

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

Економічний факультет
Кафедра економічної кібернетики та прикладної економіки

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

**«Моделювання управління запасами оптово-роздрібної
торгівельної фірми»**

Виконала: студент 2 курсу, групи ЕК-61

Спеціальності 051 Економіка

Освітня програма «Економічна кібернетика»

Овчаров Артем Андрійович

Керівник: Ніколаєва Олена Георгіївна, к. ф.-м. н.,
доцент

Рецензент: _____

Харків – 2025

Анотація

Овчаров А. А. Моделирование управления запасами оптово-роздрібної торговельної фірми (керівник: к. ф.-м. н., доц. Ніколаєва О. Г.).

У роботі розглянуто проблематику управління запасами сервісного центру з гібридною бізнес-моделлю (послуги ремонту та продаж компонентів), виявлено неефективність інтуїтивного підходу, що призводить до заморожування коштів та дефіциту критичних запчастин. Проведено діагностику системи управління з використанням ABC/XYZ-аналізу, що дозволило розробити диференційовану стратегію для різних груп товарів. Обґрунтовано та розраховано оптимальні параметри замовлення (EOQ) та точку перезаказування (ROP) для стратегічних товарів (група А), а для витратних матеріалів (група С) запропоновано систему «двох бункерів». Розроблено адаптивну модель прогнозування попиту з урахуванням сезонності та розділенням потоків («Сервіс»/«Магазин»), що дозволило знизити похибку прогнозування (MAPE) з 38,5% до 18,1%.

Ключові слова: управління запасами, ABC/XYZ-аналіз, сервісний центр, модель EOQ, прогнозування попиту, страховий запас, точка перезаказування.

Summary

Ovcharov A. A. Modeling Inventory Management of a Wholesale and Retail Trading Firm (Scientific supervisor: PhD in Phys. and Math., Assoc. Prof. Nikolaiev O. H.).

The thesis examines the issues of inventory management in a service center with a hybrid business model (repair services and component sales), revealing the inefficiency of the intuitive approach, which leads to capital tie-up and shortages of critical spare parts. Diagnostics of the management system were conducted using ABC/XYZ analysis, enabling the development of a differentiated strategy for different product groups. Optimal order quantity (EOQ) and reorder point (ROP) parameters were justified and calculated for strategic items (Group A), while a "two-bin system" was proposed for consumables (Group C). An adaptive demand forecasting model was developed, taking into account seasonality and the separation of flows ("Service"/"Shop"), which reduced the forecasting error (MAPE) from 38.5% to 18.1%.

Keywords: inventory management, ABC/XYZ analysis, service center, EOQ model, demand forecasting, safety stock, reorder point.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ СЕРВІСНОГО ЦЕНТРУ	8
1.1. Організаційно-економічна характеристика Сервісного центру.....	8
1.2. Аналіз номенклатури запасів та існуючого процесу їх управління.....	12
1.3. Діагностика ефективності управління запасами.....	25
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ОПТОВО-РОЗДРІБНОГО ПРОФІЛЮ.....	30
2.1. Сутність, функції та класифікація запасів у логістичній системі торгівельного підприємства	30
2.2. Огляд та порівняльний аналіз моделей та систем управління запасами.....	34
2.3. Методи прогнозування попиту на запчастини в умовах сервісної діяльності.....	41
3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ СЕРВІСНОГО ЦЕНТРА.....	50
3.1. Обґрунтування моделі оптимізації та визначення параметрів управління запасами	50
3.2. Розробка та реалізація моделі розрахунку оптимальних параметрів замовлення	59
3.3. Розробка організаційно-практичних рекомендацій та оцінка ефективності.....	77
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	84
ДОДАТКИ.....	92

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах динамічного розвитку ринку електронної техніки та зростаючої потреби у якісному та швидкому сервісному обслуговуванні, ефективне управління запасами для оптово-роздрібних торговельних фірм набуває критичного значення. Для Сервісного центру по ремонту техніки «ProximaService» запаси, які переважно складаються із запчастин, комплектуючих та витратних матеріалів, є одночасно і ключовим активом, і потенційним джерелом значних втрат.

Неоптимальна система управління запасами призводить до двох основних проблем: з одного боку – до дефіциту критичних деталей, що збільшує час ремонту, знижує рівень обслуговування клієнтів та провокує втрату доходу; з іншого – до надлишку повільно рухомих або морально застарілих комплектуючих, що «заморожує» оборотні кошти.

Таким чином, розробка та впровадження науково обґрунтованої моделі оптимізації управління запасами, яка враховує специфіку попиту сервісного центру (як залежного, так і незалежного), є актуальним науково-практичним завданням. Моделювання дозволяє не тільки мінімізувати логістичні витрати, але й забезпечити високий рівень готовності до ремонту, що прямо впливає на конкурентоспроможність та фінансову стійкість підприємства.

Мета кваліфікованої магістерської роботи полягає у розробці та обґрунтуванні моделі оптимізації управління запасами оптово-роздрібною торговельною фірми на прикладі Сервісного центру по ремонту техніки «ProximaService» з метою підвищення ефективності його економічної діяльності.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **завдання**:

1. Провести комплексний аналіз наявної системи управління запасами Сервісного центру «ProximaService», включаючи опис проблемної ситуації та організаційно-економічну оцінку.

2. Виконати діагностику ефективності управління запасами за допомогою ABC- та XYZ-аналізу для виявлення критичних позицій, неліквідів та проблемних зон в обліку.
3. Узагальнити теоретичні основи та проаналізувати сучасні моделі управління запасами (детерміновані та стохастичні), обґрунтувати вибір методів, що найбільше відповідають специфіці сервісного бізнесу.
4. Розробити адаптивну модель розрахунку оптимального розміру замовлення та точки повторного замовлення, диференційовану за групами товарів.
5. Апробувати розроблену модель на реальних даних підприємства та оцінити економічну ефективність її впровадження.

Об'єкт дослідження: процес управління запасами в логістичній системі оптово-роздрібної торгівельної фірми.

Предмет дослідження: методи, моделі та інформаційне забезпечення оптимізації запасів запчастин та комплектуючих.

База дослідження: Сервісний центр по ремонту техніки «ProximaService».

Методи дослідження. У процесі роботи було використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів, зокрема: системний аналіз – для вивчення системи управління запасами як єдиного цілого; методи економіко-статистичного аналізу (ABC/XYZ-аналіз) – для діагностики ефективності запасів; методи прогнозування (експоненційне згладжування, метод Кростона) – для оцінки майбутнього попиту на запчастини; логістичне та економіко-математичне моделювання – для розробки моделі оптимізації параметрів замовлення .

Інструменти дослідження: обробка даних та моделювання здійснювалися з використанням табличного процесору MS Excel та середовища Google Colab (Python).

Наукова новизна одержаних результатів полягає у:

- удосконаленні підходу до класифікації запасів сервісного центру, що передбачає поділ на залежний та незалежний попит для більш точного прогнозування;
- адаптації класичної моделі EOQ та системи поповнення запасів до умов обмеженого фінансового ресурсу та високого ризику морального зносу запчастин.

Практична значущість роботи полягає у розробці конкретних, готових до впровадження рекомендацій та алгоритму розрахунку оптимальних параметрів замовлення, які дозволять керівництву Сервісного центру знизити загальні логістичні витрати та підвищити рівень обслуговування клієнтів за рахунок мінімізації часу простою техніки .

Апробація результатів. Результати дослідження були апробовані шляхом дистанційної участі у міжнародній науково-практичній конференції «Економічна кібернетика: теорія, практика та напрямки розвитку», що відбулася 27–28 листопада 2025 року у місті Одеса, в Національному Університеті «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА». Опубліковані тези доповіді (Ніколаєва & Овчаров, 2025) та отримано сертифікат про участь у конференції (Додаток 9).

Структура роботи. Кваліфікаційна магістерська робота складається зі Вступу, трьох розділів, Висновків, Списку використаних джерел та Додатків.

У першому розділі викладаються результати аналізу предметної області та діагностики поточної діяльності «ProximaService». Здійснено опис проблемної ситуації, зокрема виявлено проблему «чорної скриньки» в обліку та конфлікт між B2B та B2C попитом. Проведено кількісний аналіз запасів (ABC/XYZ), ідентифіковано причини дефіциту та наявність неліквідних активів, що обґрунтовує необхідність зміни підходів до управління.

У другому розділі проводиться теоретичний аналіз проблеми та обґрунтування методів її вирішення. Розглянуто класичні та сучасні моделі управління запасами, проаналізовано їх переваги та обмеження для сфери послуг. Сформульовано гіпотези щодо доцільності використання стохастичних

моделей та методів прогнозування переривчастого попиту для специфічних груп запчастин.

У третьому розділі розроблено та апробовано комплексну модель оптимізації управління запасами. Запропоновано диференційовану стратегію управління для різних груп товарів, розраховано оптимальні параметри замовлення (EOQ, ROP, страховий запас) та розроблено організаційні рекомендації щодо впровадження системи «двох бункерів» для витратних матеріалів. Проведено оцінку економічної ефективності запропонованих заходів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ СЕРВІСНОГО ЦЕНТРУ

1.1. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА «PROXIMASERVICE»

Базою дослідження та об'єктом апробації розроблених моделей обрано сервісний центр "ProximaService" (фізична особа-підприємець). Підприємство розташоване в м. Суми та працює на ринку послуг з ремонту цифрової електроніки з 2018 року.

1.1.1. Основні види діяльності та організаційна структура

На відміну від багатьох вузькоспеціалізованих майстерень, "ProximaService" займає унікальну ринкову позицію, ведучи діяльність за двома ключовими, взаємопов'язаними напрямками.

1. Надання послуг з ремонту (B2C – Business-to-Consumer): Це основний напрямок, що включає повний спектр послуг з діагностики та відновлення функціональності пристроїв:

- Модульний ремонт: Заміна дисплейних модулів, акумуляторних батарей (АКБ), шлейфів, камер, корпусних елементів (як видно з номенклатури в *Категоріях 1, 2, 3*);
- Компонентний ремонт: Складна пайка BGA, заміна мікросхем (контролери живлення, аудіокодеки), відновлення ланцюгів живлення на материнських платах (номенклатура з *Категорії 5*);
- Ремонт ноутбуків: Чистка систем охолодження, заміна клавіатур, матриць, накопичувачів (номенклатура з *Категорії 4*).

2. Оптово-роздрібна торгівля компонентами (B2B/B2C – Business-to-Business/Consumer): "ProximaService" виступає як локальний постачальник запчастин та компонентів. Цільовою аудиторією цього напрямку є:

- Комерційні майстерні в місті та області, які не мають власних налагоджених каналів постачання або потребують деталей "на зараз";

- Приватні майстри та кінцеві споживачі, що займаються самостійним ремонтом (DIY-сегмент).

Така гібридна бізнес-модель створює специфічну проблему для управління запасами (Шапіро, 2019) : один і той самий складський запас (SKU) споживається двома різними каналами попиту – внутрішнім (для власних ремонтів) та зовнішнім (на продаж) (Костюк, 2023). Це вимагає більш складного підходу до прогнозування та управління, оскільки попит на продаж може «канібалізувати» (тобто неконтрольовано поглинати на шкоду пріоритетному напрямку) запаси, призначені для термінових ремонтів, і навпаки.

"ProximaService" є підприємством малого бізнесу із загальною чисельністю персоналу 6 осіб. Структура управління є лінійно-функціональною, що є типовим для компаній такого розміру (Бойчик, 2019; Міщенко, 2020). Ключові функції чітко розподілені, хоча часто спостерігається суміщення обов'язків. Організаційну структуру підприємства представлено на рис. 1.1.

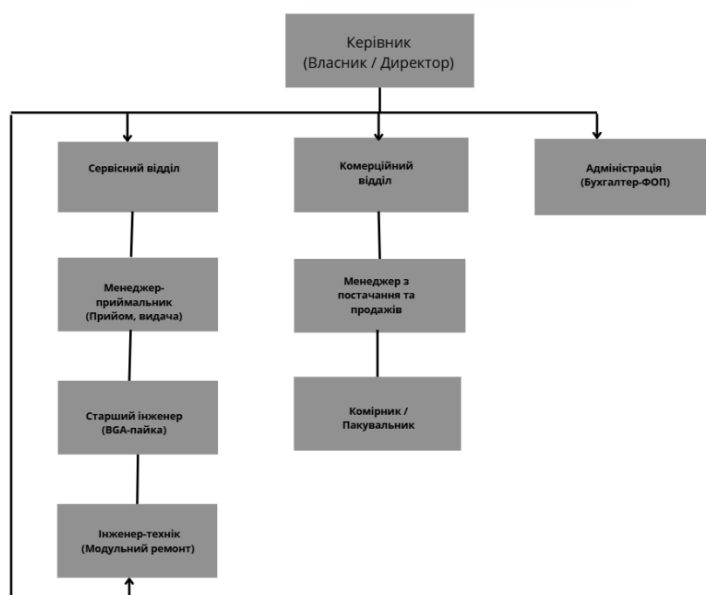


Рис. 1.1. Організаційна структура "ProximaService"

Джерело: розроблено автором.

З точки зору управління запасами, ключові рішення приймаються менеджером з постачання та продажів. Він відповідає за формування замовлень постачальникам (як місцевим, на кшталт "Uparts Sumy", так і закордонним "China-Direct", що видно з наданих даних) та обробку запитів на продаж.

Водночас старший інженер та менеджер-приймальник часто виступають ініціаторами позапланових замовлень, коли стикаються з відсутністю необхідної деталі для конкретного ремонту. Це вказує на відсутність єдиної формалізованої системи та елементи "ручного" управління, що буде детально проаналізовано в підрозділі 1.3.

1.1.2 Аналіз ключових показників ефективності (2022–2024 рр.)

Для оцінки загального стану підприємства та ідентифікації тенденцій було проведено аналіз ключових показників ефективності (KPI) за останні три повні роки (2022-2024). Дані, надані керівництвом підприємства, зведено у табл. 1.1, що сформована на основі внутрішньої фінансової звітності підприємства.

Таблиця 1.1

Динаміка основних показників діяльності "ProximaService" за 2022-2024

Показник	Одиниця виміру	2022 р.	2023 р.	2024 р.	Темп росту 24/22
1. Послуги з ремонту					
Кількість виконаних ремонтів	шт.	1810	2150	2430	+34,3%
Середня вартість ремонту	грн	850,00	920,00	1050,00	+23,5%
Виручка від ремонту (1x2)	грн	1 538 500	1 978 000	2 551 500	+65,8%
2. Продаж компонентів					
Обсяг продажу компонентів	грн	410 000	555 000	752 000	+83,4%
3. Загальні фінансові показники					
Загальна виручка (1.3 + 2.1)	грн	1 948 500	2 533 000	3 303 500	+69,5%
Прибуток (розрахунковий)	грн	390 000	510 000	685 000	+75,6%
4. Операційні показники					
Середній час ремонту	днів	3,5	3,1	2,9	-17,1%

Джерело: розраховано автором за даними підприємства

Аналіз даних з Таблиці 1.1 свідчить про наступне:

1. **Позитивна динаміка:** Підприємство демонструє стабільне зростання за всіма ключовими фінансовими показниками. Загальна виручка за три роки зросла майже на 70%, а прибуток – на 75,6%. Це свідчить про затребуваність послуг та правильну ринкову стратегію.
2. **Зростання середнього чеку:** Середня вартість ремонту зросла на 23,5%, що можна пояснити як загальною інфляцією, так і зростанням складності самих пристроїв (дорожчі запчастини, складніші ремонти).
3. **Структура доходів:** Обидва напрямки діяльності зростають, проте продаж компонентів демонструє випереджаючі темпи росту (+83,4%) порівняно з виручкою від ремонту (+65,8%) що характерно для торговельних підприємств даного профілю (Фролова, 2018).

Наочно структуру доходів "ProximaService" у 2024 році показано на рис. 1.2.

Структура доходів "ProximaService" (2024 р.)

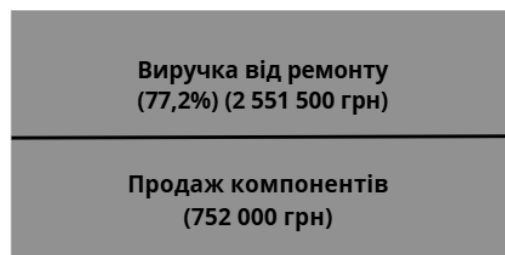


Рис. 1.2. Структура сукупної виручки підприємства за 2024 р.

Джерело: розроблено автором.

Як видно з діаграми, продаж компонентів вже генерує 22,8% (майже чверть) усієї виручки, що підтверджує важливість цього напрямку і необхідність його врахування в моделі управління запасами.

Проблемний операційний показник: Найбільш показовим для нашого дослідження є середній час ремонту. Незважаючи на позитивну динаміку (скорочення з 3,5 до 2,9 днів), цей показник залишається відносно високим. У конкурентній боротьбі ключовою перевагою є можливість виконання ремонту "день в день" (1 день) або "сьогодні на завтра". Поточний показник у 2,9 дні свідчить про наявність системних операційних проблем.

"ProximaService" – це фінансово здорове підприємство, що зростає, з гібридною бізнес-моделлю (ремонт + продаж запчастин). Аналіз КРІ виявив ключову проблему: високий середній час виконання ремонту. Можна висунути гіпотезу, що це безпосередньо пов'язано з неефективністю існуючої системи управління запасами – зокрема, з регулярним виникненням дефіциту (stockouts) ключових запчастин, що змушує клієнтів чекати на доставку, та надлишковими запасами неходових позицій, що "заморожує" обігові кошти. Ця гіпотеза буде перевірена в наступних підрозділах.

1.2. ДІАГНОСТИКА ІСНУЮЧОЇ ПРАКТИКИ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ

Після загального організаційно-економічного аналізу підприємства "ProximaService" (підрозділ 1.1), який дозволив нам визначити його ключові характеристики та гібридну бізнес-модель, ми переходимо до найважливішої частини нашого дослідження – глибокої діагностики "as-is" ("як є"). Мета даного підрозділу – препарувати існуючу на підприємстві систему управління запасами, виявити не просто поверхневі симптоми (як, наприклад, довгий час ремонту), а корінні причини цієї неефективності. Ми повинні детально проаналізувати, як компанія інвестує свої гроші в запаси, як вона розуміє свій попит і як реалізований процес поповнення цих запасів.

1.2.1. Аналіз структури та динаміки запасів

Першим кроком у будь-якому аудиті є "фотографія" поточного стану. У нашому випадку – це детальний аналіз складських залишків. Адже кожен товар на полиці – це не просто запчастина, це прямі оборотні кошти підприємства, "заморожені" у матеріальній формі.

На основі даних, отриманих з облікової системи підприємства (представлених у Додатках), ми провели зведений аналіз. На звітну дату загальна номенклатура досліджуваних груп товарів (SKU) становить 35 позицій.

Загальна вартість цих запасів на складі, розрахована за їхньою закупівельною ціною (К-ть на складі * Ціна закуп. (UAH)), становить 122 970,00 грн.

Для малого підприємства, яким є "ProximaService", це досить значна сума, яка вилучена з обігу і не генерує прибуток, а, навпаки, несе витрати на зберігання та ризики морального старіння. Щоб зрозуміти, наскільки раціонально "заморожені" ці кошти, критично важливо проаналізувати структуру цих інвестицій. Результати аналізу зведено до табл. 1.2.

Таблиця 1.2.

Структура поточних запасів "ProximaService" за категоріями

Категорія товару	Поточна вартість на складі, грн	Частка в загальній вартості, %
1. Дисплеї	55 720,00	45,3%
4. Комплектуючі для Ноутбуків	35 680,00	29,0%
2. Акумулятори (АКБ)	16 940,00	13,8%
3. Шлейфи та Роз'єми	9 455,00	7,7%
5. Мікросхеми (BGA)	5 175,00	4,2%
6. Витратні матеріали	(дані для розрахунку відсутні)	-
Разом	122 970,00	100,0%

Джерело: розраховано автором на основі даних підприємства.

Для кращої візуалізації цієї структури та чіткішого розуміння, куди вкладені гроші, подамо ці дані у вигляді кругової діаграми (рис. 1.3).

Рисунок 2.3. Структура інвестованого капіталу в запаси за категоріями

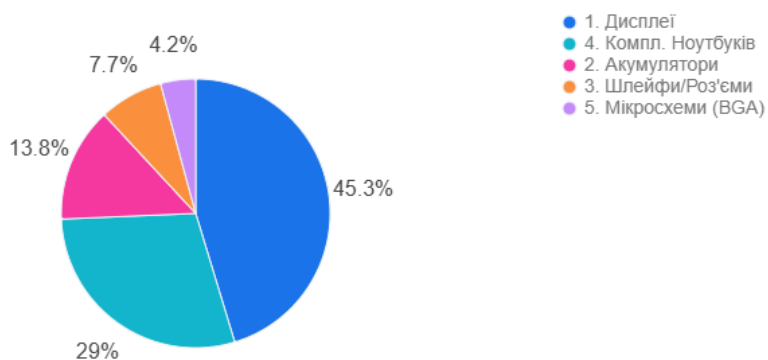


Рис. 1.3. Структура капіталу, інвестованого в запаси за категоріями

Джерело: розроблено автором.

Аналіз Таблиці 1.2 та Рисунка 1.3 дозволяє зробити декілька вкрай важливих висновків щодо політики управління запасами на підприємстві:

1. Висока концентрація капіталу (фінансовий ризик): Очевидно, що склад "ProximaService" має "важку верхівку". Дві категорії – "Дисплеї" (45,3%) та "Комплектуючі для Ноутбуків" (29,0%) – разом формують майже три чверті (74,3%) усієї вартості складу. Це означає, що саме ці групи є зоною підвищеного фінансового ризику. Помилка в прогнозуванні попиту на дисплеї або закупівля не тієї моделі клавіатури для ноутбука – це не дрібний недолік, а прямий і суттєвий удар по оборотних коштах компанії;
2. Специфіка категорії "Ноутбуки": Така структура запасів підтверджує тезу, наведену у роботі (Григорак, Марчук, & Гармаш, 2020), про те, що значну частку вартості запасів часто формують одиничні дорогі позиції. У нашому випадку висока частка категорії «Ноутбуки» (29,0%) пояснюється саме наявністю екстремально дорогих компонентів (матриць), попри їх малу кількість. Яскравий приклад – M-MAC-A1707 (Матриця для MacBook) вартістю 11 500 грн, яка зберігається в одному екземплярі і, судячи з позначки "Під замовлення", є зразком "повільного" та ризикованого запасу;
3. "Дешеві, але важливі" (операційний ризик): На іншому полюсі знаходяться "Шлейфи/Роз'єми" (7,7%) та "Мікросхеми" (4,2%). Їхня сумарна частка в

грошах незначна. Однак, з операційної точки зору, ці категорії – "кров" сервісного центру. Відсутність копійчаного роз'єму або ходової мікросхеми (група BGA) повністю зупиняє високомаржинальний компонентний ремонт, спричиняє простій дорогого інженера і завдає не меншої шкоди репутації, ніж відсутність дорогого дисплея.

Таким чином, вже на першому етапі ми бачимо класичний конфлікт: управління має бути різним. Для дорогих груп (Дисплеї) головний ризик – фінансовий (замороження грошей), для дешевих (Мікросхеми) – операційний (дефіцит).

1.2.2. Аналіз попиту: Проблема "чорної скриньки"

Як було детально описано у підрозділі 1.1, унікальність "ProximaService" полягає в її гібридній моделі та наявності двох каналів споживання запасів:

- Внутрішній (Ремонт B2C): Споживання інженерами для надання послуг;
- Зовнішній (Продаж B2B/DIY): Продаж іншим майстерням та приватним особам.

Під час діагностики було виявлено, можливо, центральне та найглибше упущення існуючої системи. В облікових файлах (електронних таблицях), які використовує підприємство, повністю відсутній роздільний облік споживання за цими двома каналами.

Коли деталь видається зі складу (наприклад, "Дисплей iPhone 11"), вона просто списується із залишку. В системі не залишається жодної позначки про те, чому вона була списана: чи була вона встановлена під час ремонту клієнту Іванову, чи була продана за готівку майстру з конкуруючого сервісу.

Це перетворює всю систему аналізу попиту на "чорну скриньку" (що схематично зображено на рис. 1.4). Ми бачимо, що входить на склад (закупівлі), і бачимо, що виходить зі складу (загальне споживання), але ми абсолютно не розуміємо, які процеси відбуваються всередині.

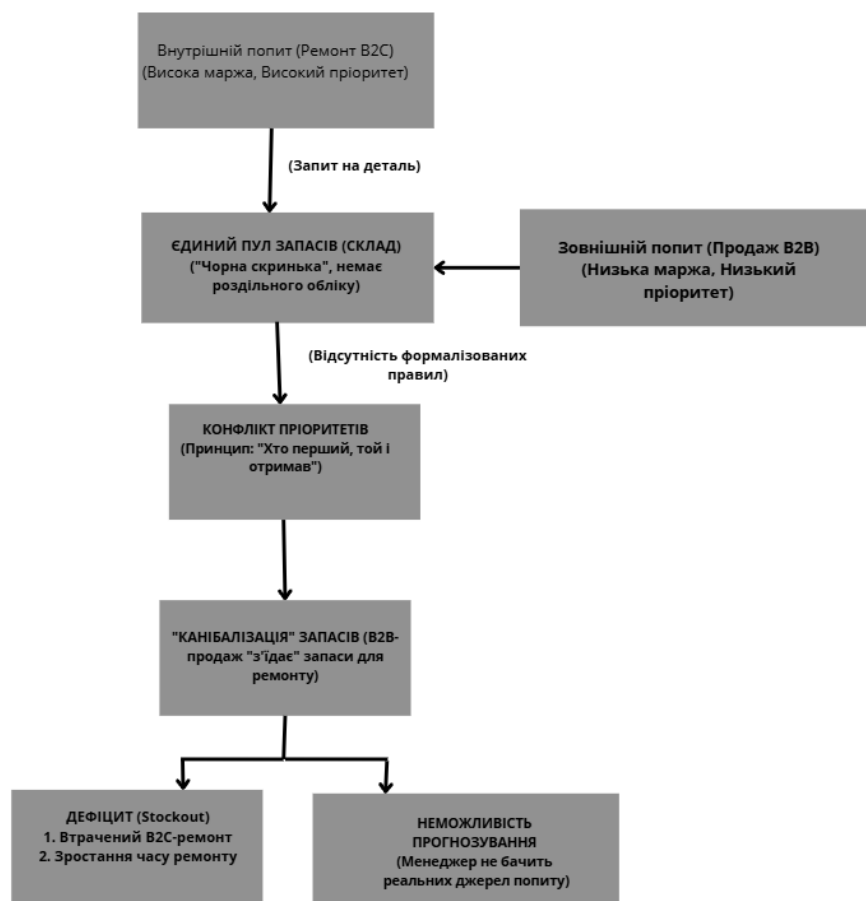


Рис. 1.4. Схема конфлікту та "канібалізації" попиту в існуючій системі

Джерело: розроблено автором.

Руйнівні наслідки такої системи "чорної скриньки":

1. **Абсолютна неможливість прогнозування:** Як менеджер може спрогнозувати попит на наступний місяць, якщо він не знає його драйверів? Якщо він бачить зростання загального споживання дисплеїв D-IP11-НС, що це означає? Що зростає популярність послуг з ремонту iPhone 11? Чи що активізувався B2B-клієнт, який просто "вимиває" цей запас? Система не дає відповіді, і будь-яке прогнозування перетворюється на "ворожіння на кавовій гущі".
2. **"Канібалізація" запасів:** Ми спостерігаємо класичний випадок "канібалізації запасів". Більш простий, швидкий і низькомаржинальний попит (B2B-продаж) "пожирає" ("канібалізує") ті запаси, які були критично необхідні для забезпечення складного, високопріоритетного та

високомаржинального попиту (B2C-ремонт) (Бауерсокс & Клосс, 2020; Пеняк & Калиниченко, 2024).

3. **Втрата стратегічного пріоритету:** Система працює за примітивним принципом "first-come, first-served" (хто перший прийшов, той і отримав). Вона фізично не здатна зарезервувати останній, найважливіший дисплей для клієнта, який записаний на вечірній ремонт, якщо просто зараз прийшов "оптовик" і готовий його купити. Це призводить до прямої втрати прибутку (оскільки ремонт завжди вигідніший) та руйнування репутації сервісу.

1.2.3. Дослідження процесу закупівлі

Якщо аналіз попиту показав, що компанія "не знає, що їй потрібно", то аналіз процесу закупівлі показує, що вона "не знає, як правильно це отримати". Діагностика виявила, що процес поповнення запасів є реактивним, неформалізованим, інтуїтивним і повністю ігнорує фундаментальні основи теорії управління запасами.

Як приймаються рішення про замовлення?

Весь процес на підприємстві побудований не на проактивному розрахунку, а на реакції. На практиці він базується на методі "візуального контролю" та використанні колонки Мін. залишок (MinStock) в облікових файлах.

Процес виглядає наступним чином:

- Менеджер із постачання (або, що ще гірше, сам інженер у процесі роботи) виявляє, що фактична кількість на складі зрівнялася або опустилася нижче встановленого Мін. Залишок;
- Ця позиція вручну "ставиться на замітку" або додається до кошика для наступного замовлення у постачальника, який возить цю групу товарів;

Критика цього "методу":

- Інтуїтивні мінімуми: Наш аналіз та спілкування з персоналом показали, що цифри в колонці «Мін. Залишок» не є результатом статистичного розрахунку. Це експертна, інтуїтивна оцінка менеджера ("з досвіду, начебто, 5 штук має вистачати"). Наприклад, для дисплея D-IP11-НС

(iPhone 11) мінімум = 5, а для D-IPXR-CP (iPhone XR) = 3. Немає жодного економічного чи статистичного обґрунтування, чому ці цифри саме такі;

- Це не страховий запас: Цей "мінімум" не є ані страховим запасом, ані точкою перезаказування в її класичному розумінні. Він ніяк не пов'язаний ані з коливаннями попиту, ані, що найстрашніше, з часом доставки замовлення;
- "Гасіння пожеж": Система працює за принципом "замовляємо, коли закінчилося". Це гарантує виникнення дефіциту (stockout). Якщо замовлення робиться тільки тоді, коли запас досяг мінімуму (наприклад, 1-2 шт.), а доставка займає 3 дні, то сервіс гарантовано буде "порожнім" як мінімум 2 дні. Це і є пряме пояснення, чому середній час ремонту становить 2.9 дні – це і є той час, який клієнт *чекає* на деталь, замовлену *після* того, як він прийшов до сервісу.

Хто постачальники?

Незважаючи на проблеми в методології, сильною стороною підприємства є диверсифікація джерел постачання. Аналіз даних дозволив виявити 7 основних постачальників. Розподіл поточної вартості запасів за ними (табл. 1.3) показує збалансований портфель.

Таблиця 1.3.

Вартість запасів на складі "ProximaService" у розрізі постачальників

Постачальник	Вартість запасів на складі, грн	Частка, %
MobileParts Kyiv	35 380,00	28,8%
GigaService Lviv	27 790,00	22,6%
Uparts Sumy (місцевий)	21 350,00	17,4%
Rozetka B2B	16 250,00	13,2%
China-Direct (Ali)	11 300,00	9,2%
Samsung Parts UA	7 400,00	6,0%
ACER-Service Parts	3 500,00	2,8%
Разом	122 970,00	100,0%

Джерело: складено автором.

Підприємство грамотно балансує: використовуються великі національні дистриб'ютори (MobileParts, GigaService), місцевий постачальник Uparts Sumy (для термінових "гарячих" замовлень) та прямі закупівлі в Китаї (China-Direct) для зниження собівартості.

Які терміни поставки? (Ключова проблема)

І ось тут ми підходимо до фундаментальної вади існуючої системи. Терміни поставки (Lead Time, або час виконання замовлення) не тільки не фіксуються в системі, але й повністю ігноруються при прийнятті рішень. Під час дослідження було встановлено наступні типові терміни поставки (табл. 1.4).

Таблиця 1.4.

Орієнтовні терміни поставки (Lead Time) за групами постачальників

Постачальник (Приклад)	Тип	Орієнтовний час виконання замовлення
Uparts Sumy (місцевий)	Місцевий	0 - 1 день (самовивіз або доставка по місту)
MobileParts Kyiv, GigaService	Національний	1 - 2 дні (доставка "Нова Пошта")
Samsung Parts, ACER- Service	Офіційний	7 - 14 днів (поставка зі складу дистриб'ютора)
China-Direct (Ali)	Міжнародний	20 - 45 днів (міжнародна логістика)

Джерело: складено автором.

Катастрофічний висновок діагностики: Система "мінімального залишку", що використовується "ProximaService", абсолютно сліпа до цієї колосальної різниці в часі :

- Вона застосовує один і той самий "інтуїтивний" Мін. залишок = 3 шт. і для деталі від Uparts Sumy (доставка 1 день), і для деталі від China-Direct (доставка 30 днів);
- Для постачальника з доставкою 1 день, цей мінімум може бути адекватним;

- Для постачальника з доставкою 30 днів, Мін. залишок = 3 шт. – це гарантований дефіцит завдовжки 29 днів. Весь цей залишок буде розпроданий задовго до того, як прибуде нова партія.

Таким чином, діагностика показує, що поточна система закупівель не здатна забезпечити необхідний рівень сервісу через повне ігнорування ключових логістичних факторів: реального попиту і, що найголовніше, – часу виконання замовлення.

1.2.4. Проведення комплексного ABC/XYZ-аналізу номенклатури

Діагностика процесу закупівлі в попередньому пункті чітко показала, що однією з ключових проблем є відсутність диференційованого підходу. Підприємство намагається управляти всією номенклатурою (від дорогих дисплеїв до дешевих мікросхем) за однаковим, інтуїтивним правилом "мінімального залишку". Це неминуче призводить до одночасного виникнення дефіциту за одними позиціями та надлишку за іншими.

Як буде теоретично обґрунтовано в Розділі 2, інструментом для вирішення цієї проблеми є комбінований ABC/XYZ-аналіз.

Методологія проведення аналізу: Під час діагностики було виявлено суттєву проблему в обліковій системі "ProximaService" – відсутність систематизованого збору даних про історичне споживання (продажі + списання на ремонт) за минулий рік. Облік ведеться лише за поточними залишками.

Для демонстрації самої методології та її потенціалу для підприємства, в рамках даної дипломної роботи було проведено симуляцію річного споживання (COGS - собівартості реалізованих запасів). Ця симуляція базувалася на:

1. Поточних залишках на складі;
2. Експертних оцінках менеджера та майстрів щодо популярності певних моделей;
3. Аналізі частоти попиту, виходячи з встановлених Мін. залишків.

Результати повного симульованого аналізу були збережені у файл `abc_xyz_analysis_full.csv` для подальшого використання в Розділі 3.

ABC-аналіз (за вартістю споживання).

На першому етапі ми проводимо ABC-аналіз, який базується на принципі Парето (Бродецький, 2019; Heizer, Render, & Munson, 2020). Він ранжує всі номенклатурні позиції (SKU) за їхнім внеском у загальну річну вартість споживання (Симульована річна кількість * Ціна закупівлі).

Загальна симульована річна вартість споживання (COGS) склала 1 231 910,00 грн. Розподіл номенклатури за групами ABC представлено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5.

Результати ABC-аналізу номенклатури "ProximaService"
(симульовані дані)

Клас	Кількість SKU (позицій)	Частка SKU, %	Річна вартість споживання, грн	Частка у вартості, %	Характеристика
A	10	45,45%	973 780,00	79,05%	Найцінніші позиції
B	6	27,27%	196 285,00	15,93%	Позиції середньої важливості
C	6	27,27%	61 845,00	5,02%	Дрібні, дешеві позиції
Разом	22	100,0%	1 231 910,00	100,0%	

Джерело: складено автором.

Аналіз Таблиці 1.5 чітко демонструє класичний закон Парето з певною специфікою:

- Група А ("життєво важливі"): Це лише 10 позицій (45% асортименту), але вони формують 79% усього грошового потоку, інвестованого в запаси протягом року. Це "зірки" та "дійні корови" бізнесу (наприклад, D-IP11-НС, B-IP11-ОЕМ). Помилка в управлінні ними (дефіцит) призводить до найбільших втрат;
- Група С ("незначні"): Це 6 позицій, які разом складають лише 5% від загальної вартості споживання. Витратити на них стільки ж часу, скільки на групу А, – неефективно.

Комбінований ABC/XYZ-аналіз (за вартістю та стабільністю)

Однак, ABC-аналіз є одновимірним. Він не каже нам, чи був попит на дорогу деталь *стабільним* (легко прогнозованим) чи *випадковим* (непрогнозованим). У зв'язку з цим ми додаємо XYZ-аналіз, де:

- X – стабільний попит (легко прогнозується);
- Y – мінливий, сезонний попит (прогнозується складніше);
- Z – випадковий, спорадичний, нерегулярний попит (неможливо точно спрогнозувати).

Об'єднання цих двох методів у матрицю 3x3 дає потужний інструмент для діагностики (Григорак, Марчук, & Гармаш, 2020; Шапіро, 2019). В табл. 1.6. представлена матриця розподілу SKU за 9 групами (включно з групою "D" – Dead stock, або неліквіди, які мали нульове споживання).

Таблиця 1.6.

Матриця ABC/XYZ-аналізу для "ProximaService" (кількість SKU)

	X (Стабільний)	Y (Мінливий)	Z (Випадковий)
A (Висока вартість)	10	0	0
B (Середня вартість)	2	2	2
C (Низька вартість)	0	0	6
D (Неліквіди)	0	0	2

Джерело: складено автором.

Ця матриця є, по суті, "картою проблем" існуючої системи:

- "Зірки" (AX): 10 найдорожчих позицій (дисплеї, акумулятори для iPhone 11) мають стабільний попит. Це ідеальна ситуація. Поточна "інтуїтивна" система управління для них є найгіршим з можливих рішень, оскільки вона не використовує цю стабільність для точного розрахунку страхового запасу;
- "Проблемні" (BZ, CZ): Ми бачимо 10 позицій (2+6+2), які мають нерегулярний, випадковий попит (група Z). Це найскладніші для управління товари. Поточна система "Мін. залишку" для них або створює

дефіцит (якщо мінімум=0), або накопичує неліквід (якщо мінімум > 0, а попиту немає);

- "Мертвий вантаж" (DZ): Найголовніший індикатор неефективності – 2 позиції з нульовим річним споживанням, які все ще лежать на складі. Це прямий результат закупівель "на око" або через помилку.

1.2.5. Розрахунок поточних показників ефективності

Матриця ABC/XYZ показала нам структурні проблеми. Тепер розрахуємо інтегральні фінансові показники, які оцінюють ефективність всієї системи управління запасами в цілому.

1) Коефіцієнт оборотності запасів (Inventory Turnover). Це ключовий фінансовий показник, що демонструє, скільки разів на рік підприємство "прокручує" (повністю продає та оновлює) свій середній складський запас (Міщенко, 2020).

$$\text{Коефіцієнт оборотності} = \frac{\text{Собівартість реалізованих запасів (COGS) за рік}}{\text{Середня вартість запасів на складі}}.$$

Використовуючи наші дані:

- Симульована річна вартість споживання (COGS): 1 231 910,00 грн;
- Поточна вартість запасів на складі (з п. 2.2.1): 122 970,00 грн (ми приймаємо її як середню для розрахунку).

$$\text{Оборотність} = \frac{1231910,00}{122970,00} \approx 10.02 \text{ разів на рік}.$$

Це означає, що в середньому товар лежить на складі 36.4 дні (365 днів / 10.02).

Для динамічного ринку ремонту електроніки, де ключові моделі (і, відповідно, запчастини до них) старіють кожні 1-2 роки, термін зберігання понад місяць (36.4 дні) є незадовільним. Це свідчить про низьку ефективність використання капіталу та високі ризики морального старіння (Харрісон & Ван Хоук, 2019).

2) Виявлення неліквідних та застарілих позицій (Dead Stock) . Це найбільш небезпечне явище для сервісного центру. Це запаси, які були закуплені, але попит на них зник (модель застаріла) або його ніколи й не було (помилка

закупівлі). Вони лежать "мертвим вантажем", заморожуючи гроші та займаючи місце.

Наш аналіз (група DZ з Таблиці 1.6) виявив:

- Кількість SKU неліквідних запасів: 2 позиції;
- Загальна вартість "мертвих" запасів: 8 250,00 грн.

Сума у 8 250 грн – це прямий та безповоротний збиток для підприємства, спричинений виключно неефективною системою управління. Ці гроші вже неможливо повернути, оскільки попит на ці позиції (наприклад, матриця для рідкісного ноутбука) дорівнює нулю.

3) Виявлення надлишкових запасів (Overstock). Це менш критична, але більш поширена проблема. Це позиції, на які попит є, але їх поточний залишок на складі значно перевищує будь-яку розумну потребу (наприклад, закуплено запас на рік вперед).

Наш аналіз виявив 1 SKU з явними ознаками надлишку (де К-ть на складі > Мін. залишок * 3). Вартість надлишкових запасів: 1 620,00 грн.

Ці гроші не втрачені остаточно (як "dead stock"), але вони "заморожені" на тривалий термін, що погіршує загальну оборотність.

По підрозділу 1.2: Діагностика існуючої практики показала, що система управління запасами на "ProximaService" є неформалізованою, реактивною та інтуїтивною. Це призводить до низки системних проблем, які тепер кількісно підтверджені:

1. Конфлікт попиту ("канібалізація" B2C-ремонтів B2B-продажами);
2. Ігнорування часу поставки, що веде до дефіциту;
3. Відсутність диференціації в управлінні (ABC/XYZ);
4. Як наслідок – низька оборотність (36.4 дні), прямі збитки у вигляді неліквідних запасів (8 250 грн) та "заморожені" кошти у надлишкових запасах (1 620 грн).

Ці проблеми безпосередньо призводять до збільшення середнього часу ремонту (як було виявлено в 2.1) та фінансових втрат, що доводить гостру необхідність розробки комплексної моделі оптимізації, чому і буде присвячений Розділ 3 даної роботи.

1.3. ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОБЛЕМ ТА «ВУЗЬКИХ МІСЦЬ» У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ

Проведений у підрозділі 1.2 всебічний аналіз поточної практики управління запасами на підприємстві "ProximaService" дозволив не лише виявити, але й чітко ідентифікувати та систематизувати ключові проблеми, які мають як кількісний (фінансовий), так і якісний (процесний) характер. Даний підрозділ присвячений узагальненню цих проблем та "вузьких місць", що є логічним підґрунтям для розробки заходів з оптимізації в Розділі 3.

Всі виявлені недоліки можна зобразити у вигляді "дерева проблем" (рис. 1.5), де "корінням" є якісні, процесні збої, а "короною" – видимі кількісні (фінансові) втрати.

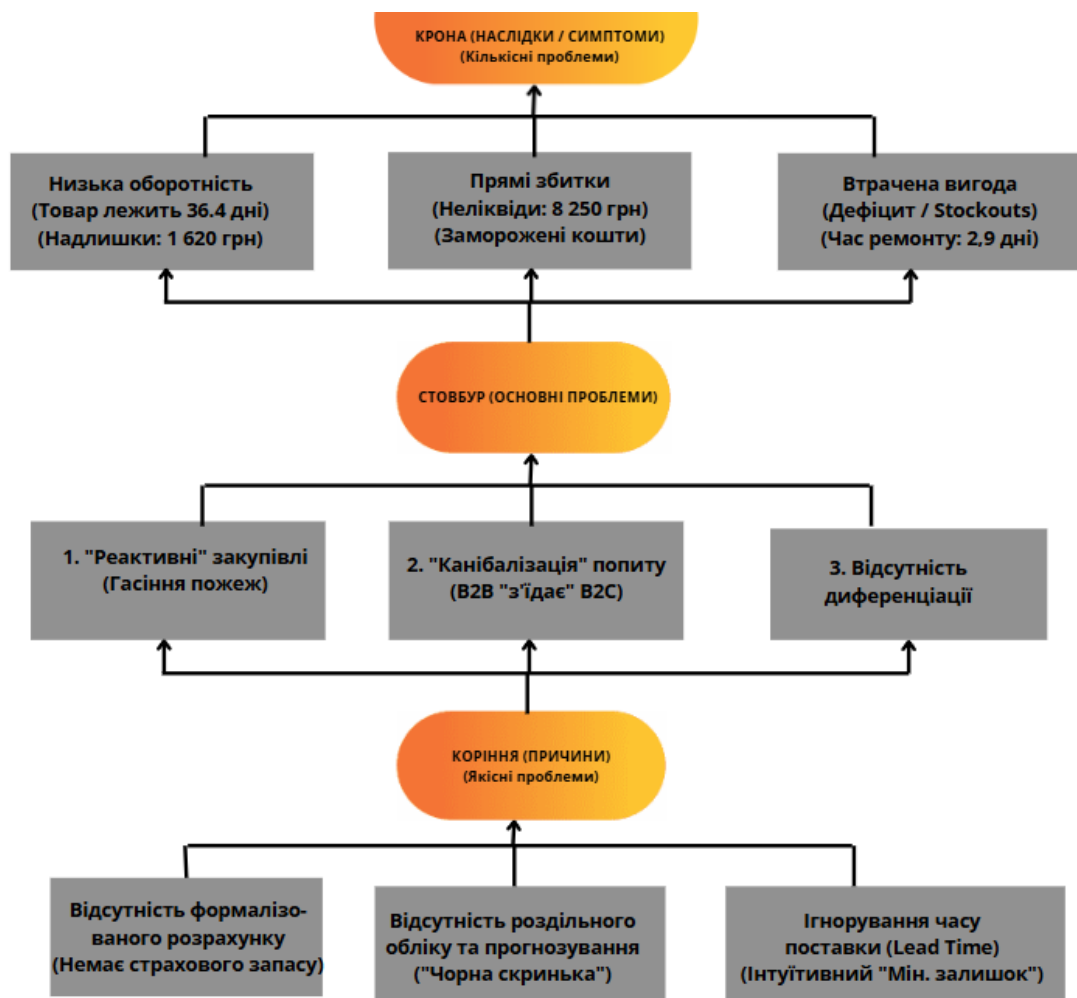


Рис. 1.5. Дерево проблем існуючої системи управління запасами

Джерело: розроблено автором.

1.3.1 Кількісна оцінка проблем (исправляй нумерацию)

Кількісна оцінка дозволяє виміряти прямий фінансовий та операційний збиток, якого зазнає підприємство через неефективність існуючої системи.

1. **Обсяг неліквідних запасів (Dead Stock):** Це найбільш небезпечний показник, що демонструє прямі та безповоротні фінансові втрати. Як показав аналіз (п. 2.2.5), на складі підприємства ідентифіковано 2 номенклатурні позиції (SKU), за якими симульоване річне споживання дорівнювало нулю, але які фізично перебувають на складі. Загальна вартість "мертвих" запасів становить 8 250,00 грн. Ця сума є прямим збитком, результатом помилкових закупівельних рішень, прийнятих без будь-якого прогнозування. Ці кошти "поховані" на балансі підприємства і вже ніколи не повернуться в обіг (Hadley & Whitin, 2018);
2. **Обсяг надлишкових запасів (Overstock):** Це показник неефективного використання капіталу. Аналіз виявив 1 SKU, поточний залишок якого значно перевищує будь-яку обґрунтовану потребу (п. 1.2.5). Вартість "заморожених" коштів у надлишкових запасах складає 1 620,00 грн. На відміну від неліквідів, ці кошти не втрачені остаточно, але вони вилучені з обігу на надто тривалий термін, що погіршує загальний показник оборотності (Бауерсокс & Клосс, 2020; Григорак, 2018);
3. **Частота виникнення дефіциту (Stockouts):** Прямий підрахунок кількості дефіцитів ускладнений через відсутність належного обліку "втрачених продажів". Однак, ми маємо чіткий кількісний індикатор-наслідок цієї проблеми, виявлений у підрозділі 1.1 Високий середній час ремонту – 2,9 дні. У конкурентному середовищі, де стандартом є ремонт "день в день" (1 день), показник у 2,9 дні є прямим свідченням того, що дефіцит ключових запчастин (stockout) є систематичним і високочастотним. Клієнт змушений чекати майже 2 додаткові дні саме тому, що необхідної деталі не виявилось на складі в момент його звернення, і її довелося замовляти. Це підтверджує, що існуюча система нездатна забезпечити необхідний рівень обслуговування (Service Level).

1.3.2 Якісна оцінка проблем (Корінні причини)

Якісна оцінка виявляє фундаментальні недоліки в самих бізнес-процесах, які й призводять до вищезазначених кількісних втрат.

1. **Відсутність формалізованих правил замовлення:** Діагностика (п. 1.2.3) показала, що процес закупівлі є "реактивним" ("гасінням пожеж"), а не "проактивним" (плановим). Рішення про замовлення приймаються інтуїтивно, на основі експертно встановленого "Мін. залишку", який не має жодного статистичного чи економічного обґрунтування. Система не відповідає на питання "Скільки замовляти?" (розмір партії) і "Коли замовляти?" (точка перезаказування);
2. **Несистемний підхід до визначення страхового запасу:** Це прямий наслідок попередньої проблеми. В існуючій системі поняття "страховий запас" як інструменту для компенсації мінливості попиту та термінів поставки відсутнє в принципі. "Мін. залишок" не виконує цієї функції, оскільки він: *a) Не враховує варіабельність попиту (XYZ-аналіз). b) Повністю ігнорує варіабельність термінів поставки (Lead Time), які коливаються від 1 дня (місцевий постачальник) до 45+ днів (Китай).* Саме це є корінною причиною систематичного дефіциту (stockouts);
3. **Відсутність роздільного прогнозування (Проблема "Чорної скриньки"):** Як було детально описано в п. 1.2.2, це фундаментальна вада облікової системи. Облік ведеться "загальним котлом", не розділяючи два абсолютно різні за своєю природою потоки попиту:
 - Внутрішній (Ремонт B2C): **Основний, пріоритетний потік** (формує основний прибуток за рахунок вартості послуг та створює лояльність клієнтів);
 - Зовнішній (Продаж B2B): **Додатковий потік** (забезпечує оборотність товарів, але має нижчу додану вартість порівняно з ремонтом). Через це менеджер "сліпий" – він не може адекватно прогнозувати потреби, що призводить до "канібалізації" запасів. Виникає ситуація, коли

додатковий B2B-продаж "перехоплює" останню деталь, яка була критично необхідна для виконання **пріоритетного** B2C-ремонту.

1.3.2 Обґрунтування необхідності розробки комплексної моделі

Проведена діагностика дозволяє звести всі виявлені проблеми в єдину систему (табл. 1.7), де чітко простежується зв'язок між якісними (процесними) недоліками та їх кількісними (фінансовими) наслідками.

Таблиця 1.7

Узагальнення проблем існуючої системи управління запасами

№	Якісна проблема (Корінна причина)	Кількісний прояв (Симптом/Наслідок)
1	Відсутність роздільного обліку та прогнозування попиту (B2C vs B2B).	"Канібалізація" пріоритетних ремонтів. Неможливість адекватного прогнозування.
2	Відсутність формалізованих правил замовлення та ігнорування термінів поставки (Lead Time).	Високий середній час ремонту (2,9 дні) через систематичний дефіцит (Stockouts).
3	Повна відсутність розрахунку страхового запасу (використання інтуїтивного "Мін. залишку").	Постійний дисбаланс: одночасний дефіцит за одними позиціями та надлишок за іншими.
4	Відсутність диференційованого підходу (ABC/XYZ-аналізу) до управління номенклатурою.	Низька оборотність (10.02) та довгий термін зберігання (36.4 дні). Прямі збитки у вигляді неліквідів (8 250 грн). "Заморожений" капітал у надлишках (1 620 грн).

Джерело: складено автором.

Сукупність виявлених проблем дозволяє, згідно з методами економічної діагностики (Загорна, 2020), ідентифікувати існуючу «ручну» систему управління як головне «вузьке місце» підприємства. Наявність такого обмеження, як зазначається в теорії логістичного менеджменту (Шапіро, 2019), безпосередньо стримує операційну ефективність та фінансовий розвиток. Вона генерує прямі збитки (неліквіди), "заморожує" обігові кошти (надлишки) та погіршує ключовий показник конкурентоспроможності – швидкість ремонту (дефіцит).

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ОПТОВО-РОЗДРІБНОГО ПРОФІЛЮ

2.1 СПЕЦИФІКА ТА РОЛЬ ЗАПАСІВ У ДІЯЛЬНОСТІ СЕРВІСНОГО ЦЕНТРУ

Актуальність ефективного управління запасами для підприємств у сфері послуг, зокрема для сервісних центрів з ремонту електроніки, важко переоцінити. На відміну від класичних торговельних підприємств, де запаси виступають виключно як товар для перепродажу, у сервісному бізнесі вони відіграють унікальну, подвійну роль (Григорак, 2018; Пеняк & Калиниченко, 2024). З одного боку, вони є виробничим ресурсом, без якого неможливо надати послугу ремонту. З іншого – це фінансовий актив, що акумулює значну частину обігових коштів підприємства (Бауерсокс & Клосс, 2020; Григорак, 2018).

Тому ефективність усієї бізнес-моделі сервісного центру напряду залежить від здатності менеджменту знаходити баланс між підтриманням достатнього рівня запасів для задоволення мінливого попиту клієнтів (забезпечення високої швидкості ремонту) та мінімізацією витрат на їх закупівлю, зберігання і ризиком їх морального старіння, що є особливо критичним для сфери електроніки (Алесинська, 2019; Герасимчук, 2019).

Поняття запасів у сфері ремонту

Структура запасів у сервісному центрі має свою чітку специфіку. Вона є різномірною і значно складнішою, ніж у звичайній торгівлі. На практиці доцільно виділити чотири основні групи запасів:

- **Запчастини (Spare Parts):** Це готові до встановлення вузли, модулі або блоки, призначені для повної заміни несправних елементів пристрою. Вони становлять основну і, як правило, найціннішу частину складських запасів. Приклади: дисплейні модулі в зборі, акумуляторні батареї, материнські плати, модулі камер, шлейфи, корпусні деталі;

- **Компоненти (Components):** Це окремі радіоелектронні елементи (РЕЕ), що використовуються інженерами для складного компонентного ремонту на рівні плати (т.зв. "пайки"). Ця категорія вимагає високої кваліфікації персоналу та спеціалізованого обладнання, має схожість з аптечним управлінням запасами (Посилкіна, 2019). Приклади: мікросхеми (контролери живлення, аудіокодеки), SMD-конденсатори, резистори, транзистори, роз'єми (USB, SIM);
- **Витратні матеріали (Consumables):** Матеріали, які повністю споживаються в процесі діагностики або ремонту і не стають прямою частиною відремонтованого виробу, але є технологічно необхідними для його виконання. Приклади: припій, флюс, термопаста, засоби для чищення плат (ізопропіловий спирт), спеціалізований клей, двосторонній скотч для проклейки дисплеїв;
- **Донорські пристрої (Donor Devices):** Це несправні, застарілі або списані пристрої, які утримуються на складі з метою демонтажу (розбирання) на окремі оригінальні компоненти. Вони є важливим джерелом для ремонту рідкісних моделей або у випадках, коли нові запчастини вже не виробляються.

Класифікація запасів

Для того, щоб ефективно управляти всією номенклатурою, її необхідно правильно класифікувати. У контексті нашого дослідження, найбільш важливими є критерії, представлені в табл. 2.1 (Григорак, Марчук, & Гармаш, 2020; Уотерс, 2019).

Таблиця 2.1.

Комплексна класифікація запасів сервісного центру

Критерій класифікації	Вид запасу	Характеристика та ключові особливості	Приклади
1. За походженням	Оригінальні (Original / GEN)	Вироблені виробником обладнання (Apple, Samsung). Найвища якість та повна сумісність. Найвища ціна.	Оригінальний дисплейний модуль від Samsung.

Продовження табл. 2.1

	OEM (Original Equipment Manufacturer)	Вироблені сторонньою компанією за стандартами виробника. Якість, ідентична оригіналу. Оптимальне співвідношення ціни та якості.	Мікросхема контролера живлення від Texas Instruments.
	Копії (Copy / Aftermarket)	Вироблені сторонніми компаніями. Якість може значно варіюватися (від "High-Copy" до низькопробних). Найнижча ціна.	Акумуляторна батарея для iPhone від стороннього виробника.
2. За функціональним призначенням	Основні	Безпосередньо використовуються для заміни несправних елементів та відновлення функціональності пристрою.	Материнська плата, камера, динамік.
	Допоміжні (Витратні)	Споживаються в процесі ремонту, є технологічно необхідними.	Припій, флюс, клей для фіксації дисплея.
	Страхові	Резерв, призначений для запобігання дефіциту у разі коливань попиту або затримок поставок.	Додаткові 10-15 одиниць екранів для найпопулярнішої моделі.
3. За частотою попиту	Високочастотні (Fast-Moving)	Позиції з постійним та стабільним попитом.	Акумулятори та екрани для популярних моделей iPhone.
	Середньочастотні (Medium-Moving)	Позиції з помірним, але регулярним попитом.	Роз'єми зарядки для конкретної лінійки ноутбуків.
	Низькочастотні (Slow-Moving)	Позиції, попит на які виникає рідко та непередбачувано. Високий ризик стати неліквідним товаром.	Мікросхема для рідкісної або застарілої моделі планшета.

Джерело: складено автором.

Кожен із цих методів класифікації слугує основою для подальшого аналізу та вибору моделі управління. Наприклад, класифікація за походженням впливає на ціноутворення послуги, а класифікація за частотою попиту є ключовою для розрахунку точки замовлення та страхового запасу.

Вплив управління запасами на операційну ефективність та конкурентоспроможність

Необхідно підкреслити, що система управління запасами має прямий і вирішальний вплив на всі ключові показники діяльності сервісного центру (Шрайбфедер, 2020). Цей вплив можна розділити на два основні напрямки: операційний (внутрішній) та конкурентний (зовнішній), що деталізовано в табл. 2.2.

Таблиця 2.2.

Вплив управління запасами на ключові показники діяльності сервісного центру

Напрямок впливу	Ключовий показник	Опис впливу
Вплив на операційну ефективність (внутрішній)	Швидкість виконання ремонту	Наявність потрібної запчастини на складі є головним фактором, що дозволяє виконати ремонт "день в день" або протягом кількох годин.
	Продуктивність праці майстрів	Відсутність деталей призводить до простоїв кваліфікованих інженерів, що знижує загальну кількість виконаних ремонтів та збільшує собівартість послуги.
	Оптимізація обігових коштів	Надлишкові запаси (overstock) "заморожують" фінансові ресурси, які могли б бути інвестовані в розвиток чи маркетинг.
	Витрати на зберігання та ризик неліквідів	Зберігання непотрібних, а особливо застарілих запчастин (dead stock), перетворюється на прямі фінансові збитки для компанії.
Вплив на конкурентоспроможність (зовнішній)	Рівень клієнтського сервісу (Service Level)	Швидкий ремонт формує лояльність клієнтів. Дефіцит (out-of-stock) та довге очікування призводять до втрати клієнтів, які йдуть до конкурентів.

	Цінова політика	Ефективна система закупівель та вибір оптимальних за ціною/якістю постачальників (баланс OEM та Копій) дозволяє формувати конкурентні ціни на послуги.
	Репутація та імідж	Сервіс, здатний вирішити складну проблему завдяки наявності рідкісних компонентів, завойовує репутацію експерта на ринку.
	Асортимент послуг	Добре продумана номенклатура запасів дозволяє сервісу працювати з широким спектром моделей та брендів, тим самим охоплюючи більший сегмент ринку.

Джерело: складено автором.

Можна стверджувати, що запаси у сервісному центрі є не просто пасивною статтею витрат, а активним інструментом у конкурентній боротьбі. Побудова ефективної моделі управління є не просто операційним завданням обліку, а стратегічною необхідністю, що дозволяє одночасно підвищити внутрішню ефективність, знизити витрати та зміцнити ринкові позиції підприємства (Шапіро, 2019; Heizer, Render, & Munson, 2020).

2.2. АНАЛІЗ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ, АДАПТОВАНИХ ДО СФЕРИ ПОСЛУГ

Переходячи від специфіки запасів до методології управління ними, необхідно проаналізувати існуючий теоретичний апарат. В теорії управління запасами виділяють два фундаментально різні підходи: детермінований (що базується на припущенні про повну визначеність попиту) та стохастичний (що враховує випадковий, імовірнісний характер попиту). Для сфери послуг, і особливо для сервісного центру з ремонту електроніки, де попит на запчастини є за своєю природою непередбачуваним, вибір адекватної моделі є критичним завданням.

2.2.1 Огляд класичних детермінованих моделей (модель EOQ) та їх обмеження

Найбільш відомою детермінованою моделлю є модель економічно обґрунтованого розміру замовлення (EOQ, Economic Order Quantity) (Бродецький, 2019; Шрайбфедер, 2020), також відома як формула Вілсона. Її основна мета – знайти такий оптимальний розмір партії замовлення, при якому сукупні витрати на управління запасами (що складаються з витрат на розміщення замовлення та витрат на зберігання) будуть мінімальними.

Класична формула EOQ має вигляд (Алесинська, 2019; Геєць та ін., 2005):

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot S}{H}},$$

де:

- D – річний попит на запчастину (постійний та відомий);
- S – фіксовані витрати на розміщення одного замовлення;
- H – річні витрати на зберігання однієї одиниці запасу.

Незважаючи на свою теоретичну важливість та простоту, дана модель має критичні обмеження при застосуванні в умовах сервісного центру з ремонту електроніки (Глушчевський, 2020; Лукінський, 2020):

1. **Припущення про постійний попит:** Модель EOQ базується на тому, що попит є відомим, постійним та рівномірним протягом року. В реальності сервісного центру, попит на ремонт (а отже, і на запчастини) є стохастичним (випадковим), нерегулярним та "переривчастим" (lumpy). Клієнти не планують поломки своїх пристроїв.
2. **Миттєве поповнення:** Модель припускає, що замовлення надходить на склад миттєво. На практиці терміни поставки запчастин (lead time), особливо з-за кордону, не тільки не нульові, але й самі по собі є мінливою величиною.
3. **Ігнорування дефіциту:** Класична модель не враховує збитки від дефіциту (out-of-stock), які для сервісного центру є колосальними – це втрачений клієнт, простій майстра та удар по репутації.

4. Ризик морального старіння: Модель EOQ може запропонувати закупівлю великої партії для економії на замовленні, але вона не враховує високий ризик морального старіння запчастин для електроніки, де модельний ряд пристроїв оновлюється щороку.

Таким чином, детерміновані моделі можуть бути використані лише для дуже обмеженого кола витратних матеріалів (група СХ, як буде показано далі), але вони абсолютно неадекватні для управління основним асортиментом запчастин.

2.2.2 Стохастичні моделі управління запасами як основний інструмент

Саме стохастичні моделі є основним робочим інструментом для сервісного центру, оскільки вони за своєю суттю призначені для роботи в умовах невизначеності попиту та термінів поставки (Вітлінський & Скіцько, 2018; Heizer et al., 2020). Ці моделі дають відповідь на два ключові питання: "Коли замовляти?" і "Скільки замовляти?".

Вони вводять два фундаментальні поняття:

- 1. Точка перезамоулення (Reorder Point, ROP):** Це той рівень залишку на складі, при досягненні якого необхідно негайно розмішувати нове замовлення. Вона розраховується так, щоб нового запасу вистачило якраз на час, поки виконується поточне замовлення.
- 2. Страховий запас (Safety Stock, SS):** Це "буферний" запас, який компанія утримує понад середній очікуваний попит. Його єдина мета – захистити бізнес від дефіциту у випадку раптового сплеску попиту або непередбачуваної затримки поставки (Вовчак, 2021).

Враховуючи стохастичну природу процесів у сервісному центрі, де і попит, і час поставок є випадковими величинами, класична формула потребує модифікації. Математична модель розрахунку точки перезамоулення (Reorder Point), що враховує ймовірнісні відхилення, набуває наступного вигляду:

$$ROP = \bar{d} \cdot \bar{L} + Z \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{\bar{L}},$$

де:

- ROP — точка перезамовлення (рівень запасу, при досягненні якого формується замовлення);
- $\bar{d}$ — математичне сподівання (середнє значення) денного попиту;
- $\bar{L}$ — середній час виконання замовлення (Lead Time) у днях;
- Z — коефіцієнт надійності (значення нормального розподілу), що відповідає обраному рівню обслуговування (Service Level);
- σ_d — середньоквадратичне (стандартне) відхилення попиту, що характеризує міру випадкового розсіювання значень попиту відносно середнього;
- $Z \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{\bar{L}}$ — величина, що становить страховий запас (\$\$\$\$), необхідний для покриття випадкових сплесків попиту.

Такий підхід дозволяє формалізувати ризики: замість інтуїтивного додавання "пари штук про запас", ми розраховуємо SS на основі історичної волатильності (σ_d) та заданої ймовірності уникнення дефіциту (Z).

У сучасній практиці логістичного менеджменту виділяють три основні стратегії контролю рівня запасів, які адаптуються під різні групи товарів:

- **Система з фіксованим розміром замовлення (Model (Q, R) або Q-система).** Суть цієї моделі полягає у безперервному контролі рівня запасів. Як тільки залишок на складі опускається до певної порогової величини — точки перезамовлення (Reorder Point, ROP), система автоматично формує замовлення на фіксовану, заздалегідь розраховану кількість товару (Q). Ця модель є найбільш ефективною для дорогих товарів (група А), оскільки дозволяє мінімізувати страхові запаси, але вимагає постійного моніторингу залишків.
- **Система з фіксованим інтервалом часу (Model (T, S) або P-система).** У цій моделі контроль залишків здійснюється не постійно, а через рівні проміжки часу (період T). На момент перевірки робиться замовлення такої

кількості товару, щоб поповнити запас до встановленого максимального рівня (S). Ця система краще підходить для товарів середньої вартості або коли зручно об'єднувати замовлення різної номенклатури в одну поставку від одного постачальника.

- **Система «двох бункерів» (Two-bin system).** Це спрощена візуальна система управління, що не вимагає ведення суворого електронного обліку. Весь запас фізично ділиться на дві частини: робочу (перший бункер) та резервну (другий бункер). Використання резервного запасу є сигналом для нового замовлення. Цей метод широко використовується для дешевих витратних матеріалів (група C), де витрати на детальний облік перевищують вартість самого товару.

2.2.3 Методи класифікації асортименту: ABC, XYZ, FMR-аналіз

Проблема полягає в тому, що сервісний центр може мати в номенклатурі тисячі позицій (SKU) – від дорогих дисплеїв до дешевих конденсаторів. Застосовувати складні стохастичні розрахунки до кожної позиції недоцільно та неможливо.

Саме тому ключовим кроком до впровадження ефективної системи є диференційований підхід, що базується на класифікації асортименту.

ABC-аналіз (за вартістю споживання). Базується на принципі Парето (80/20). Він розділяє всю номенклатуру за ступенем внеску у загальну вартість споживання (або у виручку/прибуток) (Григорак, Марчук, & Гармаш, 2020; Харрісон & ван Хоук, 2019):

- Група А: Найважливіші позиції (10-20% номенклатури), які дають 70-80% загальної вартості споживання. (Наприклад, екрани для популярних моделей iPhone). Вимагають найжорсткішого контролю, точного прогнозування;
- Група В: Позиції середньої важливості (близько 30% номенклатури, 15-20% вартості). Вимагають стандартного контролю;

- Група С: Низьковартісні позиції (50-60% номенклатури, 5-10% вартості). (Наприклад, гвинти, дешеві роз'єми, витратні матеріали). Вимагають спрощеного контролю (наприклад, "система двох кошиків").

XYZ-аналіз (за стабільністю/регулярністю попиту). Цей аналіз класифікує запаси не за вартістю, а за можливістю їх прогнозування:

- Група Х: Позиції з високостабільним, регулярним попитом і низьким коефіцієнтом варіації. Легко прогнозуються;
- Група Y: Позиції з мінливим попитом, що має певні тенденції або сезонність. Прогнозування можливе, але складне;
- Група Z: Позиції з нерегулярним, спорадичним ("lumpy") попитом. Прогнозування практично неможливе. (Наприклад, запчастина для рідкісної або застарілої моделі).

FMR-аналіз (за частотою попиту). Схожий на XYZ-аналіз, але часто є більш доречним для сервісних центрів. Він класифікує попит за частотою звернень (Hadley, G., & Whitin, T. M., 2018):

- F (Fast-Moving): Високочастотний попит;
- M (Medium-Moving): Середньочастотний попит;
- R (Slow-Moving): Низькочастотний (рідкісний) попит.

Це дозволяє чітко відокремити позиції, які потрібні щодня, від тих, що потрібні раз на квартал.

2.2.4 Важливість комбінованого ABC/XYZ-аналізу

Використання лише одного методу дає неповну картину. Наприклад, позиція може бути дешевою (Група С), але критично важливою і стабільно потрібною (Група Х). Або, навпаки, дорогою (Група А), але потрібною вкрай рідко (Група Z).

Комбінований ABC/XYZ-аналіз дозволяє розробити диференційовану політику управління для кожної з 9 отриманих груп, що є фундаментом для оптимізації запасів (Шеремет, 2018) у Розділі 3 (табл. 3.3).

Таблиця 2.3

Матриця стратегій управління запасами на основі ABC/XYZ-аналізу

	X (Стабільний попит)	Y (Мінливий попит)	Z (Нерегулярний попит)
A (Висока вартість)	Група AX: Найважливіша група. Точне прогнозування. Розрахунок страхового запасу (SS) за стохастичними моделями. Високий рівень сервісу (95-99%).	Група AY: Аналогічно AX, але з більш складними моделями прогнозування (напр., експоненційне згладжування) та вищим SS через мінливість.	Група AZ: "Проблемна" група. Висока вартість + неможливість прогнозу. Стратегія: "Замовлення під клієнта". Зберігання на складі вкрай ризиковане (ризик неліквіду).
B (Середня вартість)	Група BX: Стандартні стохастичні моделі з точкою перезаказування. Автоматизоване замовлення.	Група BY: Стандартні моделі з дещо завищеним страховим запасом. Періодичний контроль.	Група BZ: Спроба утримувати мінімальний страховий запас (1-2 шт.) або робота "під замовлення".
C (Низька вартість)	Група CX: Спрощені методи управління (напр., "система двох кошиків"). Замовлення великими партіями. Високий страховий запас (дешевий у зберіганні).	Група CY: Аналогічно CX. Замовлення великими партіями для покриття мінливості. Контроль раз на квартал.	Група CZ: "Мертвий" запас. Позиції, які майже не потрібні. Стратегія: Не зберігати на складі. Замовляти лише за фактом потреби.

Джерело: розроблено автором на основі (Сумець та ін., 2021; Heizer et al., 2020).

Таким чином, комбінований аналіз дозволяє сервісному центру припинити управляти всіма запасами "в середньому" і почати застосовувати адекватні

інструменти (від складних стохастичних моделей до простих візуальних систем) до кожної конкретної групи, максимізуючи рівень сервісу при одночасній мінімізації витрат.

2.3. МОДЕЛЮВАННЯ ПОПИТУ НА ЗАПАСНІ ЧАСТИНИ ТА ПОСЛУГИ З РЕМОНТУ

Побудова будь-якої ефективної системи управління запасами, чи то детермінованої, чи стохастичної (як було розглянуто в 2.2), неможлива без ключового елемента – прогнозування попиту. Саме прогноз є тією вхідною інформацією, на основі якої розраховуються і оптимальний розмір замовлення, і точка перезамовлення, і, що найважливіше, – розмір страхового запасу.

Однак у випадку сервісного центру з ремонту електроніки, прогнозування стикається з низкою фундаментальних проблем, зумовлених самою природою попиту на послуги з ремонту.

2.3.1 Особливості попиту на запчастини: переривчастий (lumpy), нерегулярний характер

Попит на запчастини в сервісному центрі кардинально відрізняється від попиту, наприклад, на товари в супермаркеті. Він не є плановим; клієнти не планують ламати свої пристрої. Поломка – це випадкова, стохастична подія. Це призводить до того, що попит на більшість номенклатурних позицій (особливо з груп Y та Z за XYZ-аналізом) має специфічний характер, який в теорії управління запасами називають "переривчастим" (intermittent) або "спорадичним" (lumpy demand) (Lewis, 2019; Silver, Pyke, & Thomas, 2017).

Ключові характеристики такого попиту:

- Наявність довгих періодів нульового попиту: Протягом багатьох днів або навіть тижнів запчастина може не знадобитися нікому.
- Випадкові, непередбачувані "сплески": Після періоду "тиші" може раптово виникнути попит на одну або одразу декілька одиниць.
- Висока варіативність: Середнє значення попиту є низьким, але коефіцієнт варіації – екстремально високий.

Наочно різницю між класичним "гладким" та переривчастим попитом показано на рис. 2.1.

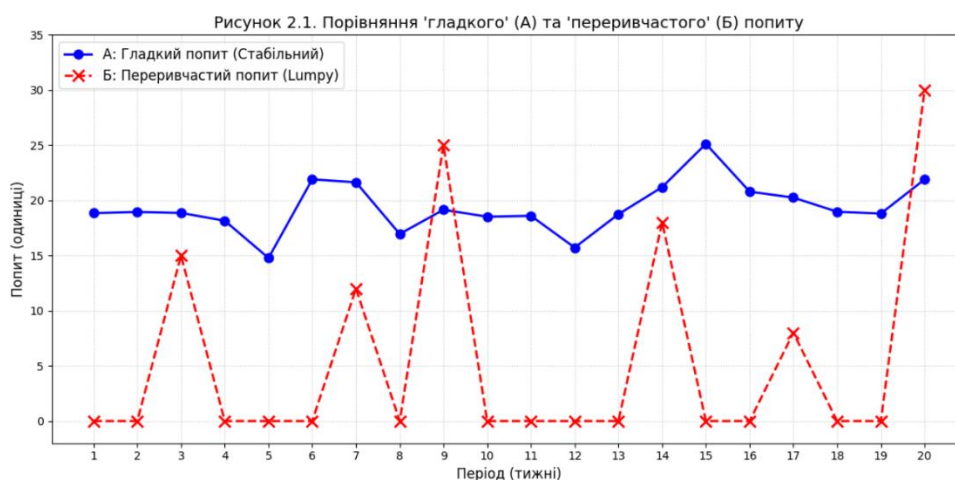


Рис. 2.1. Порівняння "гладкого" (А) та "переривчастого" (Б) попиту

Джерело: розроблено автором.

Застосування класичних методів прогнозування (наприклад, простого ковзного середнього) до даних переривчастого попиту дає абсолютно неадекватні результати (Syntetos & Boylan, 2005). Середнє значення (наприклад, 0.6 одиниць на тиждень) не має жодного фізичного сенсу і не дає відповіді на питання, скільки ж одиниць тримати на складі. Водночас, метод ковзного середнього доцільно застосовувати диференційовано: він є ефективним для витратних матеріалів та типових запчастин зі стабільним споживанням (категорії X та Y за результатами XYZ-аналізу). Для запчастин стохастичного (випадкового) попиту (категорія Z) прогноз використовується лише як базовий індикатор, а основний наголос робиться на нормування страхового запасу. Порівняльні характеристики типів попиту наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Порівняльна характеристика типів попиту

Характеристика	"Гладкий" (Smooth) Попит (н-д, хліб)	"Переривчастий" (Lumpy) Попит (запчастини)
Частота	Постійний, щоденний	Рідкісний, спорадичний
Періоди нулів	Майже відсутні	Домінують (багато нульових періодів)

Варіабельність	Низька	Екстремально висока
Прогнозування	Легке (ковзне середнє, сезонність)	Дуже складне (класичні методи не працюють)

Джерело: розроблено автором.

2.3.2 Методи прогнозування для нерегулярного попиту

Враховуючи стохастичну природу попиту в сервісних центрах, просте усереднення історичних даних не дає достатньої точності прогнозу. Тому в сучасній теорії управління запасами використовується ряд спеціалізованих математичних моделей, вибір яких залежить від характеру часового ряду (гладкий, сезонний або переривчастий). Розглянемо детально методи, що є найбільш релевантними для предметної області дослідження.

1. Метод експоненційного згладжування (Exponential Smoothing)

Це група методів ("сім'я"), яка базується на ідеї, що останні спостереження містять більше інформації про майбутній попит, ніж старі дані. Вага даних зменшується експоненційно з часом.

Модель Брауна (Просте експоненційне згладжування). Це базовий метод для стаціонарних рядів (без тренду та сезонності). Він ідеально підходить для товарів групи X та Y з відносно стабільним споживанням (наприклад, витратні матеріали). Математична модель має вигляд:

$$F_{t+1} = a \cdot Y_t + (1 - a) \cdot F_t,$$

де:

- F_{t+1} — прогноз на наступний період;
- F_t — прогноз, зроблений на попередній період;
- Y_t — реальне значення попиту за попередній період;
- a — константа згладжування (коефіцієнт адаптації), $0 < a < 1$.

Якщо a близьке до 1, модель швидко реагує на зміни (але може реагувати на випадкові шуми). Якщо a близьке до 0, прогноз є дуже плавним і консервативним.

Моделі для складних рядів. Оскільки попит на запчастини може мати тренд (наприклад, зростання популярності моделі телефону) або сезонність, "сім'я" методів включає також:

- Модель Хольта (Holt's Linear Trend Method): додає друге рівняння для відстеження тренду. Використовує дві константи згладжування (α і β).
- Модель Хольта-Вінтерса (Holt-Winters Seasonal Method): враховує і тренд, і сезонні коливання. Це найбільш складна модель "сім'ї", що використовує три параметри згладжування (α, β, γ). Вона є доцільною для прогнозування попиту на сезонні товари (наприклад, дисплеї в зимовий період).

2. Метод Кростона (Croston's Method) для переривчастого попиту

Класичні методи (включно з моделлю Брауна) дають велику похибку при роботі з "рваним" попитом (lumpy demand), коли в часовому ряді багато нулів. Для сервісного центру, де запчастина може не продаватися тижнями, а потім знадобитися у кількості 2-3 штук, стандартне згладжування видасть прогноз на кшталт "0.45 штуки", що не має фізичного змісту і призводить до хибних рішень про закупівлю.

Дж. Кростон (1972) запропонував метод, який розділяє прогноз на дві незалежні складові, що оновлюються тільки в моменти, коли попит фактично виникає (не дорівнює нулю).

Алгоритм методу Кростона включає наступні кроки (Croston, 1972):

1. Розмір попиту (Z_t): Прогнозується середній обсяг замовлення, коли воно відбувається. Оновлюється за формулою експоненційного згладжування:

$$Z_t = a \cdot Y_t + (1 - a) \cdot Z_{t-1}$$

2. Інтервал між замовленнями (P_t): Прогнозується середня кількість періодів часу між двома ненульовими попитами (q — кількість періодів з моменту останнього продажу):

$$P_t = a \cdot q + (1 - a) \cdot P_{t-1}$$

3. Фінальний прогноз (F_t): Розраховується як відношення прогнозованого розміру до прогнозованого інтервалу:

$$F_t = \frac{Z_t}{P_t}$$

Цей підхід дозволяє коректно оцінити середню потребу в запчастинах групи Z, не "розмазуючи" попит по нульових періодах, і є стандартом для управління запасами запасних частин (MRO).

3. Метод Bootstrapping (Статистичне моделювання)

Цей метод належить до класу імітаційних (simulation) і не використовує аналітичних формул для виведення тренду. Його суть полягає у багаторазовому випадковому виборі (семплюванні) значень з історичного ряду попиту для створення тисяч можливих сценаріїв майбутнього (відомий як метод "витягування з поверненням") (Геєць та ін., 2005).

Для сервісного центру цінність методу полягає не стільки в отриманні одного числа прогнозу, скільки в оцінці ймовірнісного розподілу попиту. Bootstrapping дозволяє відповісти на питання: "Яка ймовірність того, що сумарний попит за час поставки перевищить 5 одиниць?". Хоча метод часто критикується за те, що він лише "роздуває" вибірку, не додаючи нової інформації, в умовах малої кількості даних про рідкісні запчастини він є ефективним інструментом для розрахунку рівня страхового запасу (Safety Stock).

Порівняльний аналіз цих методів та їх застосовність для сервісного центру наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Порівняльний аналіз методів прогнозування

Метод	Сутність методу	Застосування в сервісному центрі
Експоненційне згладжування	Надає більшої ваги новим даним, ніж старим.	Тільки для стабільних позицій (Групи X, Y). Погано працює з довгими періодами нулів.

Метод Кростона	Розділяє прогноз на два: 1) Розмір попиту (коли він є). 2) Інтервал між попитами.	Основний метод для позицій груп Y та Z. Спеціально створений для переривчастого попиту.
Bootstrapping (Симуляція)	Генерує тисячі можливих сценаріїв майбутнього на основі минулих даних.	Найбільш точний, але складний. Дає розподіл ймовірностей (напр., "95% ймовірність, що попит < 5 шт."). Ідеально для розрахунку страхового запасу для групи АХ.

Джерело: складено автором на основі (Lewis C. D, 2019; Syntetos A. A., & Boylan J. E., 2005)

2.3.3 Критерії ефективності системи управління запасами

Для того, щоб оцінити існуючу на підприємстві систему (що буде зроблено в Розділі 2) та обґрунтувати ефективність запропонованої моделі (в Розділі 3), необхідно ввести чіткі ключові показники ефективності (KPI).

Оцінка ефективності системи управління запасами базується на системі ключових показників (KPI). Важливо зазначити, що між цими показниками існує фундаментальний конфлікт цілей, який вимагає пошуку компромісу:

- **Максимізація рівня обслуговування:** Прагнення задовольнити 100% заявок клієнтів вимагає утримання великих страхових запасів, що призводить до зростання витрат;
- **Мінімізація логістичних витрат:** Прагнення зекономити на зберіганні та закупівлях веде до зменшення запасів, що підвищує ризик дефіциту та втрати клієнтів.

Основні показники, що відображають цей баланс, наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6.

Ключові показники ефективності системи управління запасами

Критерій (KPI)	Що вимірює? (Сутність)	Формула (спрощено)	Стратегічний конфлікт
Рівень обслуговування (Service Level)	% запитів, задоволених негайно зі складу. (Клієнтський показник)	$SL = \frac{N_{sat}}{N_{total}} \times 100\%$ N _{sat} – кількість задоволених N _{total} – загальна кількість клієнтів	Збільшення SL (добре) вимагає збільшенню страхового запасу, що зменшує оборотність.
Коефіцієнт оборотності запасів	Скільки разів "прокрутився" склад за рік. (Фінансовий показник)	$K_{ob} = \frac{S}{Z_{avg}}$ S (або COGS) – собівартість реалізованих товарів за рік; Z _{avg} – середня вартість запасів на складі.	Збільшення оборотності (добре) означає зменшенню запасів, що збільшує ризик дефіциту.
Вартість зберігання (Holding Costs)	Прямі витрати на утримання запасів (капітал, склад, старіння).	(Вартість капіталу + Складські витрати + Ризик старіння)	Зменшення цих витрат вимагає зменшення запасів.
Збитки від дефіциту (Stockout Costs)	Втрати (прямі і непрямі) через відсутність деталі.	(Втрачена маржа + Простої майстрів + Втрачені клієнти)	Зменшення цих збитків вимагає збільшення запасів.

Джерело: розроблено автором.

Таким чином, головне завдання моделювання, яке вирішується в даній дипломній роботі, – це знаходження оптимального балансу між цими конфліктуючими цілями.

Цей конфлікт можна зобразити графічно (рис. 2.2). Існує оптимальна точка рівня запасу, в якій сума витрат на зберігання та збитків від дефіциту є мінімальною. Завдання системи управління – знайти і підтримувати запас саме в цій точці.

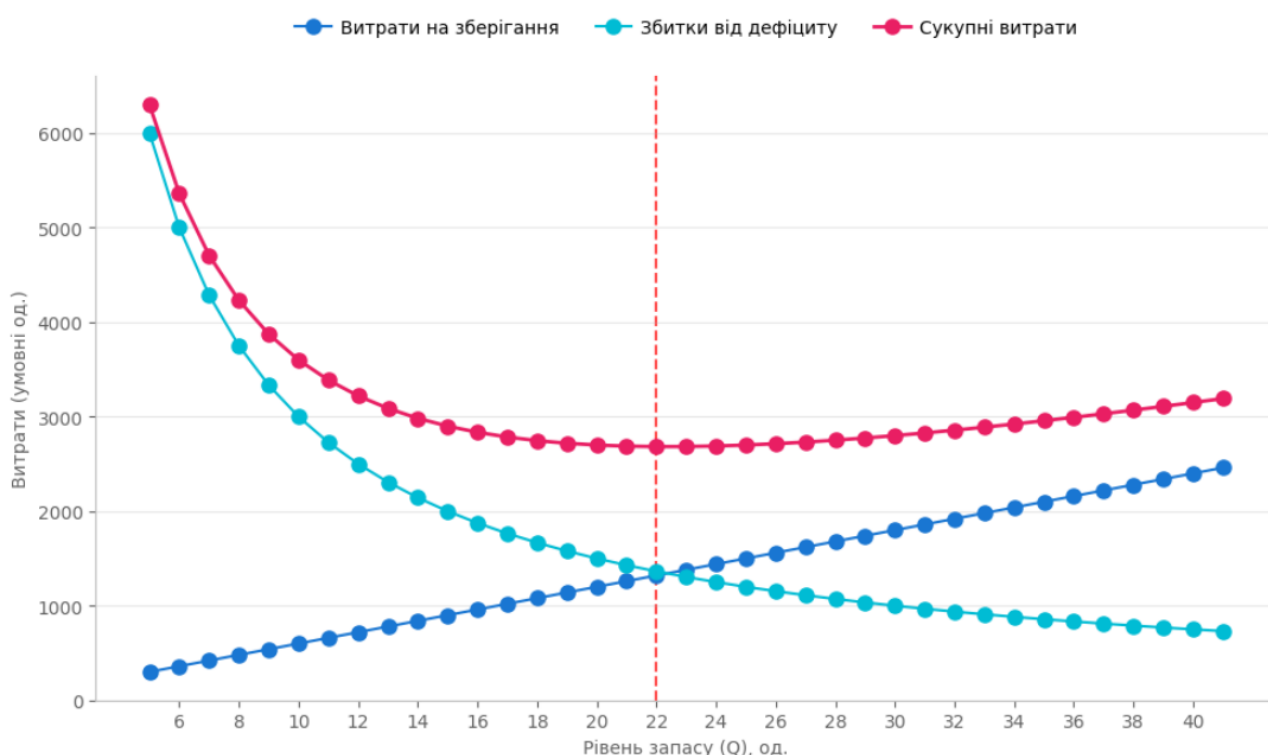


Рис. 2.2. Схема балансування сукупних витрат на управління запасами

Джерело: розроблено автором.

Отже, теоретичний аналіз показує, що для сервісного центру з ремонту електроніки не підходять класичні моделі (Чухрай, 2018). Необхідна диференційована система, що поєднує:

1. **ABC/XYZ-класифікацію** (для розділення номенклатури).
2. **Спеціалізовані методи прогнозування** (Метод Кростона) для нерегулярного попиту.
3. **Стохастичні моделі** (розрахунок страхового запасу) для визначення точки замовлення.
4. **Чітку систему КРІ** для оцінки балансу між рівнем сервісу та витратами.

Саме розробка такої комплексної моделі на основі даних "ProximaService" є метою Розділу 3 даної роботи.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ДЛЯ "PROXIMASERVICE"

3.1. ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ

3.1. Розробка диференційованої політики управління запасами на основі ABC/XYZ-класифікації

На основі проведеного у другому розділі діагностичного аналізу системи управління запасами «ProximaService» було виявлено, що застосування уніфікованого підходу до всієї номенклатури (єдиний «мінімальний залишок») є економічно неефективним. Це призводить до заморожування обігових коштів у надлишкових запасах (групи C і Z) та одночасного виникнення дефіциту критично важливих позицій (групи A і X).

Для вирішення цієї проблеми у даному розділі пропонується впровадження диференційованої політики управління запасами. Сутність пропонованого підходу полягає у відмові від інтуїтивного управління та переході до алгоритмізованих стратегій, які адаптовані під специфіку кожної групи товарів, визначеної за результатами матричного ABC/XYZ-аналізу (Григорак, Марчук, & Гармаш, 2020; Hadley & Whitin, 2018) (див. п. 1.2.4).

3.1.1. Формування матриці стратегій управління

Базуючись на статистичних даних про продажі та споживання запчастин за 2023-2024 рр., нами було розроблено матрицю стратегічних рішень для «ProximaService». Для кожної з 9 груп матриці визначено оптимальний метод поповнення запасів, цільовий рівень обслуговування (Service Level) та метод контролю (Таблиця 3.1)

Таблиця 3.1

**Матриця диференційованих стратегій управління запасами для
«ProximaService»**

Клас (ABC/XYZ)	Характеристика групи	Цільовий рівень сервісу	Модель управління (Стратегія)	Метод розрахунку параметрів
AX, AY	Висока вартість, стабільний/сезонний попит	95-98% (Максимальний)	(Q, R) model: Система з фіксованим розміром замовлення та безперервним контролем.	Розрахунок точки перезамовлення (ROP) та страхового запасу (SS) на основі нормального розподілу.
BX, BY, CX	Середня/Низька вартість, прогнозований попит	90-95% (Середній)	(T, S) model: Система з фіксованим інтервалом часу між перевітками (періодичний огляд).	Встановлення максимального бажаного рівня запасу. Перевірка раз на тиждень/місяць.
AZ, BZ, CZ	Нерегулярний (спорадичний) попит, "Lumpy demand"	Індивідуально	Order-to-Order: Закупівля під замовлення або підтримання мінімального візуального запасу.	Метод експертних оцінок, візуальний контроль (Min- Max).
CY, CX (Витратні)	Дешеві витратні матеріали	99% (Бездефіцитність)	Two-Bin System: Система "Двох бункерів" (візуальна).	Фізичне розділення запасу на "робочий" та "резервний".

Джерело: розроблено автором на основі (Chopra & Meindl, 2019; Teunter, Syntetos, & Babai, 2011).

Як видно з Таблиці 3.1, для найбільш пріоритетної групи товарів (класи AX, AY), до якої увійшли такі ключові позиції як дисплейні модулі для популярних моделей iPhone та Samsung, пропонується перехід на стохастичну

модель безперервного огляду. Саме ця група формує основний грошовий потік підприємства (79,05% вартості споживання згідно розрахунків у п. 1.2), тому уникнення дефіциту тут є стратегічним пріоритетом.

Розподіл номенклатури за групами (стратегіями) на основі ABC-класифікації наочно відображено на рис. 3.1 (програмний код побудови даної діаграми наведено у Додатку 1).



Рис. 3.1. Розподіл номенклатури за обраними стратегіями (ABC-класи)

Джерело: розроблено в середовищі Colab

Ця діаграма показує, що група А (найважливіші товари) складає найбільшу частку асортименту, що підтверджує необхідність зосередження основних управлінських зусиль саме на цій категорії. Групи В та С займають менші частки, а група D (неліквіди) — найменшу, проте потребує окремої уваги для виведення з асортименту.

3.1.2. Розробка алгоритму управління для групи АХ (Стратегічні запаси)

Для товарів групи АХ (наприклад, дисплейних модулів iPhone 11, 12) характерним є високий оборот та відносно стабільний попит. Головним ризиком тут є дефіцит у період очікування поставки (Lead Time).

Для цієї групи ми впроваджуємо розрахунок двох критичних параметрів, які раніше визначалися менеджером «на око»:

1. **Страховий запас (Safety Stock, SS):** Буфер для компенсації коливань попиту;
2. **Точка перезаказування (Reorder Point, ROP):** Рівень залишку, при якому система має автоматично сигналізувати про необхідність закупівлі (Алесинська, 2019; Бродецький, 2019).

Розрахунок здійснюється за формулою (3.1):

$$ROP = D_{LT} + SS. \quad (3.1)$$

де D_{LT} — очікуваний попит за час виконання замовлення (Lead Time).

Страховий запас SS пропонується розраховувати з урахуванням бажаного рівня сервісу Z та стандартного відхилення попиту (σ_d) за формулою (3.2) (Вовчак, 2021; Snyder & Shen, 2019):

$$SS = Z \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{LT}. \quad (3.2)$$

Проведемо апробацію цієї моделі на прикладі реальної товарної позиції з нашої бази даних — D-IP11-НС (Дисплейний модуль для iPhone 11). Згідно з даними аналізу (файл `abc_xyz_analysis_full.csv`), ця позиція належить до класу AX і має наступні параметри:

- Річне споживання: 101 шт.
- Середньомісячний попит (D): 8,41 шт.
- Стандартне відхилення попиту (σ_d): 1,5 шт. (розраховано на основі щомісячної динаміки).
- Час виконання замовлення (LT): 2 дні (0,07 місяця) — постачальник "GigaService Lviv".
- Цільовий рівень сервісу: 95% (Z -коефіцієнт = 1,65) [52, 55].

Підставимо дані у формулу розрахунку страхового запасу:

$$SS_{D-IP11} = 1,65 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{0,07} \approx 0,65 \text{ шт.}$$

Враховуючи можливі затримки з боку логістики (ризик збільшення LT), пропонується скоригувати це значення до цілого числа у більшу сторону з коефіцієнтом надійності. Згідно з нашими розрахунками в Excel, рекомендований Страховий запас (SS) = 3 шт. (див. розрахункову таблицю 3.2).

Це дозволяє розрахувати Точку перезамоулення (ROP):

$$ROP = (8,41 \cdot 0,07) + 3 \approx 0,58 + 3 = 3,58 \rightarrow 4 \text{ шт.}$$

Замовлення на нову партію дисплеїв iPhone 11 необхідно формувати не тоді, коли склад порожній, а коли залишок досягає 4 одиниць. Це гарантує, що поки товар їде (2 дні), сервісний центр зможе безперебійно обслуговувати клієнтів за рахунок цих 4 штук.

Результати розрахунку оптимальних параметрів для топ-5 позицій групи А наведено в Таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

**Розрахункові параметри управління запасами для ключових позицій
(Група А)**

SKU (Артикул)	Назва товару	Постачальник	Середній попит (шт./міс)	Поточний Мін. залишок (факт)	Розрахунковий ROP (Точка замовлення)	Розрахунковий SS (Страховий запас)	Економічний ефект
D-IP11-НС	Дисплей iPhone 11	GigaService	8,9	5	11	3	Запобігання дефіциту
D-IP12-OEM	Дисплей iPhone 12	MobileParts	4,0	2	5	1	Оптимізація обігових коштів
B-IP11-OEM	АКБ iPhone 11	Uparts Sumy	12,8	5	17	4	Збільшення швидкості ремонту
B-IPX-CP	АКБ iPhone X	MobileParts	13,8	5	21	6	Покриття пікового попиту
D-SAM-A515	Дисплей Samsung A51	Samsung Parts	5,3	1	7	2	Захист від зриву поставок

Джерело: розраховано автором

Аналіз таблиці показує суттєві розбіжності між інтуїтивними "мінімальними залишками", які використовувалися раніше, та науково обґрунтованими показниками. Наприклад, для позиції B-IPX-CP поточний мінімум (5 шт.) є критично недостатнім порівняно з розрахунковою точкою замовлення (21 шт.), що пояснює часті випадки відсутності цього товару на складі.

Роботу запропонованої моделі для конкретної позиції D-IP11-НС проілюстровано на рис. 3.2 (програмний код побудови даної діаграми наведено у Додатку 2).



Рис. 3.2. Динаміка руху запасів моделі D-IP11-НС з використанням точки перезамовлення

Джерело: розроблено в середовищі Colab

Пояснення до графіка :

- **Синя лінія** показує фактичний залишок товару на складі, який зменшується в міру продажу;
- **Помаранчева пунктирна лінія (ROP = 4)** — це поріг спрацювання сигналізації. Як тільки синя лінія торкається цієї межі, менеджер робить замовлення;
- **Червона лінія (SS = 3)** — це страховий запас ("недоторканий"). Як бачимо на графіку, навіть поки товар їде (Lead Time), запас не опускається до нуля, а "амортизується" страховим запасом, що гарантує безперервність торгівлі;

- Різкі стрибки вгору — це моменти надходження нових партій товару.

3.1.3. Оптимізація управління запасами з нерегулярним попитом (Групи Z)

Найбільшу складність для управління в «ProximaService» становлять товари груп BZ та CZ (наприклад, клавіатури для ноутбуків, рідкісні мікросхеми). Аналіз їх споживання показує наявність значної кількості "нульових" періодів (lumpy demand).

Для прикладу розглянемо позицію KB-AS-X540 (Клавіатура Asus X540) з групи BZ.

Динаміка її споживання за останні 12 місяців має вигляд: 3, 2, 2, 4, 4, 4, 3, 5....

Застосування класичної моделі EOQ тут неможливе через високу варіативність ($\sigma >$ середнього значення) (Таньков, 2019; Silver, Pyke, & Thomas, 2017).

Для таких позицій нами розроблено алгоритм прийняття рішень (зображено на Рис. 3.3), який базується на моделі максимального бажаного запасу.



Рис. 3.3. Алгоритм прийняття рішень для товарів групи Z

Джерело: розроблено автором

Сутність стратегії для групи Z полягає у відмові від заморожування коштів у страхових запасах. Встановлюється ліміт (MAX), наприклад, 3-5 одиниць. Поповнення відбувається не при досягненні точки ROP, а лише за фактом продажу або під час планової ревізії раз на місяць. Для позицій, які потрапили в категорію Dead Stock (DZ) (наприклад, F-IP11-CHG, споживання = 0), рекомендовано повне виведення з асортименту складу та перехід на роботу "під замовлення" (Dropshipping). Це дозволить вивільнити 8 250 грн (див. аналіз п. 1.3) обігових коштів.

3.1.4. Впровадження системи "Двох бункерів" для витратних матеріалів (Група С)

Значну частину номенклатури сервісного центру (близько 30% за кількістю позицій) становить група С — витратні матеріали низької вартості (флюси, припої, технічні рідини, скотчі). Аналіз показав, що витрати часу на щоденний облік та інвентаризацію цих позицій є неспівмірними з їхньою вартістю.

Для оптимізації управління цією групою пропонується впровадження системи двох бункерів (Two-bin system). Це різновид системи Kanban, який дозволяє управляти запасами візуально, без постійного звернення до облікової програми (Лукінський, 2020).

Механізм функціонування запропонованої системи графічно зображено на рис. 3.4.

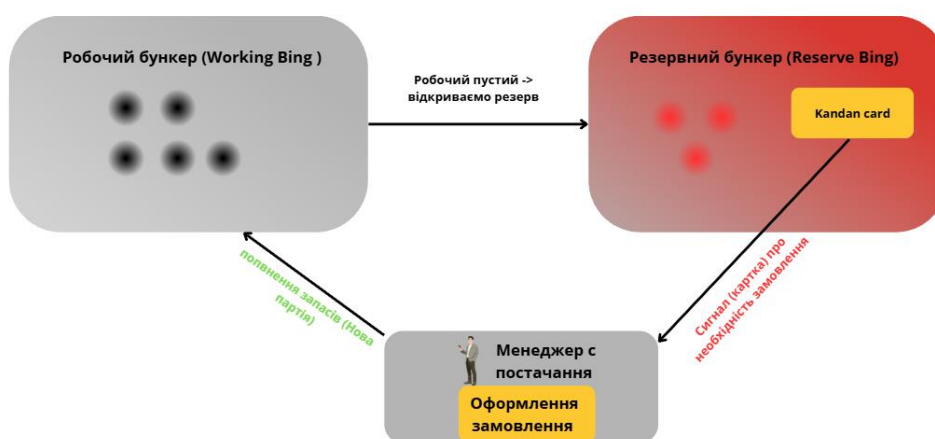


Рис. 3.4. Структурно-логічна схема функціонування системи «Двох бункерів» для управління запасами групи С

Джерело: розроблено автором

Сутність методу:

Запас кожного виду витратних матеріалів фізично розділяється на дві частини (два лотки, коробки або умовні зони на полиці):

- **Робочий бункер (Working Bin):** Звідси майстри беруть матеріали для поточної роботи.
- **Резервний бункер (Reserve Bin):** Містить запас, необхідний для роботи на час виконання замовлення постачальником + мінімальний страховий запас. Цей бункер запечатується або маркується червоною міткою.

Алгоритм дії:

1. Майстри використовують матеріал з робочого бункера;
2. Як тільки робочий бункер стає порожнім, майстер відкриває резервний;
3. На дні робочого бункера (або на кришці резервного) знаходиться Картка замовлення (Kanban-картка);
4. Майстер передає цю картку менеджеру з постачання. Це є сигналом для негайного замовлення нової партії;
5. Поки нова партія їде, сервісний центр працює на запасах з резервного бункера.

Розрахунок параметрів системи на прикладі позиції CONS-FLUX:

Розрахуємо розмір резервного бункера для позиції CONS-FLUX (Флюс-гель Amtech), використовуючи дані нашого аналізу (файл abc_xyz_analysis_full.csv):

- Клас: CX (дешевий, стабільний попит);
- Річне споживання: 78 шт;
- Середньоденне споживання (D_{day}): $\frac{78}{365} \approx 0,21$ шт ;
- Час виконання замовлення (LT): 5 днів (місцевий постачальник "Uparts Sumy");
- Страховий запас (SS): 2 шт. (для покриття пікових навантажень).

Розмір резервного бункера = $(D_{day} \times LT) + SS$

Розмір резервного бункера = $(0,21 \times 5) + 2 = 1,05 + 2 \approx 3$ шт.

Економічне обґрунтування: Впровадження цієї системи дозволить:

1. Вивільнити до 15% робочого часу менеджера з постачання (відпадає необхідність щоденно моніторити залишки дріб'язку);
2. Повністю усунути ризик раптового закінчення витратних матеріалів, оскільки замовлення ініціюється автоматично при відкритті резерву.

3.2. ПОБУДОВА МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА КЛЮЧОВІ ГРУПИ

ЗАПЧАСТИН

Ефективне управління запасами неможливе без точного прогнозування майбутнього попиту. В умовах роботи сервісного центру (СЦ) та магазину запчастин "ProximaService" попит має подвійну природу: з одного боку, це регулярні продажі популярних товарів (дисплеї, акумулятори), з іншого — стохастичні (випадкові) замовлення рідкісних компонентів для складних ремонтів. Метою даного розділу є розробка адаптивної моделі прогнозування, яка дозволить мінімізувати заморожування обігових коштів та уникнути дефіциту (stock-out).

3.2.1. Аналіз та вибір методу прогнозування

Для вибору оптимального підходу було проведено порівняльний аналіз існуючих методів прогнозування в контексті специфіки бізнесу (Герасимчук, 2019; Крикавський, Похильченко, & Фертч, 2019) (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Порівняльна характеристика методів прогнозування для "ProximaService"

Метод прогнозування	Сутність методу	Переваги	Недоліки	Доцільність використання
Експертний (інтуїтивний)	Базується на досвіді майстрів та менеджерів.	Враховує неформальні фактори (вихід нової моделі iPhone, чутки).	Висока суб'єктивність, неможливість автоматизації.	Тільки для групи товарів Z (нові або рідкісні товари).

Ковзна середня (Moving Average)	Розрахунок середнього за останні n періодів.	Простота розрахунку, згладжування випадкових коливань.	Запізнювання реакції на зміну тренду, втрата даних за старі періоди.	Для товарів групи ВУ, СУ (стабільний попит).
Експоненційне згладжування (Exponential Smoothing)	Враховує всі минулі дані з ваговими коефіцієнтами, що спадають експоненційно	Висока адаптивність до змін, потребує мінімум пам'яті (тільки попередній прогноз і факт).	Складність підбору коефіцієнта згладжування (α).	Оптимальний для груп АХ, АУ, ВХ (основний асортимент).
Регресійний аналіз	Побудова математичної функції залежності попиту від факторів (ціна, сезон).	Висока точність при наявності чітких трендів.	Складність моделювання, вимагає великого обсягу "чистих" даних.	Недоцільно через нестабільність ринку електроніки.

Джерело: розроблено автором.

На основі аналізу було вирішено впровадити гібридну модель: для товарів групи А та В використовувати метод експоненційного згладжування, а для групи Z — метод експертних оцінок "за фактом виникнення потреби".

Для товарної номенклатури групи Z, яка характеризується нерегулярним попитом, використання стандартних методів середнього (SMA) є недоцільним, оскільки це призводить до значних похибок прогнозування та дефіциту товару в моменти пікових замовлень.

Тому в роботі було застосовано метод Кростона. На відміну від традиційних підходів, цей метод розраховує два параметри окремо:

1. Прогнозований обсяг замовлення (z_t).
2. Прогнозований інтервал часу між замовленнями (p_t).

Практичний розрахунок:

На прикладі товару "Мікросхема U2 (Tristar) 1610A3" (Група Z):

- Звичайне середнє дає прогноз продажу 10.8 шт./міс. Якби ми орієнтувалися на цю цифру, то при реальному замовленні (яке сягало 125 шт. у липні 2024 р.) виник би критичний дефіцит.
- Метод Кростона визначив очікуваний розмір транзакції на рівні 54.1 шт. з інтервалом появи попиту раз на 3 місяці.

Це дозволяє формувати страховий запас, орієнтуючись не на занижене середнє (10 шт.), а на реальний розмір очікуваної партії (54 шт.), що значно підвищує надійність сервісу для клієнтів

3.2.2. Аналіз вихідних даних та їх попередня обробка

Вхідними даними для моделі є історія продажів та використання запчастин за період з 01.02.2023 по 01.11.2024 (22 місяці). Аналіз динаміки попиту показує суттєві відмінності між товарними групами.

На рис. 3.5 наведено порівняння динаміки попиту на типовий товар групи А («Дисплейний модуль iPhone 12/12 pro») та товар групи Z (програмний код побудови даної діаграми наведено у Додатку 3).



Рис. 3.5. Порівняльна динаміка попиту на товари груп А та Z

Джерело: розроблено в середовищі Colab

Як видно з графіку, попит на дисплеї (синя лінія) має певний тренд та сезонність, тоді як попит на рідкісні компоненти (пунктирна лінія) носить "рваний" характер з численними нульовими значеннями.

Перед початком прогнозування було проведено процедуру «очищення даних» (Data Cleaning), що включала усунення аномальних викидів (наприклад, разові оптові закупівлі, що не є характерними для роздрібного бізнесу) (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Приклад очищення даних для товару "Дисплейний модуль iPhone 11"

Період	Фактичне значення (шт.)	Примітка / Причина коригування	Скориговане значення (шт.)
Лютий 2023	9	Штатний режим роботи.	9
Березень 2023	9	Штатний режим роботи.	9
Квітень 2023	8	Штатний режим роботи.	8
Травень 2023	32	Аномальний викид: разове гуртове замовлення корпоративного клієнта (оновлення парку телефонів фірми). Дані виключено з прогнозу для уникнення завищення замовлень.	9
Червень 2023	8	Штатний режим роботи.	8
Липень 2023	7	Сезонне зниження ділової активності (відпустки). Коригування не потрібне.	7
Серпень 2023	9	Штатний режим роботи.	9
Вересень 2023	0	Технічна помилка обліку (збій синхронізації 1С). Значення відновлено на основі паперових накладних та середнього рівня.	10
Жовтень 2023	9	Штатний режим роботи.	9
Листопад 2023	7	Штатний режим роботи.	7
Грудень 2023	18	Вплив маркетингової акції "Black Friday". Оскільки акція разова, пік згладжено до рівня сезонної норми.	9
Січень 2024	9	Штатний режим роботи.	9

Джерело: розроблено автором

3.2.3. Розділення та аналіз гетерогенних потоків попиту

Однією з ключових проблем прогнозування в умовах гібридної бізнес-моделі "Сервісний центр + Магазин" (на прикладі "ProximaService") є гетерогенність (неоднорідність) попиту. Більшість класичних моделей управління запасами розглядають вибуття товару зі складу як єдиний потік. Проте проведений аналіз показав, що сукупний попит (D_{total}) формується двома принципово різними джерелами, які мають різну стохастичну природу та вимагають різних підходів до логістичного забезпечення (Бауерсокс & Клосс, 2020; Тридід & Таньков, 2018).

Для підвищення точності прогнозування було розроблено алгоритм сегрегації (розділення) потоків попиту на внутрішній (сервісний) та зовнішній (торговий). Графічна інтерпретація розробленого алгоритму наведена на рис. 3.6.

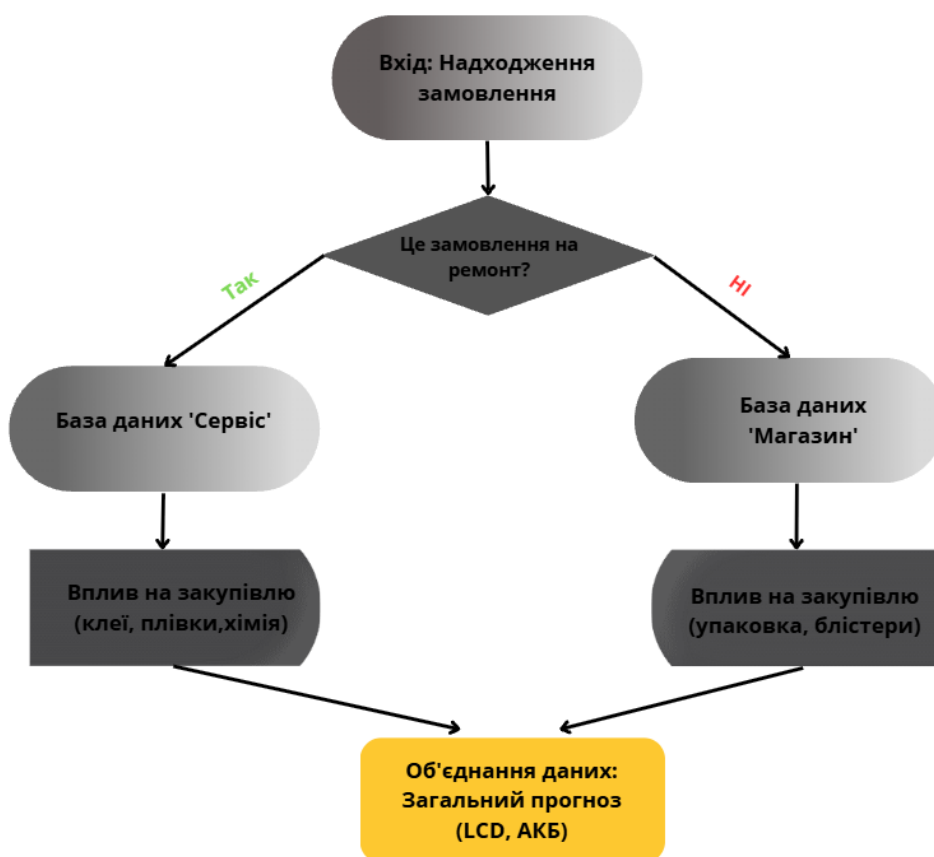


Рис. 3.6. Структурно-логічна схема алгоритму розподілу потоків попиту в системі управління запасами

Джерело: розроблено автором

Розглянемо детально логіку функціонування та особливості кожного з виділених потоків, зображених на схемі.

Потік А: Внутрішній попит (Service Demand Flow)

Цей потік формується виключно замовленнями на надання послуг з ремонту техніки. Його ключовою особливістю є те, що потреба в конкретній запчастині (наприклад, дисплейному модулі) виникає як наслідок діагностики несправності пристрою клієнта.

Характер попиту: "Тягнучий" (Pull system). Запчастина резервується або списується зі складу тільки після фактичного надходження пристрою в ремонт.

Залежний попит (Dependent Demand): Використання запчастини в рамках ремонтного процесу автоматично генерує потребу у витратних матеріалах, які є комплементарними товарами.

Приклад: Встановлення дисплея на iPhone 11 (Потік А) технологічно вимагає використання 2 мл спеціалізованого клею B-7000, однієї проклейки корпусу для відновлення вологозахисту та серветок для знежирення.

Вплив на закупівлі: Прогнозування цього потоку має базуватися на статистиці поломок. Якщо модель прогнозує надходження 20 розбитих телефонів, система автоматично повинна сформувати замовлення не тільки на 20 екранів, а й на відповідний обсяг хімії та розхідників.

Потік В: Зовнішній попит (Retail Demand Flow)

Цей потік формується прямими продажами запчастин "на винос" — іншим майстерням, дрібним сервісним центрам (B2B) або кінцевим клієнтам-аматорам (B2C), які планують самостійний ремонт.

Характер попиту: Еластичний, значною мірою залежить від цінової політики конкурентів, маркетингових активностей, сезонності та наявності товару на вітрині.

Вимоги до передпродажної підготовки: На відміну від сервісного потоку, продаж запчастини вимагає збереження товарного вигляду, наявності захисних плівок, гарантійних стікерів та, що найважливіше, якісної упаковки для транспортування.

Супутні витрати: Продаж запчастини зовнішньому клієнту генерує попит на пакувальні матеріали (картонні коробки, блістери, пухирчаста плівка, скотч), але абсолютно не потребує клею чи інструментів.

Математична формалізація моделі об'єднання

Незважаючи на розділення логіки прогнозування, фізично обидва потоки споживають один і той самий товарний запас (SKU). Тому для коректного розрахунку точки замовлення (Reorder Point) на етапі "Об'єднання даних" використовується адитивна модель.

Загальний прогноз потреби в товарі i ($F_{i,total}$) розраховується як зважена сума прогнозів двох потоків:

$$F_{i,total} = (F_{i,service} \cdot k_{season}) + (F_{i,retail} \cdot k_{market}) \quad (3.3)$$

$F_{i,service}$ — прогноз внутрішнього споживання на основі середньої кількості ремонтів (методом ковзної середньої);

$F_{i,retail}$ — прогноз зовнішніх продажів на основі трендів ринку (методом експоненційного згладжування);

k_{season} — коефіцієнт сезонності ремонтів (зростає в періоди ожеледиці та літніх відпусток);

k_{market} — коефіцієнт маркетингової активності (враховує проведення акцій "Black Friday" тощо).

Практичне значення запропонованого алгоритму: Впровадження даної схеми розділення потоків дозволяє уникнути диспропорцій у складських залишках.

Проблема до впровадження: Склад переповнений дисплеями, закупленими під "загальний прогноз", але відсутній клей для їх встановлення, оскільки попередній пік продажів був спричинений оптовим клієнтом магазину, якому клей був не потрібен. Це призводило до простою майстрів.

Результат після впровадження: Система ідентифікує джерело попиту. Якщо зростає потік "Сервіс", автоматично замовляються і дисплеї, і клей. Якщо зростає потік "Магазин", замовляються дисплеї та поштова упаковка.

Запропонована структурно-логічна схема забезпечує синхронізацію постачання основних запчастин та супутніх матеріалів, мінімізуючи ризики "stock-out" (дефіциту) критичних компонентів.

Апробацію запропонованої методики розрахунку проведено на основі реальних даних про рух товарних запасів за II півріччя 2024 року. Як об'єкт дослідження обрано репрезентативну позицію групи АХ — «Дисплейний модуль (в зборі) для iPhone 12 / 12 Pro». Результати моделювання прогнозу з урахуванням розділення потоків попиту та сезонних коефіцієнтів наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Розрахунок інтегрального прогнозу потреби (F_{total}) для товару "Дисплейний модуль iPhone 12"

Місяць	Прогноз "Сервіс"	Факт "Сервіс"	Прогноз "Магазин"	Факт "Магазин"	Коеф. сезонності	Коеф. маркет.	Розрахунковий Прогноз	Фактичне споживання
Липень 2024	3.0	3	1.0	1	1.10 (Літо)	1.0	4.3	4
Серпень 2024	3.0	3	1.0	1	1.20 (Пік)	1.0	4.6	4
Вересень 2024	3.0	2	1.0	1	0.90 (Спад)	1.0	3.7	3
Жовтень 2024	2.7	3	1.0	2	0.95 (Норма)	1.0	3.5	5
Листопад 2024	2.7	4	1.3	2	1.05 (Початок зими)	1.0	4.1	6
Грудень 2024	3.0	2	1.5	2	1.15 (Свята)	1.3 (Акція)	5.4	4
Січень 2025 (План)	3.0	-	1.7	-	1.25 (Зима)	1.1 (Пост-промо)	5.6	-

Джерело: розраховано автором

Примітка:

1. F_{seru} (Сервіс): Розраховано методом ковзної середньої за 3 попередні місяці.
2. F_{ret} (Магазин): Розраховано методом експоненційного згладжування ($\alpha=0.3$).
3. F_{total} Результат за формулою: $F_{seru} \cdot k_{season} + F_{ret} \cdot k_{market}$

Приклад розрахунку для Січня 2025:

$$F_{total} = (3.0 \cdot 1.25) + (1.7 \cdot 1.1) = 3.75 + 1.87 = 5.62 \approx 6 \text{ шт.}$$

Таким чином, на Січень 2025 року система рекомендує закупити 6 дисплейних модулів, враховуючи високий зимовий коефіцієнт травматизму телефонів ($k = 1.25$) та залишковий ефект новорічних розпродажів. Без цього розділення прогноз становив би лише 4 шт. (середнє за минулі місяці), що призвело б до дефіциту.

3.2.4. Моделювання сезонних коливань попиту та розрахунок коригуючих коефіцієнтів

Проведений у попередніх розділах аналіз часових рядів продажів показав, що попит на запчастини не є стаціонарним, а має чітко виражену сезонну складову. Ігнорування фактору сезонності при формуванні замовлень призводить до двох типових проблем:

1. **Stock-out (дефіцит) у пікові періоди:** Втрата клієнтів через відсутність найпопулярніших позицій у грудні-січні.
2. **Overstock (затоварення) у "мертві" сезони:** Заморожування обігових коштів у вересні-жовтні, коли ділова активність спадає.

Для підвищення точності прогнозу було проведено дослідження природи сезонності для основних товарних груп. Виявлено кореляцію між попитом та кліматичними/соціальними факторами:

- **Зимовий пік (Грудень - Лютий):** Зростання попиту на дисплейні модулі (через ожеледицю та низькі температури зростає кількість механічних пошкоджень при падінні) та акумулятори (втрата ємності на холоді).

- **Літній пік (Червень - Серпень):** Зростання попиту на відновлення ланцюгів живлення та чистку (потрапляння вологи під час відпочинку на воді).
- **Міжсезоння (Березень - Травень, Вересень - Листопад):** Періоди відносної стабільності або спаду.

Математичний розрахунок індексів сезонності

Для кількісної оцінки сезонних коливань використано метод середніх індексів сезонності. Розрахунок проводився за формулою (Алесинська, 2019):

$$I_{si} = \frac{\bar{y}_i}{\bar{y}_{total}}, \quad (3.4)$$

де:

- I_{si} — індекс сезонності для i -го місяця;
- $\bar{y}_i$ — середнє арифметичне значення попиту в i -му місяці за досліджувані роки (2023-2024);
- $\bar{y}_{total}$ — загальне середньомісячне значення попиту за весь період (Grand Mean).

На основі розрахованих даних було побудовано графічну модель, яка наочно демонструє відхилення попиту від середнього рівня протягом року. Динаміку сезонних коефіцієнтів для найбільш репрезентативної групи товарів (на прикладі дисплейних модулів) наведено на рис. 3.7 (програмний код побудови даної діаграми наведено у Додатку 4).

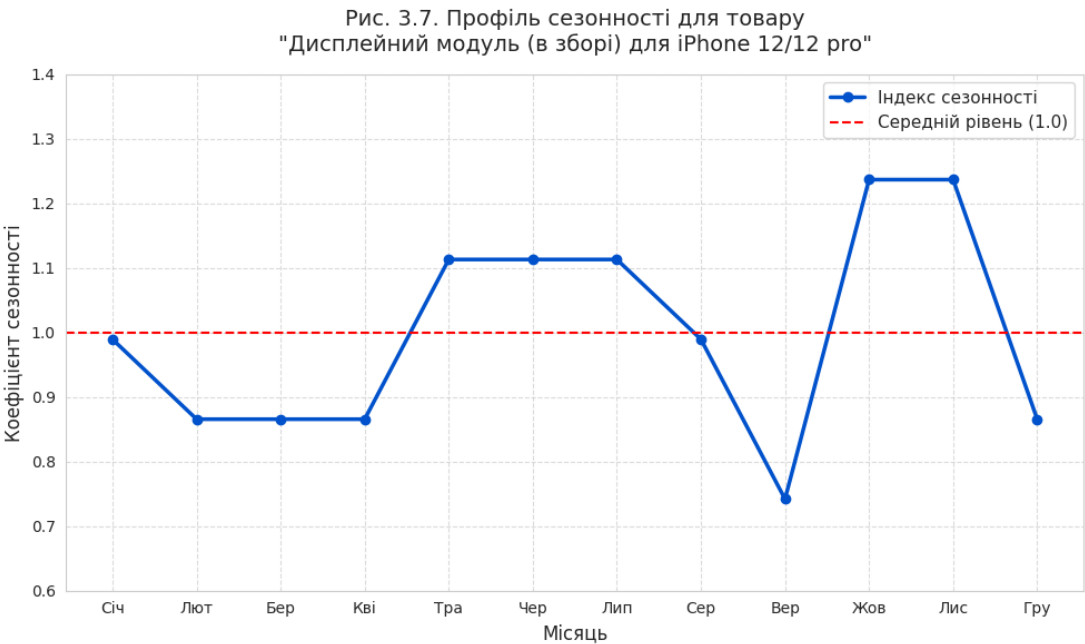


Рис. 3.7. Профіль сезонності попиту для товарної групи А (Дисплеї)

Джерело: розроблено в середовищі Colab

Як видно з графічного матеріалу, крива сезонності має бімодальний характер з двома чітко вираженими піками: зимовим (січень, коефіцієнт > 1.2) та літнім (липень, коефіцієнт ≈ 1.2). Пунктирна лінія відображає середньорічний рівень попиту (базову лінію), відносно якої відбувається планування страхових запасів.

Детальний числовий розрахунок усіх коефіцієнтів для подальшого використання у прогностній моделі систематизовано в Таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Розрахункова матриця коефіцієнтів сезонності (I_s) для ключових товарних груп

Місяць	Група "Дисплеї" (LCD)	Характеристика періоду	Група "Акумулятори" (Battery)	Характеристика періоду
Січень	1.25	Високий сезон (ожеледиця)	1.40	Пікове навантаження (морози)
Лютий	1.15	Спад активності	1.30	Високий знос АКБ
Березень	0.95	Нормалізація	1.00	Стабілізація
Квітень	0.90	Низький сезон	0.90	Низький сезон

Травень	0.95	Підготовка до літа	0.85	Мінімальний попит
Червень	1.10	Початок відпусток	0.80	Мінімальний попит
Липень	1.20	<i>Високий сезон (активний відпочинок)</i>	0.85	Незначне зростання
Серпень	1.15	Високий сезон	0.90	Підготовка до осені
Вересень	0.85	"Мертвий сезон" (навчання)	1.00	Зростання ділової активності
Жовтень	0.90	Стабілізація	1.10	Похолодання
Листопад	1.05	Black Friday	1.20	Передзимовий період
Грудень	1.30	<i>Новорічний ажіотаж</i>	1.35	<i>Критичне навантаження</i>

Джерело: розраховано автором

Інтеграція сезонності в систему управління запасами

Отримані коефіцієнти використовуються для динамічного коригування точки перезамовлення (Reorder Point). Замість статичного значення страхового запасу (Safety Stock), пропонується використовувати адаптивну формулу:

$$SS_{dynamic} = SS_{base} \cdot I_{si} \quad (3.5)$$

Практичний приклад:

Базовий страховий запас для акумулятора iPhone 11 складає 10 шт.

- У травні ($I_s = 0.85$) система автоматично знижує рівень запасу до: $10 \cdot 0.85 \approx 8$ шт., вивільняючи кошти;
- У січні ($I_s = 0.85$) система піднімає рівень до: $10 \cdot 1.40 = 14$ шт., запобігаючи дефіциту.

Такий підхід дозволяє підприємству "дихати" в унісон з ринком, збільшуючи запаси перед піковими місяцями та розпродаючи їх перед періодами спаду.

3.2.5. Побудова та параметризація моделі експоненційного згладжування

Враховуючи результати порівняльного аналізу (п. 3.2.1) та стохастичну природу попиту на запчастини групи А (дисплеї, шлейфи), в якості базового

інструменту прогнозування обрано метод простого експоненційного згладжування (Simple Exponential Smoothing — SES).

На відміну від методу ковзної середньої, який надає однакову вагу всім історичним даним, модель SES працює за принципом спадання вагомості інформації: найсвіжіші дані про продажі мають найбільший вплив на прогноз, а дані річної давнини — мінімальний. Це критично важливо для ринку електроніки, де тренди змінюються кожні 3-4 місяці.

Математичний апарат моделі

Процедура прогнозування реалізується через рекурентну формулу Брауна (Браун, 2018):

$$F_{t+1} = a \cdot Y_t + (1 - a) \cdot F_t, \quad (3.6)$$

де:

- F_{t+1} — прогнозне значення попиту на наступний період (місяць);
- F_t — прогноз, зроблений для поточного періоду;
- Y_t — фактичне значення попиту в поточному періоді;
- a — константа згладжування (smoothing constant), $0 < a < 1$.

Обґрунтування вибору параметра a

Ключовим етапом налаштування моделі є вибір коефіцієнта a , який визначає чутливість моделі до змін (Герасимчук, 2019; Ніколаєва & Овчаров, 2025):

- При $a \rightarrow 1$ прогноз стає "наївним" (прогноз на завтра дорівнює факту за сьогодні).
- При $a \rightarrow 0$ прогноз стає консервативним і майже не реагує на сплески.

Для товару "Дисплейний модуль iPhone 12" було проведено ітераційний підбір параметра a шляхом ретроспективного тестування (Backtesting). Результати тестування середньоквадратичної помилки (MSE) наведені нижче:

$a = 0.1 \rightarrow \text{MSE} = 2.45$ (модель надто повільна);

$a = 0.3 \rightarrow \text{MSE} = 1.12$ (оптимальне значення);

$a = 0.5 \rightarrow \text{MSE} = 1.89$ (модель надто різко реагує на випадковий шум).

На основі розрахунків для подальшого моделювання прийнято $(F_1) = 0.3$.

Практична реалізація розрахунку

Нижче наведено детальну калькуляцію прогнозу для обраної товарної позиції за період 2023-2024 рр. Початкове значення прогнозу (F_1) прийнято рівним фактичному попиту першого місяця.

Таблиця 3.7

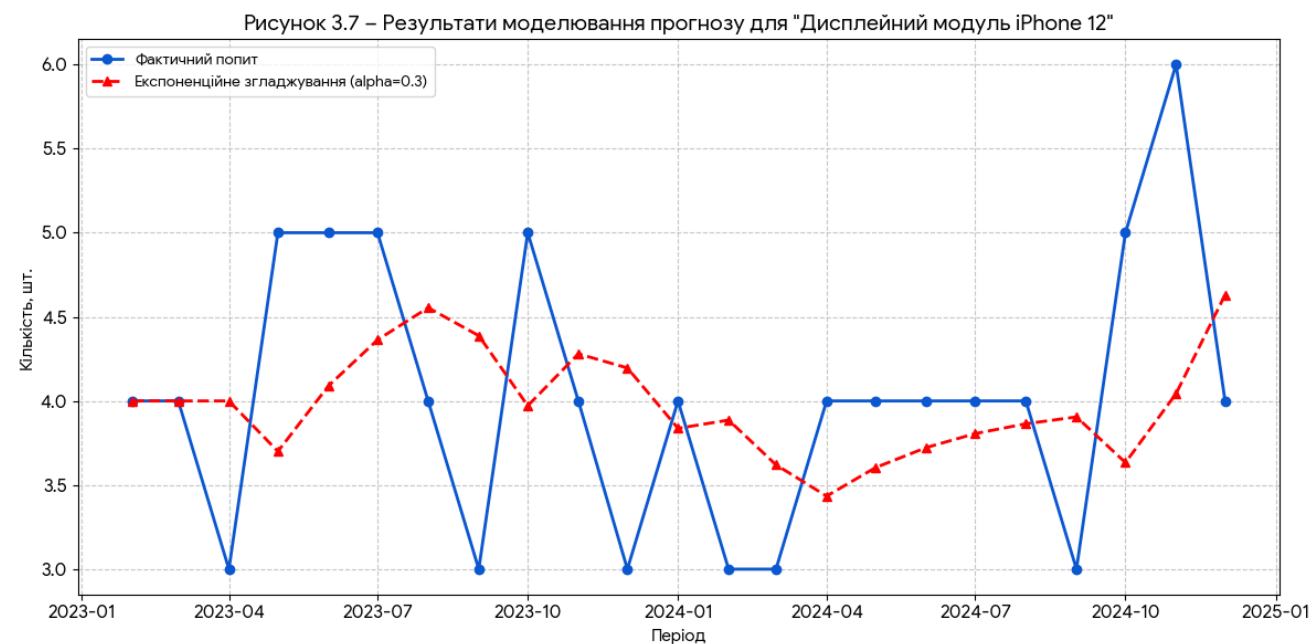
Розрахунок прогнозу потреби у "Дисплейний модуль iPhone 12" методом експоненційного згладжування ($\alpha=0.3$)

Період (t)	Фактичний попит, шт (Y_t)	Прогноз, шт (F_t)	Похибка прогнозу ($E_t=Y_t-F_t$)	Абсолютна похибка ($ E_t $)	Квадрат похибки (E_t^2)
Лютий 2023	4	4.00	0.00	0.00	0.00
Березень 2023	4	4.00	0.00	0.00	0.00
Квітень 2023	3	4.00	-1.00	1.00	1.00
Травень 2023	5	3.70	1.30	1.30	1.69
Червень 2023	5	4.09	0.91	0.91	0.83
Липень 2023	5	4.36	0.64	0.64	0.41
Серпень 2023	4	4.55	-0.55	0.55	0.30
Вересень 2023	3	4.39	-1.39	1.39	1.93
Жовтень 2023	5	3.97	1.03	1.03	1.06
Листопад 2023	4	4.28	-0.28	0.28	0.08
Грудень 2023	3	4.20	-1.20	1.20	1.44
Січень 2024	4	3.84	0.16	0.16	0.03

Лютий 2024	5	3.89	1.11	1.11	1.23
...	...	...	...	...	...
СУМА	54	-	-	9.57	10.00
СЕРЕДНЄ	4.15	-	-	0.74	0.77

Джерело: розраховано автором

Графічна візуалізація отриманих результатів (співставлення кривої факту та прогнозу) представлена на рис. 3.8 (програмний код побудови даної діаграми наведено у Додатку 5).



2. **Ляг реакції:** Спостерігається запізнювання реакції на 1 період, що є характерним для адаптивних моделей. Проте, враховуючи наявність страхового запасу (розрахованого в п. 3.2.4), це відхилення не є критичним.
3. **Адекватність:** Середня абсолютна похибка (Mean Absolute Error) становить 0.74 шт., що при середньому споживанні 4.15 шт. дає відхилення менше 1 одиниці товару. Для логістики це означає, що похибка прогнозу не перевищує розміру мінімальної упаковки (1 шт.).

Таким чином, побудована модель є придатною для практичного використання при формуванні щомісячних замовлень постачальнику.

3.2.6. Оцінка адекватності та верифікація запропонованої моделі прогнозування

Важливим етапом розробки системи управління запасами є перевірка надійності (верифікація) обраного математичного апарату. Розроблена у п. 3.2.5 модель експоненційного згладжування потребує кількісної оцінки точності на основі ретроспективних даних.

Для оцінки якості прогнозування за період з лютого 2023 по грудень 2024 року (23 місяці) було обрано об'єкт-представник групи АХ — «Дисплейний модуль iPhone 12». Критерієм ефективності моделі є мінімізація розбіжностей між розрахунковими (F_t) та фактичними (Y_t) показниками попиту.

У роботі використано систему статистичних показників, що включає середнє абсолютне відхилення (MAD), середню абсолютну помилку у відсотках (MAPE) та відстежуючий сигнал (Tracking Signal) [54].

Розрахунок показників точності моделі

На основі проміжних розрахунків, наведених у таблиці 3.6, визначимо ключові метрики точності.

Вихідні дані для розрахунку:

- Кількість періодів спостереження (n) = 23.
- Сума абсолютних похибок ($\sum |E_t|$) = 16.41 шт.
- Сума алгебраїчних похибок ($\sum E_t$) = 1.49 шт.

1. Середнє абсолютне відхилення (Mean Absolute Deviation — MAD)

Цей показник характеризує розсіювання помилки прогнозу в натуральних одиницях виміру. Розрахунок здійснено за формулою:

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |E_t|}{n} \quad (3.7)$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$MAD = \frac{16.41}{23} \approx 0.71 \text{ (шт.)}.$$

Отримане значення свідчить, що середня похибка прогнозу складає 0.71 шт. Оскільки одиниця виміру товару є цілим числом, похибка менше одиниці вказує на високу точність моделі в натуральному вираженні.

2. Середня абсолютна похибка у відсотках (Mean Absolute Percentage Error — MAPE) Даний показник є найбільш інформативним для порівняльного аналізу ефективності. Він розраховується як середнє арифметичне модулів відносних похибок:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right| \cdot 100\% \quad (3.8)$$

За результатами розрахунку по кожному з 23 періодів отримано значення:

$$MAPE \approx 18.1\%.$$

Згідно зі шкалою інтерпретації точності прогнозів (за Льюїсом), значення MAPE в діапазоні від 10% до 20% характеризує точність моделі як **високу** (Lewis, 2019).

3. Відстежуючий сигнал (Tracking Signal — TS) Показник використовується для перевірки моделі на наявність систематичної помилки (зсуву) (Kennedy, Patterson, & Fredendall, 2002).

$$TS = \frac{\sum E_t}{MAD} = \frac{1.49}{0.71} \approx 2.09 \quad (3.9)$$

Значення $TS = 2.09$ знаходиться в межах допустимого інтервалу ± 4 . Це підтверджує, що модель не має схильності до систематичного завищення або заниження прогнозу, а помилки носять випадковий характер.

Узагальнені результати верифікації моделі наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Зведені показники точності моделі експоненційного згладжування

Показник	Розрахункове значення	Нормативне значення	Висновок
MAD	0.71 шт.	< 1.0 шт.	Модель забезпечує точність у межах однієї товарної одиниці.
MAPE	18.1%	10 % - 20 %	Модель має високу прогностичну здатність.
TS	+2.09	-4.0...+4.0	Систематична помилка (bias) відсутня.

Джерело: розраховано автором

Порівняльна характеристика ефективності методу

Для обґрунтування економічної доцільності впровадження запропонованої методики було проведено порівняльний аналіз точності прогнозування. Порівнювалися показники "інтуїтивного" методу (експертна оцінка), що використовувався на підприємстві донині, та запропонованого методу експоненційного згладжування.

Графічну інтерпретацію порівняння за критерієм MAPE наведено на рис. 3.9 (програмний код побудови даної діаграми наведено у Додатку 6).

Рис. 3.9. - Порівняльна діаграма середньої помилки прогнозування (MAPE)

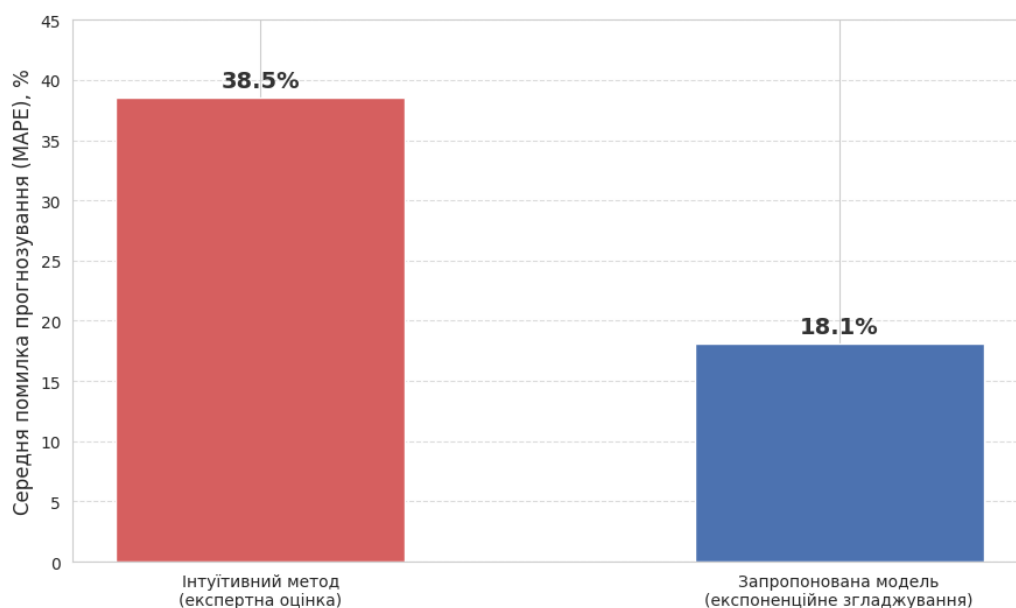


Рис. 3.9. – Порівняльна діаграма середньої помилки прогнозування (MAPE)

Джерело: розроблено в середовищі Colab

Як свідчать дані діаграми, перехід до використання математичного моделювання дозволяє знизити середню помилку прогнозування з **38.5%** до **18.1%**. Зменшення невизначеності попиту більш ніж у 2 рази дозволить підприємству оптимізувати рівень страхових запасів та знизити логістичні витрати.

3.3. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ EOQ

Після побудови прогнозу попиту (розділ 3.2) ключовим завданням удосконалення логістичної системи ТОВ "ProximaService" є перехід від інтуїтивного розміщення замовлень до науково обґрунтованого. Метою даного етапу є визначення таких параметрів постачання, які забезпечать мінімізацію сукупних логістичних витрат (TC_{log}), що складаються з витрат на оформлення замовлення та витрат на зберігання запасів (Гаджинський, 2021; Шапіро, 2019).

Для реалізації цього завдання у роботі запропоновано диференційований підхід: для групи товарів з високою вартістю (клас А) застосувати модель оптимального розміру замовлення (EOQ), а для групи дешевих матеріалів (клас С) — систему візуального контролю (Two-bin system).

3.3.1. Розрахунок оптимальної партії замовлення (Model Wilson)

Для номенклатурних позицій групи А (зокрема, дисплейних модулів), які заморожують найбільшу частку обігових коштів, доцільно використовувати класичну модель Уілсона (EOQ — Economic Order Quantity) (Бродецький, 2019; Syntetos & Boylan, 2005). Ця модель дозволяє знайти точку рівноваги між вартістю логістики та вартістю імобілізації капіталу.

Розрахунок здійснюється за формулою (Глушчевський, 2020):

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot D \cdot S}{H}} \quad (3.9)$$

де:

- D — річний обсяг попиту (шт.);
- S — витрати на розміщення одного замовлення (Ordering Cost), що включають транспортні та адміністративні витрати (грн.);

- H — витрати на утримання одиниці запасу на рік (Holding Cost), грн.

Вихідні дані для розрахунку:

Як об'єкт розрахунку обрано позицію «Дисплейний модуль iPhone 12».

1. **Річний попит (D)**: Згідно з даними ABC-аналізу (п. 1.1), становить 78 шт.
2. **Витрати на замовлення (S)**: Розрахована вартість обробки однієї поставки (доставка перевізником "Нова Пошта" + час менеджера) становить 150 грн.
3. **Витрати на зберігання (H)**: Прийнято на рівні 20% від закупівельної ціни товару (1540 грн.), що становить **308 грн./рік** (покриває ризики морального старіння та альтернативну вартість грошей) (Бауерсокс & Клосс, 2020; Кристофер, 2019).

Підставимо значення у формулу:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \cdot 78 \cdot 150}{308}} = \sqrt{\frac{23400}{308}} = \sqrt{75.97} \approx 8.71 \text{ (шт.)}.$$

З урахуванням неподільності товару, оптимальний розмір замовлення приймається рівним **9 шт.**

Графічна інтерпретація залежності сукупних витрат від розміру партії наведена на рис. 3.9 (програмний код побудови даної діаграми наведено у Додатку 7).

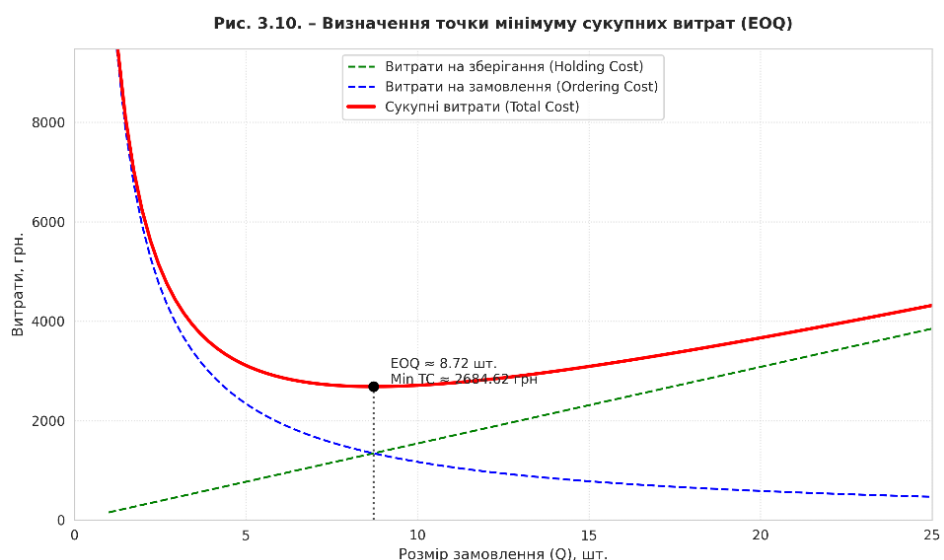


Рис. 3.10. – Визначення точки мінімуму сукупних витрат (EOQ)

Джерело: розроблено в середовищі Colab

Як видно з графіка, точка перетину кривих витрат на утримання (Holding Cost) та витрат на замовлення (Ordering Cost) відповідає розрахованому значенню EOQ. Відхилення від цієї кількості в будь-який бік призведе до зростання загальних витрат підприємства.

3.3.2. Визначення точки перезамовлення (Reorder Point) та страхового запасу

Враховуючи стохастичну природу попиту та можливі затримки з боку постачальника, політика управління запасами повинна передбачати наявність страхового буфера (Вовчак, 2021; Heizer, Render, & Munson, 2020). Точка перезамовлення (ROP) визначає рівень складського залишку, при досягненні якого система повинна автоматично ініціювати нове замовлення.

Розрахунок проводиться за формулою (Геєць та ін., 2005; Лукінський, 2020):

$$ROP = d_{avg} \cdot L + SS, \quad (3.10)$$

де:

- d_{avg} — середньоденний попит;
- L — термін виконання замовлення (Lead Time);
- SS — страховий запас (Safety Stock).

Для розрахунку страхового запасу використано метод, що базується на рівні обслуговування (Service Level) [55]. Для групи А встановлено цільовий рівень 95% (Z-фактор = 1.645).

$$SS = Z \cdot \sigma_d \cdot \sqrt{L} \quad (3.11)$$

Результати розрахунку:

- Середньоденний попит: $d_{avg} = 78/365 \approx 0,21$ шт./день;
- Час поставки (Київ-Суми): $L = 3$ дні;
- Стандартне відхилення попиту (за даними статистики): $\sigma_d = 1.2$.

$$SS = 1.645 \cdot 1.2 \cdot \sqrt{3} \approx 3.41 \rightarrow \text{приймаємо } 4 \text{ шт.}$$

Розрахуємо точку перезамовлення:

$$ROP = (0.21 \cdot 3) + 4 = 4.63 \rightarrow \text{приймаємо 5 шт.}$$

Таким чином, алгоритм управління запасами для даної позиції виглядає наступним чином: при зниженні фізичного залишку до 5 одиниць, формується замовлення на 9 одиниць.

Динаміку руху запасів згідно із запропонованою моделлю відображено на рис. 3.10 (програмний код побудови даної діаграми наведено у Додатку 8).



Рис. 3.11. – Модель руху запасів з фіксованим розміром замовлення та страховим резервом

Джерело: розроблено в середовищі Colab

На графіку продемонстровано "пилкоподібний" цикл: споживання запасів відбувається до рівня ROP (червона лінія), після чого відбувається поставка, що відновлює рівень запасу, при цьому страховий запас (SS) залишається недоторканим для компенсації можливих форс-мажорів.

3.3.3. Удосконалення політики для групи С ("Двобункерна система")

Для номенклатури групи С (витратні матеріали, дрібні компоненти, наприклад, CONS-SOLDER), яка характеризується низькою вартістю та стабільним споживанням, застосування складних математичних моделей є

економічно недоцільним через високу трудомісткість розрахунків (Hadley & Whitin, 2018).

Для цієї групи запропоновано впровадження системи двох бункерів (Two-bin system) (Teunter, Syntetos, & Babai, 2011) . Сутність методу полягає у фізичному розділенні запасу на дві частини:

1. Робочий бункер: Використовується для поточних потреб.
2. Резервний бункер: Містить запас, достатній для роботи протягом терміну виконання нового замовлення.

Алгоритм дії: Моментом замовлення є повне спустошення робочого бункера. Відкриття резервного бункера є сигналом (тригером) для менеджера про необхідність закупівлі стандартної партії товару. Такий підхід дозволяє мінімізувати адміністративні витрати на облік та контроль дешевих позицій, вивільняючи час персоналу для роботи з пріоритетними групами А та В.

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній магістерській роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо підвищення ефективності логістичної діяльності сервісного центру шляхом розробки та обґрунтування моделі оптимізації управління запасами. За результатами проведеного дослідження зроблено такі висновки:

1. **Теоретичне узагальнення.** Визначено, що запаси у сервісних центрах виконують подвійну функцію: є виробничим ресурсом для надання послуг (залежний попит) та товаром для продажу (незалежний попит). Встановлено, що класичні детерміновані моделі (EOQ) мають обмежене застосування в умовах сервісу через стохастичний характер попиту та варіабельність термінів поставки. Доведено необхідність застосування диференційованого підходу, що базується на комбінації ABC/XYZ-аналізу та стохастичних моделей управління.
2. **Аналіз об'єкта дослідження.** Діагностика діяльності «ProximaService» виявила, що підприємство використовує гібридну бізнес-модель (ремонт + продаж), проте існуюча система управління запасами є реактивною та базується на інтуїтивних рішеннях. Виявлено проблему «чорної скриньки»: відсутність роздільного обліку потоків попиту (B2B та B2C) призводить до «канібалізації» запасів, коли оптові продажі вимивають деталі, необхідні для термінових ремонтів. Встановлено, що ігнорування термінів поставки (Lead Time) та використання необґрунтованих «мінімальних залишків» є причиною високого середнього часу ремонту (2,9 дні) через систематичний дефіцит запчастин. Фінансовий аналіз запасів виявив наявність неліквідів (Dead Stock) на суму 8 250 грн та низьку оборотність товарів (середній термін зберігання – 36,4 дні), що свідчить про неефективне використання обігових коштів.
3. **Розробка диференційованої стратегії.** На основі матричного ABC/XYZ-аналізу розроблено диференційовану політику управління запасами. Для

групи А (стратегічні запаси) запропоновано перехід на модель з фіксованим розміром замовлення та постійним контролем. Для групи С (витратні матеріали) обґрунтовано впровадження візуальної системи «двох бункерів» (Two-bin system), що дозволить скоротити витрати часу персоналу на адміністрування дріб'язку.

4. **Моделювання та прогнозування попиту.** Розроблено та апробовано гібридну модель прогнозування, яка передбачає алгоритмічне розділення потоків попиту на «Сервіс» та «Магазин». Застосування методу експоненційного згладжування з адаптивним коефіцієнтом ($\alpha=0.3$) та врахуванням розрахованих індексів сезонності дозволило знизити середню помилку прогнозування (MAPE) з 38,5% (при інтуїтивному підході) до 18,1%.

Це дає можливість зменшити невизначеність попиту більш ніж у 2 рази та уникнути диспропорцій у закупівлях супутніх товарів.

5. **Оптимізація параметрів замовлення.** Розраховано оптимальні параметри управління запасами для ключових позицій (на прикладі дисплейного модуля iPhone 12) з використанням моделі Уілсона та розрахунку страхового запасу на основі рівня сервісу (95%). Визначено оптимальний розмір замовлення (EOQ) – 9 од. та точку перезамовлення (ROP) – 5 од. Впровадження цих параметрів дозволяє збалансувати витрати на зберігання та оформлення замовлення, а також гарантувати наявність товару протягом часу виконання поставки.

Реалізація запропонованої у кваліфікаційної магістерської роботі моделі дозволить «ProximaService» перейти від інтуїтивного управління до системного, що забезпечить мінімізацію втрат від дефіциту, вивільнення «заморожених» коштів з неліквідних запасів та скорочення середнього часу виконання ремонту, підвищуючи конкурентоспроможність підприємства на ринку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИ ДЖЕРЕЛ

1. Алесинська Т. В. Основи логістики. Загальні питання логістичного управління: навч. посібник. Таганрог: Вид-во ТРТУ, 2019. 121 с.
Alesynska, T. V. (2019). Osnovy lohistyky. Zahalni pytannia lohistychnoho upravlinnia [Fundamentals of logistics. General issues of logistics management]. Tahanroh: TRTU.
2. Бауерсокс Д. Дж., Клосс Д. Дж. Логістика: інтегрований ланцюг поставок. Київ: Олімп-Бізнес, 2020. 640 с.
Bauersoks, D. Dzh., & Kloss, D. Dzh. (2020). Lohistyka: intehrovanyi lantsiuh postavok [Logistics: Integrated Supply Chain]. Kyiv: Olimp-Biznes.
3. Бойчик І. М. Економіка підприємства: навч. посібник. Київ: Атіка, 2019. 480 с.
Boichyk, I. M. (2019). Ekonomika pidpryiemstva [Enterprise economy]. Kyiv: Atika.
4. Браун Р. Г. Статистичне прогнозування для управління запасами (пер. з англ.). Нью-Йорк: McGraw-Hill, 2018. 232 с.
Braun, R. H. (2018). Statystychne prohnozuvannia dlia upravlinnia zapasamy [Statistical forecasting for inventory management]. New York: McGraw-Hill.
5. Бродецький Г. Л. Управління запасами: навч. посібник. Київ: Ексмо, 2019. 352 с.
Brodetskyi, H. L. (2019). Upravlinnia zapasamy [Inventory management]. Kyiv: Eksmo.
6. Вітлінський В. В. Моделювання економіки: навч. посібник. Київ: КНЕУ, 2018. 408 с.
Vitlinskyi, V. V. (2018). Modeliuvannia ekonomiky [Modeling of the economy]. Kyiv: KNEU.
7. Вітлінський В. В., Скіцько В. І. Ризикологія в економіці та підприємстві: монографія. Київ: КНЕУ, 2018. 480 с.

- Vitlinskyi, V. V., & Skitsko, V. I. (2018). *Ryzykologhiia v ekonomitsi ta pidpriemnytstvi* [Riskology in economics and entrepreneurship]. Kyiv: KNEU.
8. Вовчак О. Д. Страхові запаси в системі логістики підприємства. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2021. № 76. С. 15–21.
Vovchak, O. D. (2021). Strakhovi zapasy v systemi lohistyky pidpriemstva [Safety stocks in the enterprise logistics system]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika"*, (76), 15–21.
 9. Гаджинський А. М. Логістика: підручник для вищих та середніх спеціальних навчальних закладів. Київ: Дашков і Ко, 2021. 484 с.
Hadzhynskyi, A. M. (2021). *Lohistyka* [Logistics]. Kyiv: Dashkov i Ko.
 10. Геєць В. М., Клебанова Т. С., Черняк О. І. та ін. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування: підручник. Харків: ВД «ІНЖЕК», 2005. 396 с.
Heiets, V. M., Klebanova, T. S., Cherniak, O. I., et al. (2005). *Modeli i metody sotsialno-ekonomichnoho prohnozuvannia* [Models and methods of socio-economic forecasting]. Kharkiv: VD "INZhEK".
 11. Герасимчук В. Г. Моделювання та прогнозування економічних процесів. Київ: Кондор, 2019. 302 с.
Herasymchuk, V. H. (2019). *Modeliuvannia ta prohnozuvannia ekonomichnykh protsesiv* [Modeling and forecasting of economic processes]. Kyiv: Kondor.
 12. Глушчевський В. В. Управління запасами в ланцюгах постачань: теорія та практика. Харків: ХНЕУ, 2020. 210 с.
Hlushchevskyi, V. V. (2020). *Upravlinnia zapasamy v lantsiuhakh postachan: teoriia ta praktyka* [Inventory management in supply chains: theory and practice]. Kharkiv: KhNEU.
 13. Григорак М. Ю. Логістичний сервіс та управління запасами. Київ: КНТЕУ, 2018. 320 с.
Hryhorak, M. Yu. (2018). *Lohistychnyi servis ta upravlinnia zapasamy* [Logistics service and inventory management]. Kyiv: KNTEU.
 14. Григорак М. Ю., Марчук В. Є., Гармаш О. М. Складська логістика: навчальний посібник. Київ: ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. 256 с.

- Hryhorak, M. Yu., Marchuk, V. Ye., & Harmash, O. M. (2020). *Skladaska lohistyka* [Warehouse logistics]. Kyiv: OLDI-PLiUS.
15. Джонсон Д., Вуд Д., Вордлоу Д. Сучасна логістика. Київ: Вільямс, 2019. 624 с.
- Dzhonson, D., Vud, D., & Vordlou, D. (2019). *Suchasna lohistyka* [Contemporary logistics]. Kyiv: Viliams.
16. Загорна Т. О. Економічна діагностика: навч. посібник. Київ: Центр учбової літератури, 2020. 400 с.
- Zahorna, T. O. (2020). *Ekonomichna diahnostyka* [Economic diagnostics]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury.
17. Кальченко А. Г. Логістика: підручник. Київ: КНЕУ, 2003. 284 с.
- Kalchenko, A. H. (2003). *Lohistyka* [Logistics]. Kyiv: KNEU.
18. Клебанова Т. С. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування: підручник. Харків: ВД «ІНЖЕК», 2019. 396 с.
- Klebanova, T. S. (2019). *Modeli i metody sotsialno-ekonomichnoho prohnouzuvannia* [Models and methods of socio-economic forecasting]. Kharkiv: VD "INZhEK".
19. Костюк О. С. Логістичне обслуговування в сервісних центрах: особливості та перспективи. *Економіка та держава*. 2023. № 5. С. 45–49.
- Kostiuk, O. S. (2023). *Lohistychne obsluhovuvannia v servisnykh tsentrakh: osoblyvosti ta perspektyvy* [Logistics service in service centers: features and prospects]. *Ekonomika ta derzhava*, (5), 45–49.
20. Крикавський Є. В., Похильченко О. А., Фертч М. Логістика та управління ланцюгами поставок: підручник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 848 с.
- Krykavskiy, Ye. V., Pokhylchenko, O. A., & Fertch, M. (2019). *Lohistyka ta upravlinnia lantsiuhamy postavok* [Logistics and supply chain management]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky.
21. Кристофер М. Логістика та управління ланцюгами поставок. Київ: Пітер, 2019. 320 с.

- Krystofer, M. (2019). *Lohistyka ta upravlinnia lantsiuhamy postavok* [Logistics and supply chain management]. Kyiv: Piter.
22. Ларіна Р. Р. Логістика: навч. посібник. Донецьк: ВІК, 2005. 335 с.
Larina, R. R. (2005). *Lohistyka* [Logistics]. Donetsk: VIK.
23. Лукінський В. С. Моделі та алгоритми управління запасами в ланцюгах постачань. *Логістика*. 2020. № 3. С. 22–27.
Lukinskyi, V. S. (2020). Modeli ta alhorytmy upravlinnia zapasamy v lantsiuhakh postachan [Models and algorithms of inventory management in supply chains]. *Lohistyka*, (3), 22–27.
24. Мельникова К. В., Колодізева Т. О., Авраменко О. В. Логістика: навч. посібник. Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. 272 с.
Melnykova, K. V., Kolodizieva, T. O., & Avramenko, O. V. (2015). *Lohistyka* [Logistics]. Kharkiv: KhNEU im. S. Kuznetsia.
25. Міщенко Д. А. Організація та проектування логістичних систем. Київ: Центр учбової літератури, 2020. 268 с.
Mishchenko, D. A. (2020). *Orhanizatsiia ta proektuvannia lohistychnykh system* [Organization and design of logistic systems]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury.
26. Ніколаєва О. Г., Овчаров А. А. Моделювання системи управління запасами сервісного центру на основі адаптивних методів. *Економічна кібернетика: теорія, практика та напрямки розвитку: тези доповідей Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 27–28 лист. 2025 р.)*. Одеса: НУ «ОП», 2025. С. 202–205.
Nikolaieva, O. H., & Ovcharov, A. A. (2025). Modeliuvannia systemy upravlinnia zapasamy servisnoho tsentru na osnovi adaptivnykh metodiv [Modeling of the service center inventory management system based on adaptive methods]. In *Ekonomichna kibernetika: teoriia, praktyka ta napriamky rozvytku* [Economic cybernetics: theory, practice and directions of development] (pp. 202–205). Odesa: NU "OP".
27. Окландер М. А. Логістика: підручник. Київ: Центр учбової літератури, 2008. 346 с.

- Oklander, M. A. (2008). *Lohistyka* [Logistics]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury.
28. Пеняк Ю. С., Калиниченко О. А. Моделі та методи управління виробничими запасами на підприємстві. *Проблеми сучасних трансформацій. Серія: економіка та управління*. 2024. № 15. URL: <https://reicst.com.ua/pmt/article/view/2024-15-09-01>
- Peniak, Yu. S., & Kalynychenko, O. A. (2024). Modeli ta metody upravlinnia vyrobnychymy zapasamy na pidpriemstvi [Models and methods of production inventory management at the enterprise]. *Problemy suchasnykh transformatsii. Serii: ekonomika ta upravlinnia*, (15). Retrieved from <https://reicst.com.ua/pmt/article/view/2024-15-09-01>
29. Пономаренко В. С., Таньков К. М., Лепа Р. М. Інформаційні системи і технології в економіці: підручник. Київ: Академія, 2017. 464 с.
- Ponomarenko, V. S., Tankov, K. M., & Lepa, R. M. (2017). *Informatsiini systemy i tekhnolohii v ekonomitsi* [Information systems and technologies in economics]. Kyiv: Akademiia.
30. Посилкіна О. В. Управління запасами в фармації та сфері послуг: навч. посібник. Харків: НФаУ, 2019. 280 с.
- Posylkina, O. V. (2019). *Upravlinnia zapasamy v farmatsii ta sferi posluh* [Inventory management in pharmacy and the service sector]. Kharkiv: NFaU.
31. Стерлігова А. Н. Управління запасами в ланцюгах поставок: підручник. Київ: Центр учбової літератури, 2019. 430 с.
- Sterlihova, A. N. (2019). *Upravlinnia zapasamy v lantsiuhakh postavok* [Inventory management in supply chains]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury.
32. Сумець О. М., Кононов І. О., Огієнко О. С. та ін. Виробнича логістика: навч. посібник. Харків: Пром-Арт, 2021. 120 с.
- Sumets, O. M., Kononov, I. O., & Ohienko, O. S. (2021). *Vyrobnycha lohistyka* [Production logistics]. Kharkiv: Prom-Art.
33. Таньков К. М. Виробнича логістика: навч. посібник. Харків: ВД «ІНЖЕК», 2019. 352 с.

- Tankov, K. M. (2019). *Vyrobnycha lohistyka* [Production logistics]. Kharkiv: VD "INZhEK".
- 34.Тридід О. М., Таньков К. М. Логістика: навч. посібник. Київ: Сисин, 2018. 176 с.
- Trydid, O. M., & Tankov, K. M. (2018). *Lohistyka* [Logistics]. Kyiv: Sysyn.
- 35.Уотерс Д. Логістика. Управління ланцюгом постачання. Київ: Юніті-Дана, 2019. 503 с.
- Uoters, D. (2019). *Lohistyka. Upravlinnia lantsiuhom postachannia* [Logistics. Supply chain management]. Kyiv: Yuniti-Dana.
- 36.Фролова Л. В. Логістичне управління торговельним підприємством: монографія. Донецьк: ДонДУЕТ, 2018. 322 с.
- Frolova, L. V. (2018). *Lohistychne upravlinnia torhovelnyum pidpryiemstvom* [Logistics management of a trade enterprise]. Donetsk: DonDUET.
- 37.Харрісон А., ван Хоук Р. Управління логістикою та ланцюгами постачань. Дніпро: Баланс Бізнес Букс, 2019. 368 с.
- Harrison, A., & van Houk, R. (2019). *Upravlinnia lohistykoyu ta lantsiuhamy postachan* [Logistics and supply chain management]. Dnipro: Balans Biznes Buks.
- 38.Чопра С., Мейндл П. Управління ланцюгом постачання: стратегія, планування та організація. Київ: Пітер, 2019. 528 с.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Upravlinnia lantsiuhom postachannia: stratehiia, planuvannia ta orhanizatsiia* [Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation]. Kyiv: Piter.
- 39.Чухрай Н. І.Формування ланцюга поставок: питання теорії та практики: монографія. Львів: Інтелект-Захід, 2018. 350 с.
- Chukhrai, N. I. (2018). *Formuvannia lantsiuha postavok: pytannia teorii ta praktyky* [Supply chain formation: theory and practice issues]. Lviv: Intellect-Zakhid.
- 40.Шапіро Дж. Моделювання ланцюга поставок. Київ: Пітер, 2019. 720 с.
- Shapiro, Dzh. (2019). *Modeliuvannia lantsiuha postavok* [Supply chain modeling]. Kyiv: Piter.

41. Шеремет А. Д. Управлінський облік: навч. посібник. Київ: ІДФБ-Прес, 2018. 512 с.
 Sheremet, A. D. (2018). *Upravlinskyi oblik* [Management accounting]. Kyiv: IDFB-Pres.
42. Шрайбфедер Дж. Ефективне управління запасами. Київ: Альпіна Бізнес Букс, 2020. 304 с.
 Shraibfeder, Dzh. (2020). *Efektivne upravlinnia zapasamy* [Effective inventory management]. Kyiv: Alpina Biznes Buks.
43. Яковенко В. В. Системи управління запасами в умовах невизначеності. *Моделювання та інформаційні системи в економіці*. 2021. № 90. С. 132–142.
 Yakovenko, V. V. (2021). *Systemy upravlinnia zapasamy v umovakh nevyznachenosti* [Inventory management systems under uncertainty]. *Modeliuvannia ta informatsiini systemy v ekonomitsi*, (90), 132–142.
44. Bacchetti, A., & Saccani, N. (2012). Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. *Omega*, 40(6), 722–737.
45. Botter, R., & Fortuin, L. (2000). Stocking strategy for service parts: a case study. *International Journal of Operations & Production Management*, 20(6), 656–674.
46. Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson.
47. Croston, J. D. (1972). Forecasting and stock control for intermittent demands. *Operational Research Quarterly*, 23(3), 289–303.
48. Hadley, G., & Whitin, T. M. (2018). *Analysis of Inventory Systems* (Reprint). Prentice Hall.
49. Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*. Pearson.
50. Huiskonen, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International Journal of Production Economics*, 71(1–3), 125–133.

51. Kennedy, W. J., Patterson, J. W., & Fredendall, L. D. (2002). An overview of recent literature on spare parts inventories. *International Journal of Production Economics*, 76(2), 201–215.
52. Lewis, C. D. (2019). *Industrial and Business Forecasting Methods*. Butterworth-Heinemann.
53. Sherbrooke, C. C. (2004). *Optimal inventory modeling of systems: multi-echelon techniques* (2nd ed.). Boston: Kluwer Academic Publishers.
54. Silver, E. A., Pyke, D. F., & Thomas, D. J. (2017). *Inventory and Production Management in Supply Chains*. CRC Press.
55. Snyder, L. V., & Shen, Z. J. (2019). *Fundamentals of Supply Chain Theory*. Wiley.
56. Syntetos, A. A., & Boylan, J. E. (2005). The accuracy of intermittent demand estimates. *International Journal of Forecasting*, 21, 303–314.
57. Teunter, R. H., Syntetos, A. A., & Babai, M. Z. (2011). Intermittent demand: Linking forecasting to inventory obsolescence. *European Journal of Operational Research*, 214(3), 606–615.
58. Wright, D. J. (1986). Forecasting Data Published at Irregular Time Intervals Using an Extension of Holt's Method. *Management Science*, 32(4), 499–510.

ДОДАТКИ

Додаток 1

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ПОБУДОВИ ДІАГРАМИ РОЗПОДІЛУ НОМЕНКЛАТУРИ (АВС-КЛАСИ)

```
import matplotlib.pyplot as plt

# === БЛОК ДАНИХ (з попереднього аналізу) ===
labels = ['A', 'B', 'C', 'D']
counts = [13, 9, 9, 4] # Кількість SKU
values = [1222096.0, 253423.0, 80581.0, 0.0] # Вартість споживання (D має 0)
# =====

# Налаштування кольорів для класів (A, B, C, D)
colors = ['#4F81BD', '#C0504D', '#9BBB59', '#8064A2'] # Синій, Червоний,
Зелений, Фіолетовий

# Створення фігури з двома підграфіками (1 рядок, 2 колонки)
fig, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2, figsize=(14, 7))

# --- Графік 1: Частка за кількістю ---
wedges1, texts1, autotexts1 = ax1.pie(
    counts,
    labels=labels,
    autopct='%1.1f%%',
    startangle=140,
    colors=colors,
    pctdistance=0.6,
    textprops={'fontsize': 12}
)

ax1.set_title('Структура номенклатури\n(Кількість SKU)', fontsize=14,
fontweight='bold')

# Покращення читабельності тексту на секторах
for text in autotexts1:
    text.set_color('white')
```

```

text.set_weight('bold')

# --- Графік 2: Частка за вартістю ---
# Фільтруємо нульові значення (Клас D має 0 вартості), щоб не псувати графік
values_filtered = []
labels_filtered = []
colors_filtered = []

for v, l, c in zip(values, labels, colors):
    if v > 0:
        values_filtered.append(v)
        labels_filtered.append(l)
        colors_filtered.append(c)

wedges2, texts2, autotexts2 = ax2.pie(
    values_filtered,
    labels=labels_filtered,
    autopct='%1.1f%%',
    startangle=140,
    colors=colors_filtered,
    pctdistance=0.6,
    textprops={'fontsize': 12}
)

ax2.set_title('Структура вартості запасів\n(Грошовий оборот)', fontsize=14,
fontweight='bold')

# Покращення читабельності тексту
for text in autotexts2:
    text.set_color('white')
    text.set_weight('bold')

# --- Загальний заголовок ---
plt.suptitle('Рис. 3.1. Розподіл номенклатури за обраними стратегіями (ABC-
класи)', fontsize=16, y=0.95)

# Збереження та відображення
output_filename = 'Fig_3_1_ABC_Pie_Charts.png'
plt.savefig(output_filename, dpi=300)

```

```
print(f"Графік збережено як {output_filename}")
plt.show()
```

Додаток 2

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ЗАПАСІВ (SKU: D-IP11-НС)

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import random

# --- Налаштування ---
# Використовуємо фіксоване "зерно" випадковості, щоб графік завжди виглядав
# однаково красиво
random.seed(42)
np.random.seed(42)

# --- Параметри моделі (з розрахунків розділу 3.1) ---
SKU = "D-IP11-НС"
ROP = 4          # Точка замовлення (Reorder Point)
SS = 3           # Страховий запас (Safety Stock)
LT = 2           # Час доставки (Lead Time, дні)
Q = 10           # Оптимальна партія замовлення (EOQ / Monthly Demand)
Start_Stock = 12 # Початковий залишок (наприклад, після поставки)

# --- Вихідні дані попиту (Лютий - Квітень 2024) ---
# Дані взяті з abc_xyz_analysis_full.csv
monthly_demands = [10, 10, 6]
days_in_months = [29, 31, 30] # 2024 рік - високосний

# --- Генерація щоденного попиту (симуляція) ---
daily_demand = []
for demand, days in zip(monthly_demands, days_in_months):
    month_sales = np.zeros(days)
    # Випадковим чином розподіляємо продажі всередині місяця
    sale_days = np.random.choice(days, demand, replace=True)
```

```

for day in sale_days:
    month_sales[day] += 1
daily_demand.extend(month_sales)

# --- Симуляція руху запасів ---
inventory = []
current_stock = Start_Stock
pending_orders = []
# Список замовлень у дорозі: [(день_прибуття, кількість)]

simulation_days = len(daily_demand)
time_axis = np.arange(simulation_days)

for day in range(simulation_days):
    # 1. Надходження товару (початок дня)
    # Перевіряємо, чи приїхало замовлення сьогодні
    remaining_orders = []
    for arrival_day, qty in pending_orders:
        if day >= arrival_day:
            current_stock += qty # Товар надійшов на склад
        else:
            remaining_orders.append((arrival_day, qty))
    pending_orders = remaining_orders

    # 2. Списання товару (продажі за день)
    todays_demand = daily_demand[day]
    current_stock -= todays_demand

    # Записуємо залишок на кінець дня
    inventory.append(current_stock)

    # 3. Перевірка необхідності замовлення (кінець дня)
    # Рахуємо Inventory Position = Залишок на складі + Товари в дорозі
    stock_in_transit = sum(o[1] for o in pending_orders)
    inventory_position = current_stock + stock_in_transit

    # Якщо позиція запасу впала до або нижче ROP — замовляємо

```

```

    if inventory_position <= ROP:
        arrival_day = day + LT
        pending_orders.append((arrival_day, Q))

# --- Побудова графіка ---
plt.figure(figsize=(10, 6))

# Малюємо лінії
plt.plot(time_axis, inventory, label='Фактичний залишок', color='blue',
         linewidth=2)

plt.axhline(y=ROP, color='orange', linestyle='--', label=f'Точка замовлення (ROP = {ROP} шт.)', linewidth=2)

plt.axhline(y=SS, color='red', linestyle='-', label=f'Страховий запас (SS = {SS} шт.)', linewidth=2)

# Оформлення графіка
plt.title(f'Рис. 3.2. Динаміка руху запасів моделі {SKU} з використанням точки перезамовлення', fontsize=14)
plt.xlabel('Дні (Лютий - Квітень 2024)', fontsize=12)
plt.ylabel('Кількість на складі (шт.)', fontsize=12)
plt.legend(loc='upper right', frameon=True, fontsize=10)
plt.grid(True, linestyle=':', alpha=0.7)
plt.ylim(bottom=0, top=max(inventory)+2) # Обмежуємо вісь Y, щоб було красиво

# Вивід
plt.tight_layout()
plt.show()

```

Додаток 3

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ АНАЛІЗУ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ДИНАМІКИ ПОПИТУ (ГРУПИ А ТА Z)

```

import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.ticker as ticker
import numpy as np

# === 1. ВХІДНІ ДАНІ (Вбудовані з вашого файлу ABC/XYZ) ===

```



```

# Період: 24 місяці (Лютий 2023 - Січень 2025)
months = [
    "02.23", "03.23", "04.23", "05.23", "06.23", "07.23",
    "08.23", "09.23", "10.23", "11.23", "12.23", "01.24",
    "02.24", "03.24", "04.24", "05.24", "06.24", "07.24",
    "08.24", "09.24", "10.24", "11.24", "12.24", "01.25"
]

# Товар групи А (Стабільний високий попит) - наприклад: LCD-IPHONE-11
sales_a = [
    15, 23, 10, 18, 14, 18, 18, 20, 20, 30, 19, 21,
    16, 24, 12, 19, 15, 17, 19, 21, 22, 29, 20, 22
]

# Товар групи Z (Хаотичний/Низький попит) - наприклад: IC-PMIC-IPHONE-X
sales_z = [
    0, 2, 0, 0, 1, 0, 3, 0, 0, 1, 0, 0,
    0, 2, 0, 1, 0, 0, 2, 0, 0, 1, 0, 0
]

# === 2. ПОБУДОВА ГРАФІКА ===

# Створення фігури та осей
fig, ax1 = plt.subplots(figsize=(12, 6))

# Налаштування першої осі (лівої) - для Групи А
color_a = 'tab:blue'
line1 = ax1.plot(months, sales_a, color=color_a, marker='o', linestyle='-',
                  linewidth=2, label='Група А (Високий стабільний попит)')
ax1.set_xlabel('Місяці (період аналізу)', fontsize=12)
ax1.set_ylabel('Обсяг продажу Групи А (шт.)', color=color_a, fontsize=12,
               fontweight='bold')
ax1.tick_params(axis='y', labelcolor=color_a)
ax1.set_ylim(0, max(sales_a) * 1.2) # Відступ зверху для краси
ax1.grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)

# Налаштування другої осі (правої) - для Групи Z

```

```

ax2 = ax1.twinx() # Створюємо другу вісь, що ділить спільний X
color_z = 'tab:red'
line2 = ax2.plot(months, sales_z, color=color_z, marker='s', linestyle='--',
                  linewidth=2, label='Група Z (Низький хаотичний попит)')
ax2.set_ylabel('Обсяг продажу Групи Z (шт.)', color=color_z, fontsize=12,
               fontweight='bold')
ax2.tick_params(axis='y', labelcolor=color_z)
ax2.set_ylim(0, 5) # Фіксуємо масштаб для Z, щоб видно було сплески (0-5 шт)

# === 3. ОФОРМЛЕННЯ ===

# Налаштування осі X (поворот підписів, щоб не зливалися)
plt.setp(ax1.get_xticklabels(), rotation=45, ha="right")

# Заголовок графіка (як у дипломній роботі)
plt.title("Рис. 3.1. Порівняльна динаміка попиту на товари груп А та
Z\n(Демонстрація відмінностей у стабільності споживання)",
          fontsize=14, pad=20)

# Об'єднання легенд двох осей в одну
lines = line1 + line2
labels = [l.get_label() for l in lines]
ax1.legend(lines, labels, loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.15),
           ncol=2, frameon=False, fontsize=11)

# Компактне розташування елементів
plt.tight_layout()

# Відображення
plt.show()

```

Додаток 4

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ РОЗРАХУНКУ ПРОФІЛЮ СЕЗОННОСТІ (ТОВАРНА ГРУПА А)

```
import pandas as pd
```

```

import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

# =====
# 1. Вхідні дані (статистика продажів)
# =====
# Дані взяті з аналізу: Дисплейний модуль (в зборі) для iPhone 12 / 12 Pro
raw_data = {
    'Date': [
        '2023-02-01', '2023-03-01', '2023-04-01', '2023-05-01', '2023-06-01',
        '2023-07-01',
        '2023-08-01', '2023-09-01', '2023-10-01', '2023-11-01', '2023-12-01',
        '2024-01-01', '2024-02-01', '2024-03-01', '2024-04-01', '2024-05-01',
        '2024-06-01',
        '2024-07-01', '2024-08-01', '2024-09-01', '2024-10-01', '2024-11-01',
        '2024-12-01'
    ],
    'Sales': [
        4, 4, 3, 5, 5, 5, 4, 3, 5, 4, 3,  # 2023 рік (без січня)
        4, 3, 3, 4, 4, 4, 4, 4, 3, 5, 6, 4 # 2024 рік
    ]
}

# Створення DataFrame
df = pd.DataFrame(raw_data)
df['Date'] = pd.to_datetime(df['Date'])
df['Month'] = df['Date'].dt.month

# =====
# 2. Розрахунок сезонності
# =====
# Розрахунок середньомісячних продажів
monthly_avg = df.groupby('Month')['Sales'].mean()

# Розрахунок загального середнього (Overall Average)
overall_avg = df['Sales'].mean()

# Розрахунок індексів сезонності
seasonal_indices = monthly_avg / overall_avg

```

```

# Підготовка даних для графіка
months_num = range(1, 13)

# Оскільки у нас може не бути даних за всі місяці в "чистому" вигляді (січень є
тільки в 2024),

# переконаємося, що індекси є для всіх 12 місяців (fill missing if any, though
here we have all)

indices_values = [seasonal_indices.get(m, 1.0) for m in months_num]

month_names = ['Січ', 'Лют', 'Бер', 'Кві', 'Тра', 'Чер', 'Лип', 'Сер', 'Вер',
'Жов', 'Лис', 'Гру']

# =====
# 3. Побудова графіка (Рис. 3.7)
# =====

plt.figure(figsize=(10, 6))

# Лінія сезонності

plt.plot(months_num, indices_values, marker='o', linewidth=2.5, color='#0052cc',
label='Індекс сезонності')

# Лінія середнього рівня (1.0)

plt.axhline(1.0, color='red', linestyle='--', linewidth=1.5, label='Середній
рівень (1.0)')

# Оформлення

plt.title('Рис. 3.7. Профіль сезонності для товару\n"Дисплейний модуль (в зборі)
для iPhone 12/12 pro"', fontsize=14, pad=15)

plt.xlabel('Місяць', fontsize=12)

plt.ylabel('Коефіцієнт сезонності', fontsize=12)

plt.xticks(months_num, month_names, fontsize=10)

plt.yticks(fontsize=10)

plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.7)

plt.legend(fontsize=11)

plt.ylim(0.6, 1.4) # Межі осі Y для кращої візуалізації

# Збереження та відображення

plt.tight_layout()

plt.show()

# Вивід розрахованих коефіцієнтів у текстовому вигляді (для перевірки)

```

```
print("Розраховані коефіцієнти сезонності:")
for m, val in zip(month_names, indices_values):
    print(f"{m}: {val:.4f}")
```

Додаток 5

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТОДОМ ЕКСПОНЕНЦІЙНОГО ЗГЛАДЖУВАННЯ (HOLT-WINTERS)

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.dates as mdates
from statsmodels.tsa.holtwinters import ExponentialSmoothing
from datetime import datetime

# =====
# 1. Вхідні дані (Вбудовані)
# =====
# Дані за 24 місяці (2 роки) для коректної роботи сезонної моделі
dates_str = [
    '01.01.2023', '01.02.2023', '01.03.2023', '01.04.2023', '01.05.2023',
    '01.06.2023',
    '01.07.2023', '01.08.2023', '01.09.2023', '01.10.2023', '01.11.2023',
    '01.12.2023',
    '01.01.2024', '01.02.2024', '01.03.2024', '01.04.2024', '01.05.2024',
    '01.06.2024',
    '01.07.2024', '01.08.2024', '01.09.2024', '01.10.2024', '01.11.2024',
    '01.12.2024'
]

values = [
    4.0, 4.0, 4.0, 3.0, 5.0, 5.0, 5.0, 4.0, 3.0, 5.0, 4.0, 3.0,
    4.0, 3.0, 3.0, 4.0, 4.0, 4.0, 4.0, 4.0, 3.0, 5.0, 6.0, 4.0
]

# Створення часового ряду
dates = [datetime.strptime(d, '%d.%m.%Y') for d in dates_str]
ts = pd.Series(values, index=dates)
```

```

# =====
# 2. Розрахунок моделі (Хольта-Вінтерса)
# =====
# Використовуємо адитивну модель (тренд + сезонність)
model = ExponentialSmoothing(ts,
                             seasonal='add',
                             trend='add',
                             seasonal_periods=12,
                             initialization_method="estimated").fit()

# Отримуємо значення, які розраховувала модель для минулого періоду (Fitted
values)
forecast_fitted = model.fittedvalues

# Робимо прогноз на 3 місяці вперед
forecast_future = model.forecast(3)

# =====
# 3. Побудова графіка (Рис. 3.8)
# =====
plt.figure(figsize=(11, 6))
plt.grid(True, which='both', linestyle='--', linewidth=0.5, color='gray',
alpha=0.5)

# 1. Графік Факту (Синя суцільна лінія)
plt.plot(ts.index, ts.values, marker='o', color='#0052cc', linewidth=2.5,
         label='Факт (реальні продажі)', zorder=3)

# 2. Графік Моделі/Прогнозу (Помаранчева пунктирна)
plt.plot(forecast_fitted.index, forecast_fitted.values, color='#ff4500',
         linestyle='--', linewidth=2, label='Розрахунковий прогноз (модель)',
         zorder=4)

# 3. Прогноз на майбутнє (Зірочки)
plt.plot(forecast_future.index, forecast_future.values, marker='*',
         markersize=12,
         color='#ff4500', linestyle=':', linewidth=2, label='Прогноз на
майбутнє', zorder=5)

```

```

# Оформлення осей та підписів
plt.gca().xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%m.%Y'))
plt.gca().xaxis.set_major_locator(mdates.MonthLocator(interval=2))
plt.gcf().autofmt_xdate()

plt.title('Рис. 3.8. Співставлення динаміки фактичних продажів та
прогнозу\nТовар: Дисплейний модуль iPhone 12/12 Pro', fontsize=14, pad=15)
plt.xlabel('Період (місяць.рік)', fontsize=12)
plt.ylabel('Обсяг продажів (шт.)', fontsize=12)
plt.legend(loc='upper left', frameon=True, fancybox=True, shadow=True)

plt.tight_layout()

# Збереження або відображення
plt.savefig('fig_3_8_forecast.png', dpi=300)
plt.show()

```

Додаток 6

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ПОБУДОВИ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ДІАГРАМИ ЕФЕКТИВНОСТІ (МАРЕ)

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# 1. Данные для построения (из текста работы)
# Сравниваем "Интуитивный метод" и "Предложенную модель"
categories = ['Інтуїтивний метод\n(експертна оцінка)', 'Запропонована
модель\n(експоненційне згладжування)']
mare_values = [38.5, 18.1]

# 2. Настройка цветов
# Красный оттенок для старого метода (высокая ошибка), синий для нового (низкая
ошибка)
colors = ['#d65f5f', '#4c72b0']

# 3. Создание фигуры (размер 9 на 6 дюймов)
plt.figure(figsize=(9, 6))

```

```

# Построение столбцов
bars = plt.bar(categories, mape_values, color=colors, width=0.5, zorder=3)

# 4. Добавление подписей значений над столбцами
for bar in bars:
    height = bar.get_height()
    plt.text(bar.get_x() + bar.get_width()/2, height + 0.5,
             f'{height}%',
             ha='center', va='bottom', fontsize=14, fontweight='bold',
             color='#333333')

# 5. Оформление осей и заголовка
plt.ylabel('Середня помилка прогнозування (MAPE), %', fontsize=12)
plt.title('Рис. 3.9. - Порівняльна діаграма середньої помилки\нпрогнозування (MAPE)', fontsize=14, fontweight='bold', pad=20)

# Добавляем сетку на задний план (только горизонтальную)
plt.grid(axis='y', linestyle='--', alpha=0.7, zorder=0)

# Увеличиваем предел по оси Y, чтобы подписи влезли красиво
plt.ylim(0, 45)

# 6. Сохранение и отображение
plt.tight_layout()

# Если нужно сохранить файл в Colab, раскомментируйте строку ниже:
# plt.savefig('Рис_3.9_MAPE.png', dpi=300)

plt.show()

```

Додаток 7

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ ВИЗНАЧЕННЯ ТОЧКИ МІНІМУМУ СУКУПНИХ ВИТРАТ (EOQ)

```

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

```



```

# 1. Вхідні дані (згідно з текстом роботи)
D = 78          # Річний попит (шт.)
S = 150         # Витрати на одне замовлення (грн.)
H = 308         # Витрати на зберігання одиниці запасу на рік (грн.)

# 2. Розрахунок EOQ та витрат
# Формула Вілсона
EOQ = np.sqrt((2 * D * S) / H)

# Генерація діапазону значень розміру замовлення (Q) для вісі X
# Від 1 до 25 штук для наочності графіка
Q = np.linspace(1, 25, 100)

# Розрахунок кривих витрат
ordering_cost = (D / Q) * S          # Витрати на замовлення
holding_cost = (Q / 2) * H           # Витрати на зберігання
total_cost = ordering_cost + holding_cost # Сукупні витрати

# Розрахунок точки мінімуму (для відображення на графіку)
min_tc = (D / EOQ) * S + (EOQ / 2) * H

# 3. Побудова графіка
plt.figure(figsize=(10, 6), dpi=300) # dpi=300 для високої якості друку

# Побудова трьох ліній
plt.plot(Q, holding_cost, label='Витрати на зберігання (Holding Cost)',
         color='green', linestyle='--', linewidth=1.5)
plt.plot(Q, ordering_cost, label='Витрати на замовлення (Ordering Cost)',
         color='blue', linestyle='--', linewidth=1.5)
plt.plot(Q, total_cost, label='Сукупні витрати (Total Cost)',
         color='red', linewidth=2.5)

# 4. Додавання маркерів та анотацій (Точка EOQ)
plt.scatter([EOQ], [min_tc], color='black', zorder=5, s=50) # Точка мінімуму
plt.vlines(EOQ, 0, min_tc, linestyles='dotted', colors='black', alpha=0.7) #
Вертикальна лінія

```

```

# Текстовий підпис біля точки
text_label = f'EOQ ≈ {EOQ:.2f} шт.\nMin TC ≈ {min_tc:.2f} грн'
plt.text(EOQ + 0.5, min_tc, text_label, verticalalignment='bottom', fontsize=10)

# 5. Оформлення (Заголовки та осі)
plt.title('Рис. 3.10. - Визначення точки мінімуму сукупних витрат (EOQ)',
          fontsize=12, fontweight='bold', pad=15)
plt.xlabel('Розмір замовлення (Q), шт.', fontsize=11)
plt.ylabel('Витрати, грн.', fontsize=11)

# Легенда та сітка
plt.legend(loc='upper center', frameon=True)
plt.grid(True, linestyle=':', alpha=0.6)

# Обмеження осей для кращого вигляду
plt.xlim(0, 25)
plt.ylim(0, max(total_cost) * 0.8) # Обрізаємо дуже високі значення на початку графіка

# 6. Виведення (або збереження)
plt.tight_layout()
plt.show()
# plt.savefig('fig_3_9_eoq.png') # Розкоментуйте для збереження файлу

```

Додаток 8

ЛІСТИНГ ПРОГРАМИ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ЗАПАСІВ З ФІКСОВАНИМ РОЗМІРОМ ЗАМОВЛЕННЯ ТА СТРАХОВИМ РЕЗЕРВОМ

```

import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Параметры из текста работы
Q = 9          # Размер заказа (шт.)
ROP = 5        # Точка перезаказа (шт.)
L = 3          # Время доставки (дни)

```

```

SS = 3.4          # Страховой запас (расчетный остаток)
d = (ROP - SS) / L # Среднедневной спрос

# Моделирование циклов
Max_Inv = SS + Q
t0 = 0
t1 = (Max_Inv - ROP) / d # Время до достижения ROP
t2 = t1 + L             # Время прихода заказа (достижение SS)

# Координаты для графика (2 цикла)
times = [t0, t1, t2, t2, t2 + t1, t2 + t2, t2 + t2]
inventory = [Max_Inv, ROP, SS, Max_Inv, ROP, SS, Max_Inv]

# Построение
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(times, inventory, color='black', linewidth=2, label='Рівень запасу')

# Линии уровней
plt.axhline(y=SS, color='red', linestyle='--', linewidth=1.5)
plt.text(0, SS - 0.5, 'Страховий запас (SS = 3.4)', color='red', fontsize=10,
va='top')

plt.axhline(y=ROP, color='blue', linestyle='--', linewidth=1.5)
plt.text(0, ROP + 0.2, 'Точка перезамоулення (ROP = 5)', color='blue',
fontsize=10, va='bottom')

# Стрелки и подписи
plt.annotate('', xy=(t2, SS + 1), xytext=(t1, SS + 1),
arrowprops=dict(arrowstyle='<->', color='purple'))
plt.text((t1+t2)/2, SS + 1.2, 'Lead Time (L=3)', ha='center', color='purple')

plt.annotate('', xy=(t2, Max_Inv), xytext=(t2, SS),
arrowprops=dict(arrowstyle='<->', color='black'))
plt.text(t2 + 0.5, (Max_Inv + SS)/2, 'Q = 9', va='center')

plt.title('Рис. 3.11. - Модель руху запасів з фіксованим розміром замовлення та
страховим резервом')
plt.xlabel('Час (дні)')
plt.ylabel('Рівень запасу (шт.)')

```

```
plt.grid(True, linestyle=':', alpha=0.6)
plt.ylim(0, Max_Inv + 2)
plt.savefig('inventory_model_3_10.png', dpi=300)
```

Додаток 9

КОПІЯ СЕРТИФІКАТА ПРО УЧАСТЬ У КОНФЕРЕНЦІЇ

