

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЄВО-МОГИЛЯНСЬКА
АКАДЕМІЯ»

Факультет інформатики
Кафедра математики

Курсова робота

за спеціальністю 113 Прикладна
математика

**ОПТИМАЛЬНІ СТРАТЕГІЇ ДЛЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДЕКІЛЬКОМА
ЗАПАСАМИ**

Виконав студент 3-го курсу

Яручик Данило Романович

(підпис)

Науковий керівник:

канд. фіз.-мат. наук, доцент

Чорней Р.К.

(підпис)

Засвідчую, що в цій роботі немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ - 2021

Тема: Оптимальні стратегії для систем керування декількома запасами

Календарний план виконання роботи:

№ п/п	Назва етапу дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапу	Примітка
1.	Отримання завдання на курсову роботу	30.03.2022	
2.	Аналіз матеріалів за темою	05.04.2023	
3.	Розробка та програмування алгоритму	10.04.2023	
4.	Написання текстової частини до курсової роботи	25.04.2021	
5.	Коригування виконаної роботи	29.04.2023	
6.	Створення слайдів для доповіді та написання доповіді.	09.05.2023	
7.	Остаточне оформлення роботи та слайдів	11.05.2023	
8.	Захист курсової роботи	23.05.2020	

Яручик Д.Р. _____

Чорней Р.К. _____

“ _____ ”

Анотація

Обсяг роботи: 21 сторінка, 4 таблиці, 7 джерел посилань.

ОПТИМАЛЬНІ СТРАТЕГІЇ ДЛЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДЕКІЛЬКОМА ЗАПАСАМИ

Об'єктом роботи є керування декількома запасами. Предметом роботи є прийняття рішень в системах керування декількома запасами із загальною функцією витрат.

Метою роботи є розробка програмного застосунку, яке за вхідними функціями витрат та розподілом попиту на товари надаватиме рекомендації щодо оптимальної кількості товару, що потрібно дозамовляти

Методи розробки: симуляція попиту за допомогою використання функцій логонормального розподілу, методу Монте-Карло, проектування програмних систем, та програмування на мові Python у середовищі PyCharm (version: 2022.3.1 (Community Edition))

Результати роботи: розглянуто стратегії безперервного, і періодичного перегляду наявності продукції. Розроблений програмний застосунок, який на основі заданих програмістом функцій витрат та дискретних значень попиту, надає користувачу рекомендацію щодо обирання оптимальної стратегії керування, що надає найбільший прибуток. Роботу даного застосунку перевірено на декількох різних масивах даних, порівняно результати експериментів.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
ВСТУП.....	5
ОСНОВНА ЧАСТИНА	7
<i>Періодичне дозамовлення</i>	9
<i>Методика Монте-Карло</i>	10
<i>Безперервний огляд</i>	15
<i>Порівняння стратегій</i>	18
Висновок.....	19
Список використаної літератури	20
Інтернет джерела	21

ВСТУП

Оцінка сучасного стану об'єкта розробки. На сьогодні, системи оптимальних стратегій для керування декількома запасами є актуальною темою досліджень та практичної реалізації. Оцінка сучасного стану таких систем показує, що вони розвиваються і вдосконалюються з кожним роком. Розроблено і в процесі створення різноманітні математичні моделі, які дозволяють визначити оптимальну кількість товару, яку слід замовляти враховуючи обмеження, такі як мінімальні та максимальні рівні запасів, обмеження на поставки тощо, крім того наразі в сферу дуже активно залучають різні інструменти інформаційних технологій, що дозволяє автоматизувати процеси керування запасами та забезпечувати ефективний облік та моніторинг запасів.

Крім звичайних обчислень, останнім часом, особливо активно почали застосовувати моделі штучного інтелекту. Його в переважній більшості використовують для симулювання процесів попиту, що дозволяє ще точніше обирати оптимальну стратегію. [2]

Актуальність роботи та підстави її виконання. Загалом можна виділити 3 основні фактори, чому робота є актуальною:

1. Глобальне потепління: Одним із ключових аргументів, що підтверджує актуальність досліджень з керування запасами, є глобальне потепління. Зміна клімату має серйозний вплив на доступність та якість ресурсів, таких як вода, земля та енергія. Перехід до ефективного керування запасами може допомогти зменшити негативні наслідки витрат ресурсів, забезпечити їх ефективне використання та знизити негативний вплив на довкілля. Наприклад, ретельне планування та управління запасами може допомогти знизити втрати продуктів та ресурсів, що можуть виникати через їх неконтрольоване зберігання або перевищення запасів, що призводить до викидів парникових газів та забруднення довкілля.

2. Пандемія: Пандемія COVID-19 показала наскільки вразливою може бути глобальна економіка та ланцюжки постачання в умовах непередбачуваних подій. Період карантину та обмежень спричинив значні перебої в постачанні товарів та послуг, призвів до ланцюжкових реакцій та виникнення дефіциту на ринку. Ефективне керування запасами є важливим інструментом для забезпечення стійкості постачання в умовах незвичайних ситуацій. Завдяки адекватному плануванню та оптимізації запасів, підприємства можуть бути готовими до змін у попиті, забезпечуючи необхідні товари та послуги, а також знижуючи ризики втрат та недопостачання.

3. Повномасштабне військове вторгнення російської федерації в Україну: війна має нищівний вплив на економіку країни та підприємства, зокрема на їхню інфраструктуру та постачання. Багато бізнесів

постраждали внаслідок знищення складських приміщень, обладнання та інфраструктури. Тисячі людей залишилися без роботи, а економіка переживає складні виклики. Ефективне керування запасами відіграє важливу роль у відновленні підприємств та створенні нових робочих місць. Оптимізація процесів управління запасами може допомогти швидко відновити постачання товарів та матеріалів, зменшити втрати та покращити ефективність виробництва. Контроль над запасами допомагає забезпечити стабільне постачання продукції, залучити нових клієнтів та збільшити прибутковість, що сприяє відновленню економіки та створенню робочих місць для населення.

Урахування вищезгаданих факторів та ефективне керування запасами є надзвичайно важливими для підтримки стійкого розвитку, оптимізації використання ресурсів та забезпечення ефективної відповіді на зміни в економічному, соціальному та екологічному контекстах.

Об'єкт та предмет дослідження. Об'єктом даної роботи є система керування декількома запасами. Предметом даної роботи є прийняття рішень у системах керування декількома запасами із загальною функцією витрат. У роботі розглянуто 2 стратегії керування запасами з постійною перевіркою наявних запасів та періодичною перевіркою запасів.

Мета й завдання роботи. Метою даної курсової роботи є створення програмного застосунку, який за заданими вхідними характеристиками товару буде надавати рекомендації щодо вибору оптимальної стратегії реалізації максимального прибутку з продажу певного товару за допомогою визначення оптимальної кількості товарів для майбутніх замовлень. Завдання роботи:

- Порівняти 2 моделі керування декількома запасами.
- Згенерувати дані продажів товарів та провести їх аналіз.
- Задати вхідні функції витрат та функцію розподілу попиту.
- Створити програмний застосунок для проведення тестувань всіх вищезгаданих завдань.
- Зробити кінцевий висновок базуючись на результатах отриманих у процесі роботи.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Змоделюємо ситуацію: ви дистриб'ютор продукту, що спеціалізується на особливих товарах, тому попит на цей товар унікальний для кожного клієнта. Навряд замовлення на певний продукт генеруватиметься щодня. Деякі товари можуть відрізнятися через сезонність, а інші мати неочевидні тенденції до продажу. Щоб математично змоделювати цей стохастичний попит, потрібно зібрати інформацію про продажі кожного продукту за найбільший можливий період часу. В даній роботі відрізок часу складатиме 12 місяців. Незважаючи на це, поведінку споживача змоделювати важко, адже на нього впливає дуже багато різних часто неочевидних факторів, проте ми могли б дати приблизну оцінку того, що клієнт має ймовірність p придбати замовлення у будь-який день. Іншими словами, знайти ймовірність купівлі товару за один день. Це p можна просто обчислити, поділивши кількість замовлень протягом року на кількість робочих днів. Якщо немає контракту з певним клієнтом, ще однією невизначеністю є розмір замовлення. В даній роботі було зроблено припущення, що розмір замовлення відповідатиме логонормальному розподілу: [5]

$$\begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(\ln x - \mu)^2 / 2\sigma^2}, & x > 0 \\ 0, & x \leq 0 \end{cases}$$

Параметри розподілу невідомі (що часто буває в практичному застосуванні). Тому ключовими даними для роботи програми будуть змодельовані продажі наявних продуктів. Продажі продуктів були згенеровані випадковим чином із певним подальшим редагуванням для наочності при візуалізації.

У даній роботі проведено аналіз продажу 4-ох різних продуктів і надані рекомендовані оптимальні стратегії постійного або періодичного перегляду для керування запасами. На *графіку 1* можна побачити, які початкові данні містить кожен із товарів.

Продукт	1	2	3	4
Ціна продажу (\$)	14	9	14	33
Час виготовлення (днів)	12	3	10	12
Розмір (m^3)	0.057	0.520	0.58	1.300
Ціна купівлі (\$)	4,1	8	9,2	50
Початково в запасі	1634	17654	2324	2056

Таблиця 1. Заданих параметрів для кожного з продуктів

Метою цієї роботи є пошук максимального очікуваного прибутку. Програму створено так, що за наявній кількості продажів n -ого товару протягом 12 місяців програма може видавати значення для n -ї кількості товарів. Нижче наведено гістограму розподілу попиту на кожен продукт на основі продажів, що створена на базі даних продажів за умовний попередній рік.

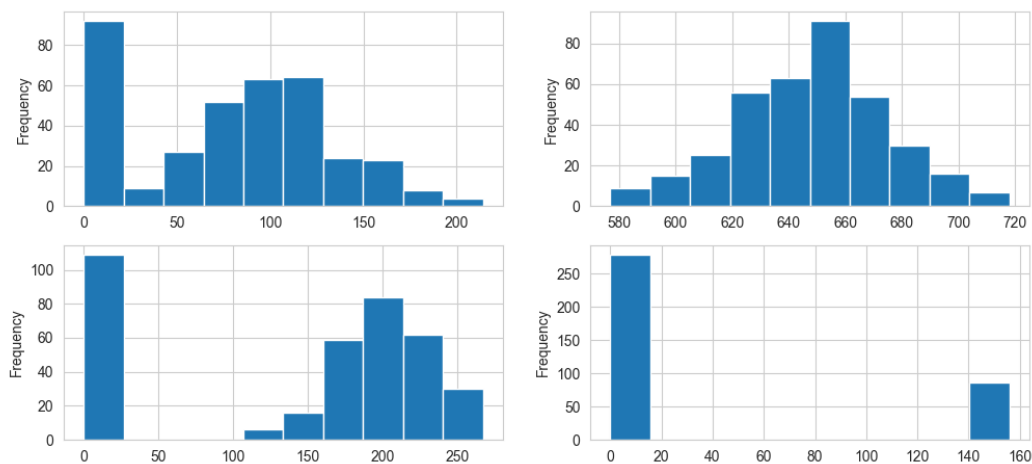


Рисунок 1. Гістограма розподілу попиту на кожен продукт

Можна помітити, що товари мають різну динаміку продажу. Є товари, що мають сезонні прирости в продажі, а є такі, що продаються щодня. Наприклад, продукт 2 – це продукт великого обсягу, який купують щодня ($p = 1$), а середній розмір замовлення становить 654. В той час як продукт 4 купують у 33% випадків, а його середній розмір замовлення становить близько 113. Таблиця 2 надає короткий опис кожного продукту, який можна розрахувати виключно на основі минулих даних про продажі.

Номер товару	1	2	3	4
Середня величина замовлення	105,424	653,77	208,244	113,074
Стандартне відхилення	37,313	26,45	31,079	3,215
Ймовірність купівлі	0,756	1	0,658	0,330
Показник попиту	638	3891	2266	785
Очікуване відхилення	957,442	1961,324	1371,227	448,590

Таблиця 2.. Вираховані значення з даних про продаж товару за попередній рік

Важливо розуміти статистику попиту протягом повного циклу часу виконання замовлення, це колонка, що показує кількість попиту на товар протягом часу його виробництва. До прикладу в товарі №1 час виробництва заданий попередньо і становить 12 днів, тож за ці 12 днів дистриб'ютор може очікувати в середньому $SL_t p = D$, де S – середня величина замовлення, L_t – час виготовлення товару, а p – ймовірність його купівлі у певний день року, D – очікуване відхилення. Для товару 1 таке відхилення складатиме $D = 957$ замовлень. [5] Це потрібно враховувати під час розміщення оригінального замовлення, інакше дистриб'ютор скоріш за все не зможе задовольнити попит і матиме періодичний дефіцит товару.[4]

Періодичне дозамовлення

З системою періодичного дозамовлення-огляду товару, дозамовлення відбувається в конкретний момент часу. Наприклад, запаси можна перевіряти і дозамовляти щотижня, раз на два тижні, щомісяця чи на іншій періодичній основі. Коли фірма або бізнес обробляє кілька продуктів, система періодичної перевірки має перевагу у вигляді зручності, адже перевірка і дозамовлення потрібних товарів відбувається синхронно, не вимагаючи від працівника, чи системи, постійно перевіряти запаси. За допомогою системи інвентаризації цього типу легко координувати доставку та отримання замовлень для кількох різних продуктів одночасно.

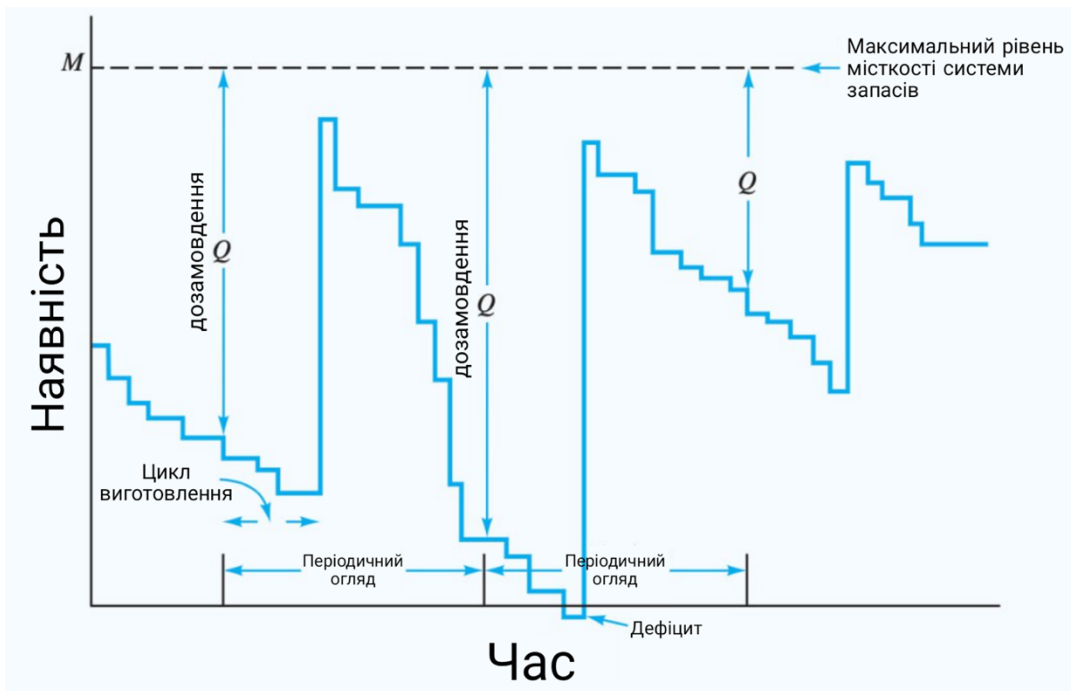


Рисунок 2. Графік зміни наявності товару та періодичним оглядом-дозамовленням з часом [3]

Методика Монте-Карло

Використовуючи стратегію періодичного дозамовлення запас поповнюється через певний період часу. Цей період часу залежить від періоду перевірки та часу виконання замовлення. Проте для коректної роботи застосунок потрібно певну методику, що могла б симулювати попит. Для цього можна скористатись методикою Монте-Карло. “Метод Монте-Карло — це метод імітації для приблизного відтворення реальних явищ. Він об’єднує аналіз чутливості (сприйнятливості) і аналіз розподілу ймовірностей вхідних змінних. Цей метод дає змогу побудувати модель, мінімізуючи дані, а також максимізувати значення даних, які використовуються в моделі. Побудова моделі починається з визначення функціональних залежностей у реальній системі. Після чого можна одержати кількісний розв’язок, використовуючи теорію ймовірності й таблиці випадкових чисел. [6] Не існує єдиного методу Монте-Карло, цей термін описує великий і широко використовуваний клас підходів. Проте ці підходи використовують в своїй основі єдиний шаблон:

1. Визначити область можливих вхідних даних.
2. Випадковим чином згенерувати вхідні дані із визначеної вище області за допомогою деякого заданого розподілу ймовірностей.
3. Виконати детерміновані обчислення над вхідними даними.
4. Проміжні результати окремих розрахунків звести у кінцевий результат.”

З Рисунок 1. Гістограма розподілу попиту на кожен продукт в попередньому розділі можна помітити, що, окрім продукту 2, продукти не купується кожного дня. Наприклад, для продукту 1 очікувана частка становить 0,76, що означає, що в будь-який день протягом року існує 76% ймовірність того, що клієнт купить продукт 1. Проте це є дискретні дані, для більш точного обрахунку розподіл попиту за попередній рік було перетворено в логарифмічний розподіл шляхом логарифмування щоденних значень.

Для моделювання щоденної купівельної поведінки клієнтів було вибрано випадкове число з рівномірного розподілу в межах 0 і 1. Для моделювання поведінки попиту та розрахунку прибутку для однієї реалізації було (як зазначено вище) проведено моделювання за методом Монте-Карло. Під час моделювання алгоритм повторює кожен день, намагаючись визначити рівень запасів продукту. Це необхідно для того, щоб створити попит на продукт на цей день.

Логіка алгоритму наступна:

1. Якщо попит можна повністю задовольнити поточним рівнем запасів — рівень запасів зменшується на збільшення попиту та кількість одиниць товару, проданих у цей день.
2. Якщо попит не може бути повністю задоволений рівнем запасів — наявні запаси будуть такими, як кількість одиниць, проданих у цей день

Щоб змодельовати політику періодичного перегляду, алгоритм відстежує поточний день у році. Якщо день року дорівнює періоду перевірки, то розміщується замовлення на поповнення запасу до кількості M . Це значення є змінною та задається користувачем в програму. Після того, як час виконання замовлення для цього продукту минув (цикл виробництва та доставки), інвентар оновлюється відповідно до кількості заданого в замовленні. Це робиться протягом 365 днів.

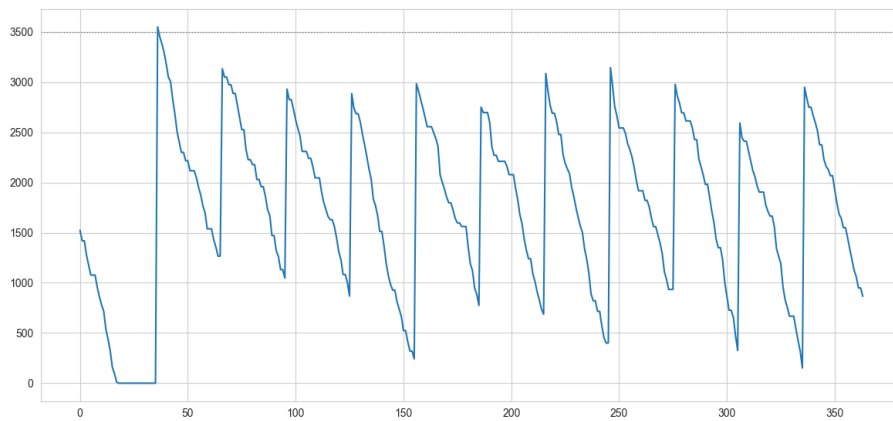


Рисунок 3. Моделювання поповнення запасів з часом для продукту 1

Рівень запасів для однієї симуляції за 365 днів можна використовувати для визначення прибутку, який компанія би отримала за цей рік. Для обчислення доходу всі продані одиниці множаться на ціну продажу продукції.

Загальні витрати ж розбиті на три компонент:

1. Вартість продукту.
Вартість продукту розраховується шляхом множення вартості одиниці кожного продукту на сукупність замовлених одиниць.
2. Вартість замовлення
Вартість замовлення розраховується шляхом множення кількості розміщень замовлення в цьому році на індивідуальну вартість замовлення цього продукту. Рівні запасів для кожного дня року були агреговані, щоб показати, скільки запасів зберігалось протягом року.
3. Вартість утримання.
Потім витрати на зберігання були розраховані шляхом множення кількості запасів, що зберігаються, на розмір одиниці продукту та щоденні витрати на утримання одиниці.

Ці витрати було віднято від доходу, щоб отримати відповідний прибуток для цієї однієї реалізації за рік. Кількість втрачених одиниць було узагальнено та поділено на попит за рік, щоб отримати частку втрачених замовлень за цей рік.

Математичну формулу для річного прибутку наведено нижче[3].

$$D = P_i \sum_{t=1}^{365} S_{i,t} - \left[\frac{C_o V_i}{365} \sum_{t=1}^{365} I_{i,t} + \sum_{t=1}^{365} c_i P_{i,t} + N_i C_{o,i} \right]$$

Де, D – щорічний дохід, P_i – ціна товару, $S_{i,t}$ – кількість товарів проданих в конкретний день року, V_i – розмір одиниці продукту, C_o – щоденні витрати на утримання одиниці, $I_{i,t}$ – кількість запасів в конкретний день року, c_i – замовлені товари, $P_{i,t}$ – вартість одиниці кожного продукту.

Моделювання в системі проводимо 10 000 разів, щоб отримати багаторазові реалізації прибутку та пропорції втрачених замовлень кожного разу. Ці результати були використані для побудови *рис. 4* та розрахунку середнього та стандартного відхилення прибутку та частки втрачених замовлень для цього конкретного замовлення до точки (M). На малюнку нижче наведено одна з таких симуляцій для продукту 1 із кількістю замовлень $M=2226$ [7]

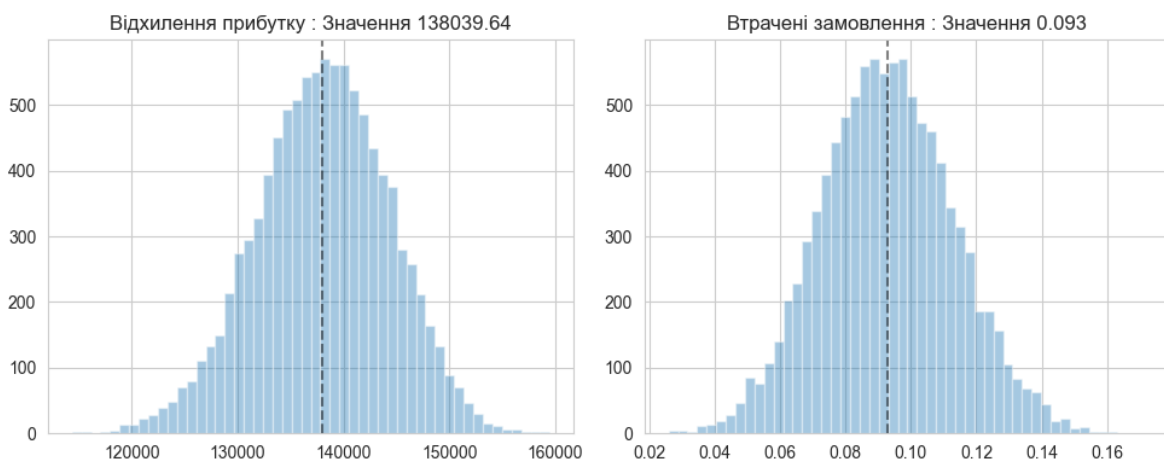


Рисунок 4. Гістограма прибутку та частка втрачених замовлень при $M=2226$ продукт 1

Так само цю дію можна виконати для діапазону значень M , щоб визначити значення, яке дає нам найбільший очікуваний прибуток.

На рисунку нижче для продукту 1, було змодельовано результати для діапазону значень від 500 до 3500. Це дало оптимальний очікуваний прибуток у розмірі 137928 дол. При кількості замовлення 2226, що є оптимальним для даного випадку.

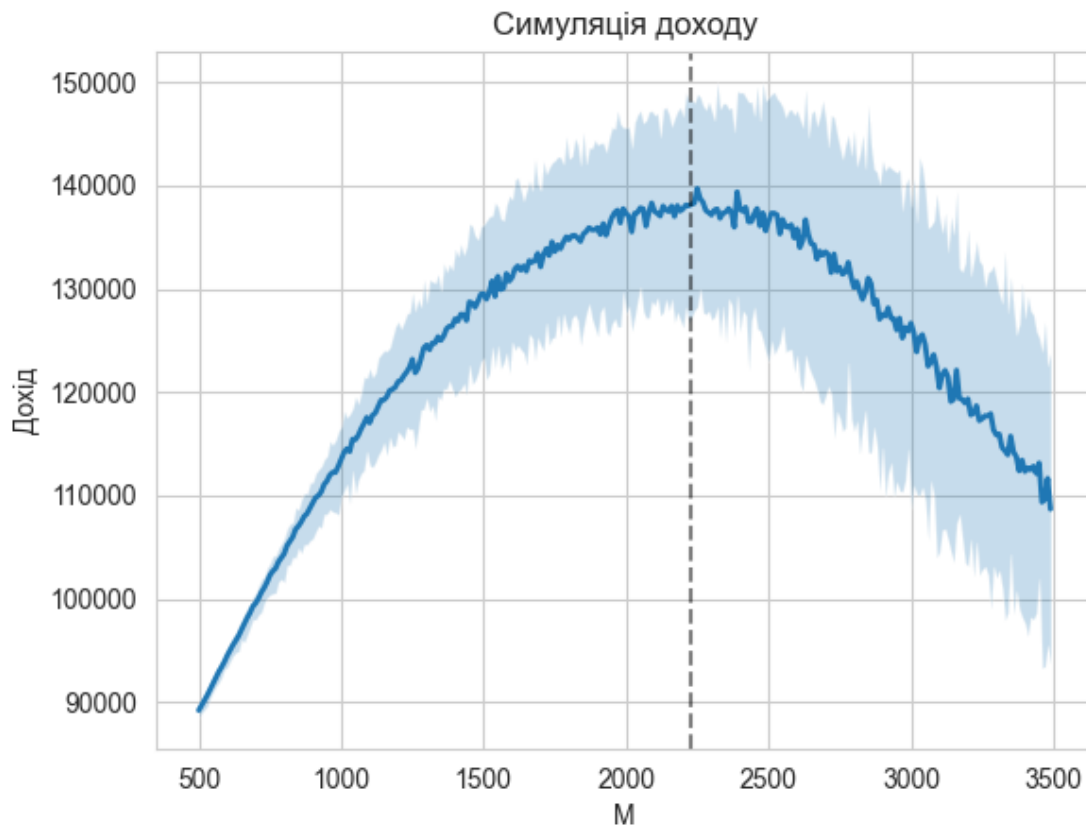


Рисунок 5. Симуляція доходу при різних значеннях M для 1 продукту

Ці експерименти були проведені для інших продуктів і відповідно розраховано їх оптимальна кількість замовлень, тобто M . Оскільки прибуток лінійно залежить від попиту та витрат, пов'язаних з конкретним продуктом, можна розрахувати максимуми для цієї функції.

Використовуючи місячний період перевірки, у таблиці нижче наведено оптимальні точки замовлень, очікуваний річний прибуток і частку втрачених замовлень протягом року для кожного з продуктів. (оскільки симуляція практично кожного разу дає інший розподіл, то дані для кожного розподілу будуть дещо відрізнятись)

Номер продукту	1	2	3	4
Кількість замовлення M	2226	16265	3524	1331
Очікуваний дохід	137928,8	428576,8	412160,7	619053,5
Стандартне відхилення прибутку	6206,969	4911,541	15680,36	58099,79
Очікувана Частка втрачених замовлень	0,092367	0,031183	0,070625	0,021043

Таблиця 3. Оптимальні значення M для кожного з продуктів та параметри стратегії, коли значення M є дійсним для застосунку

Безперервний огляд

У багатоперіодній моделі система інвентаризації працює безперервно з багатьма повторюваними періодами або циклами; запаси можна переносити з одного періоду в наступний. Кожного разу, коли товарний запас досягає точки повторного замовлення, розміщується замовлення на Q одиниць. Оскільки попит є випадковим, то час, коли буде досягнуто точки повторного замовлення, час між замовленнями та час, коли замовлення Q одиниць надійде до запасу, неможливо визначити заздалегідь. [1]

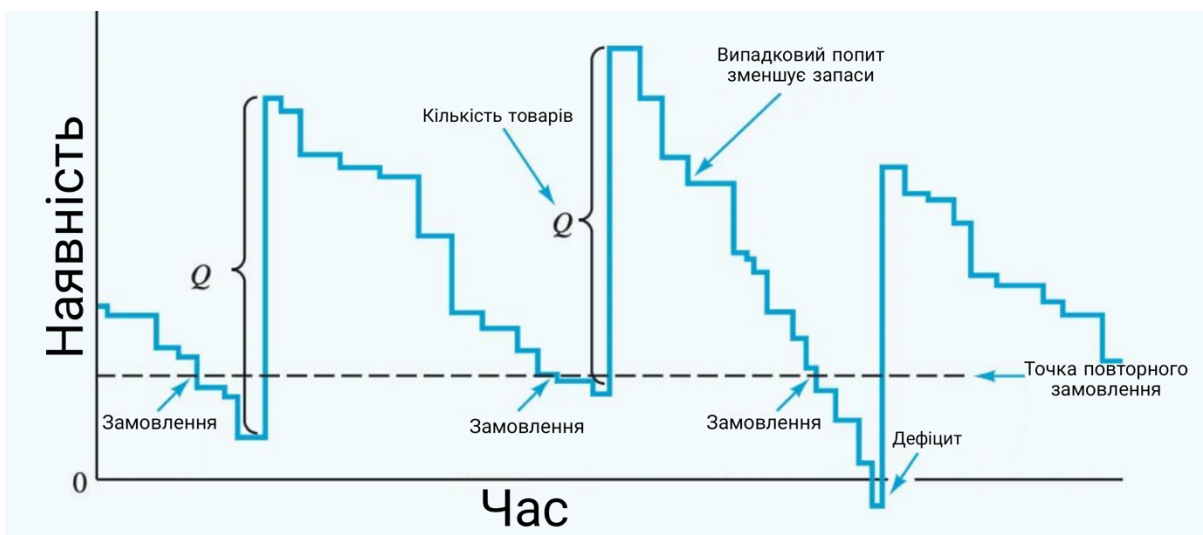


Рисунок 6. Гистограма для моделі замовлення з постійним оглядом [3]

З графіку можна зробити висновок, що «стрибки» в запасі відбуваються щоразу, коли надходить замовлення на Q одиниць. Запаси зменшуються з непостійною швидкістю на основі випадкового попиту. Нове замовлення розміщується щоразу, коли досягається точка повторного замовлення. Часом замовлена кількість Q одиниць не надходить до того, як запаси досягнуть нуля, в такі моменти відбувається

дефіцит. Однак в інший час вищий попит спричинить вичерпання запасів до отримання нового замовлення.

Як і в інших моделях кількість замовлення Q і точки (кількості) повторного замовлення r , користувач системи прогазування (менеджер компанії) повинен визначити особисто. [1]

У цій політиці дистриб'ютор має можливість регулярно перевіряти запаси та визначати, у який момент він хоче розмістити замовлення (тобто пункт повторного замовлення). Дистриб'ютор також може вказати, скільки він хоче замовляти щоразу (тобто кількість замовлення). Для такого випадку логіку з моделюванням методом Монте-Карло потрібно оновити для стратегії безперервного перегляду [2].

Кожного дня алгоритм перевіряє рівень запасів і порівнює його з точкою повторного замовлення.

1. Якщо рівень запасів менший або дорівнює точці повторного замовлення, він розміщує замовлення. Але цей запас реалізується лише після того, як минув термін поставки цього продукту. Наприклад, товар 1 має термін виконання 9 днів, якщо замовлення розміщено на 10 день, запас буде поповнено на 19 день.
2. Прийняття рішень щодо оновлення рівня запасів подібний до логіки алгоритму періодичного перегляду.
3. Розрахунок прибутку та очікуваних втрат замовлень схожий до розрахунку політики періодичного перегляду.

Моделювання цих результатів знову проводилося 10 000 разів для кожного продукту. Ці результати були використані для побудови гістограми для розрахунку середнього та стандартного відхилення прибутку та частки втрачених замовлень для кількості замовлення 2002 і точки повторного замовлення 812. На *рисунку 7* показано одне з таких моделювань для продукту 1.

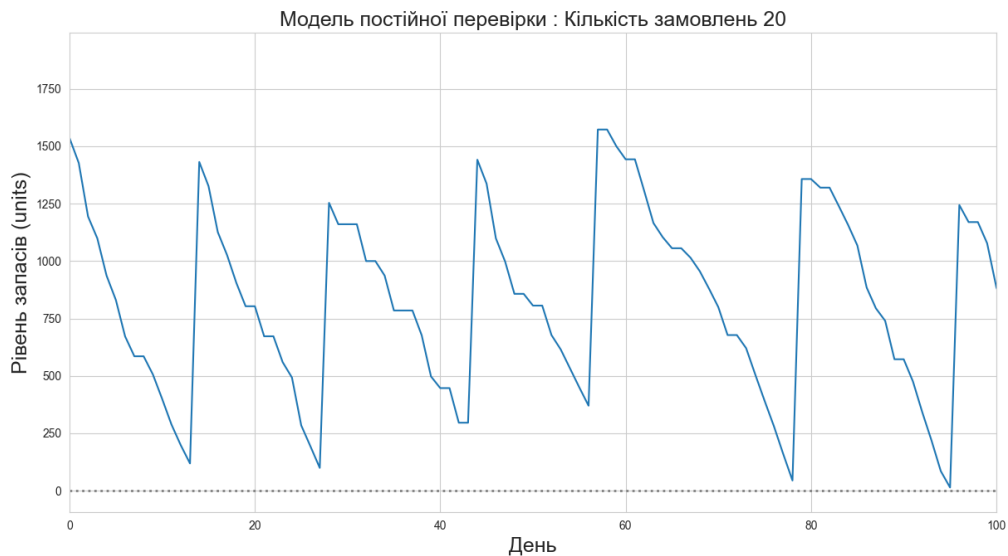


Рисунок 7. Діаграма поповнення запасу методом безперервного перегляду при значеннях $Q=1313$ та $r=868$, де Q -кількість замовлення, r -кількість товарів в запасі, коли система робить нове замовлення.

Методом підбору можна проводити пошук між діапазоном значень для кожного продукту, можна розробити комбінацію кількості замовлення та точок повторного замовлення, які оптимізують функцію прибутку. Як ви можете бачити на *рисунку 8* для продукту 1, значення були змодельовані для кількості замовлень від 1000 до 3000 і точки повторного замовлення між 500 і 1100.

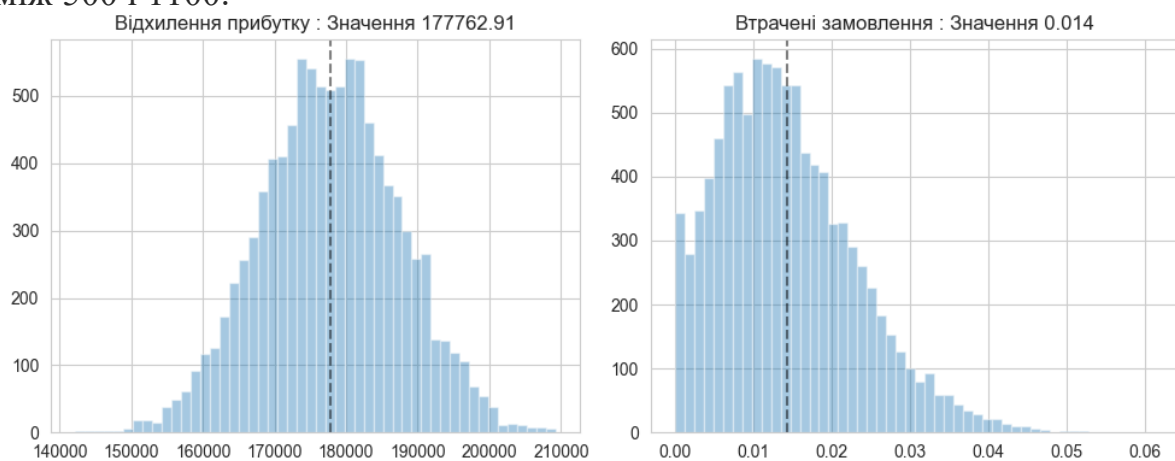


Рисунок 8. Гістограм значення кількостей замовлень відхилення прибутку та частки втрачених замовлень при постійній перевірці рівня наявності.

У цьому сценарії для продукту 1 на основі моделювання було отримано максимальний прибуток у розмірі 110 174 доларів США для кількості замовлення 2002 та точки повторного замовлення 812.

Порівняння стратегій

Використовуючи цю політику, у таблиці нижче наведено оптимальні точки повторного замовлення, оптимальну кількість замовлення, очікуваний річний прибуток і частку втрачених замовлень протягом року для кожного продукту.

Номер товару	Очікуваний дохід	
	Політика періодичного огляду	Політика постійного огляду
Товар 1	\$138631.76	\$177255.73
Товар 2	\$429034.72	\$605247.96
Товар 3	\$410681.82	\$488831.40
Товар 4	\$621756.31	\$646254.02

Таблиця 4. Порівняння прибутку при використанні обраних оптимальних значень для різних стратегій

З таблиці 4 можемо зробити висновок, що політика постійного огляду є більше фінансово більш ефективною. В середньому вона приносить майже на 20% більше прибутку, ніж політика періодичного огляду. Крім цього вона має більші можливості для кастомізації і комутації до конкретного завдання, через наявність 2-ох змінних що надає їй значно більше можливостей для «маневру», проте і політика безперервного, і періодичного перегляду мають свої переваги. Політика періодичної перевірки має фіксований період перевірки, що дозволяє дистриб'ютору (компанії) краще прогнозувати замовлення, зроблені протягом певного періоду часу та спростувати процес логістики. У той час як політика безперервного перегляду підтримує постійний розмір замовлення та забезпечує гнучкість щодо часу розміщення замовлення, оскільки існує дві змінні рішення в політиці безперервного перегляду, на протипагу одній в періодичному перегляді.

ВИСНОВОК

В роботі було розглянуто 2 стратегії для пошуку оптимального керування системою з декількома запасами, а конкретно: стратегія керування запасами із загальною функцією витрат з періодичним оглядом-дозамовленням, а також стратегія керування запасами із загальною функцією витрат з постійним оглядом. Було створено програмний застосунок, що має функціонал для рекомендацій щодо встановлення кількостей замовлення продукту для подальших замовлень (для стратегії з постійним та періодичним оглядами), для цього в програмі було використано припущення, що розмір замовлення відповідатиме логонормальному розподілу, а щоденний попит був симульований за допомогою методики Монте-Карло. Також у застосунку є функціонал для створення графіків та генерації таблиць.

Крім того в роботі проведено аналіз результатів роботи програми на різних її етапах. В результаті було показано, що більшу ефективність має стратегія керування запасами із загальною функцією витрат з постійним оглядом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Holden, Lauren (2017) Inventory Optimization Using a SimPy Simulation Model..East Tennessee State University
2. Deniz Preil1, Michael KrappArtificial intelligence-based inventory management: a Monte Carlo tree search approach
3. Anderson, Sweeney, Williams, Camm, Cochran, Fry, Ohlmann. An Introduction to Management Science: Quantitative approaches to Decision Making. 14th Edition, 2015. Cengage Learning. ст. 457–478

ИНТЕРНЕТ ДЖЕРЕЈА

4. https://en.wikipedia.org/wiki/Lead_time
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Log-normal_distribution
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_method
7. <https://github.com/wiredtoserve/datascience/tree/master/InventoryManagement>