ НА УТРИМАННЯ ЗАПАСУ (Київ):	0							
ПОПИТ КЛІЄНТІВ								
Вінниця	32	1	1	32	20			
Львів	34	2	1	34	20			
Ів-Франківськ	28	0	0	28	20			
Харків	60	4	1	60	60			
Полтава	24	1	0	24	24			
Дніпро	80	3	1	80	80			
СУКУПНІ ЛОГІСТИЧНІ ВИТРАТИ (ТС) -> min	798870							

Рисунок Б.3 – Результати розв’язання MILP-моделі С3 «Змішана модель дистрибуції»

Джерело: розраховано автором

ДОДАТОК В

Програмний код реалізації MILP-моделі мінімізації сукупних транспортно-складських витрат

```

import openpyxl
from pulp import *

def solve_logistics(file_path, scenario="base"):
    print(f"\n{'-' * 50}\nРозв'язок сценарію: {scenario.upper()}\n{'-' * 50}")

    wb = openpyxl.load_workbook(file_path, data_only=True)
    ws = wb['Sheet15']

    cities = ['Вінниця', 'Львів', 'Ів-Франківськ', 'Харків', 'Полтава', 'Дніпро']
    cars = ['1.5t', '5t', '10t', '20t']
    car_capacity = {'1.5t': 1.5, '5t': 5, '10t': 10, '20t': 20}
    car_cost_km = {'1.5t': 28, '5t': 38, '10t': 40, '20t': 45}

    dist_mag = {cities[i]: ws.cell(row=3 + i, column=2).value for i in range(6)}

    dist_dir = {cities[i]: ws.cell(row=30 + i, column=2).value for i in range(6)}

    dist_cross = {}
    row_offset = 10
    for i in range(3):
        for j in range(3):
            dist_cross[(cities[i], cities[j])] = ws.cell(row=row_offset, column=2).value
            row_offset += 1

```

```

row_offset = 20
for i in range(3, 6):
    for j in range(3, 6):
        dist_cross[(cities[i], cities[j])] = ws.cell(row=row_offset, column=2).value
        row_offset += 1

# Параметри хабів
hub_fix_cost = {cities[i]: ws.cell(row=41, column=2 + i).value for i in range(6)}
hub_var_cost = {cities[i]: ws.cell(row=42, column=2 + i).value for i in range(6)}
hub_capacity = {cities[i]: ws.cell(row=43, column=2 + i).value for i in range(6)}

# Параметри попиту
demand_total = {cities[i]: ws.cell(row=54 + i, column=2).value for i in range(6)}
demand_urgent = {cities[i]: ws.cell(row=54 + i, column=3).value for i in range(6)}

# Параметри складу у Києві
max_inv_kyiv = ws.cell(row=47, column=2).value
hold_cost_kyiv = ws.cell(row=48, column=2).value
total_demand_sum = sum(demand_total.values())

prob = LpProblem(f"Multi_Hub_Optimization_{scenario}", LpMinimize)

y = LpVariable.dicts("Hub_Status", cities, cat='Binary')

flow_mag = LpVariable.dicts("Flow_Mag", cities, lowBound=0, cat='Continuous')
flow_dir = LpVariable.dicts("Flow_Direct", cities, lowBound=0, cat='Continuous')
flow_cross = LpVariable.dicts("Flow_Cross", dist_cross.keys(), lowBound=0,
cat='Continuous')

```

```

c_mag = LpVariable.dicts("Cars_Mag", (cities, cars), lowBound=0, cat='Integer')
c_dir = LpVariable.dicts("Cars_Dir", (cities, cars), lowBound=0, cat='Integer')
c_cross = LpVariable.dicts("Cars_Cross", (dist_cross.keys(), cars), lowBound=0,
cat='Integer')

# Цільова функція

cost_trans_mag = lpSum([c_mag[h][v] * 2 * dist_mag[h] * car_cost_km[v] for h in
cities for v in cars])

cost_trans_dir = lpSum([c_dir[c][v] * 2 * dist_dir[c] * car_cost_km[v] for c in cities for
v in cars])

cost_trans_cross = lpSum(
[c_cross[route][v] * 2 * dist_cross[route] * car_cost_km[v] for route in
dist_cross.keys() for v in cars])

cost_hubs = lpSum([y[h] * hub_fix_cost[h] + flow_mag[h] * hub_var_cost[h] for h in
cities])

inventory_reduction = lpSum([y[h] * (max_inv_kyiv * (demand_total[h] /
total_demand_sum)) for h in cities])

cost_inv = hold_cost_kyiv * (max_inv_kyiv - inventory_reduction)

prob += cost_trans_mag + cost_trans_dir + cost_trans_cross + cost_hubs + cost_inv

#Обмеження

for c in cities:

    # Баланс попиту

    routes_to_c = [route for route in dist_cross.keys() if route[1] == c]

    prob += flow_dir[c] + lpSum([flow_cross[r] for r in routes_to_c]) ==
demand_total[c], f"Demand_{c}"

```

```

# Обмеження термінового вантажу
prob += flow_dir[c] >= demand_urgent[c], f"Urgent_{c}"

# Баланс потоків Хабу
routes_from_h = [route for route in dist_cross.keys() if route[0] == c]
if routes_from_h:
    prob += flow_mag[c] == lpSum([flow_cross[r] for r in routes_from_h]),
f"Hub_Balance_{c}"

# Ліміт пропускної здатності Хабу
prob += flow_mag[c] <= y[c] * hub_capacity[c], f"Hub_Cap_{c}"

# Забезпечення місткості автомобілів
prob += lpSum([c_mag[c][v] * car_capacity[v] for v in cars]) >= flow_mag[c],
f"Cap_Mag_{c}"

prob += lpSum([c_dir[c][v] * car_capacity[v] for v in cars]) >= flow_dir[c],
f"Cap_Dir_{c}"

for r in dist_cross.keys():
    prob += lpSum([c_cross[r][v] * car_capacity[v] for v in cars]) >= flow_cross[r],
f"Cap_Cross_{r[0]}_{r[1]}"

# Специфічні обмеження
prob += c_dir['Вінниця']['1.5t'] == 0, "No_1.5_Dir_Vinnytsia"
prob += c_dir['Вінниця']['5t'] == 0, "No_5_Dir_Vinnytsia"
prob += c_dir['Харків']['1.5t'] == 0, "No_1.5_Dir_Kharkiv"
prob += c_dir['Дніпро']['1.5t'] == 0, "No_1.5_Dir_Dnipro"

```

```

if scenario == "direct_only":
    for h in cities:
        prob += y[h] == 0, f"Force_Hub_Closed_{h}"

elif scenario == "cross_only":
    for c in cities:
        prob += flow_dir[c] == demand_urgent[c], f"Min_Direct_{c}"

prob.solve(PULP_CBC_CMD(msg=0))

print(f'Статус розв'язку: {LpStatus[prob.status]}')
if prob.status == 1:
    print(f'Мінімальні витрати (TC): {value(prob.objective):.2f} грн\n')

print("Статус Хабів:")
for h in cities:
    if value(y[h]) > 0:
        print(f' [+] Хаб {h} Відкрито (Потік магістралі: {value(flow_mag[h])} т)')
    else:
        print(f' [-] Хаб {h} Закрито")

print("\nПрямі доставки (тон):")
for c in cities:
    if value(flow_dir[c]) > 0:
        print(f' Київ -> {c}: {value(flow_dir[c])} т (із них терміново:
{demand_urgent[c]}')

```

```
if __name__ == "__main__":  
    file_name = "Назва_файлу.xlsx"  
  
    solve_logistics(file_name, scenario="base")  
    solve_logistics(file_name, scenario="direct_only")  
    solve_logistics(file_name, scenario="cross_only")
```