

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальних апаратів

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
(тип кваліфікаційної роботи)

_____магістра

(освітній ступінь)

на тему: «Прогнозування та оптимізація товарних запасів у централізованих
системах постачання в умовах невизначеності попиту»

XAI.302.366.24O.122.2005192 ПЗ

Виконав: здобувач б курсу групи № 366
напряму підготовки (спеціальності)
122 «Комп'ютерні науки»

(шифр і назва напряму підготовки (спеціальності))

Освітня програма «Комп'ютеризація обробки
інформації та управління»

(назва освітньої програми)

_____Пліско О. О.

(прізвище й ініціали здобувача)

Керівник: професор каф. 302, к.т.н. Лещенко. О.Б.

(посада, науковий ступінь, прізвище й ініціали)

Рецензент: д.т.н., проф. Чалий С. Ф.

(посада, науковий ступінь, прізвище й ініціали)

Харків – 2024

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальних апаратів
(повне найменування)
Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних технологій
(повне найменування)
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
(код та найменування)
Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»
(код та найменування)
Освітня програма Комп'ютеризація обробки інформації та управління
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Олег ФЕДОРОВИЧ

(підпис)

(ініціали та прізвище)

« 01 » листопада 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Пліску Олегу Олеговичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Прогнозування та оптимізація товарних запасів у
централізованих системах постачання в умовах невизначеності попиту
керівник кваліфікаційної роботи Лещенко Олександр Борисович, к.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету № 2050-уч. від « 06 » листопада 2024 року. _____

2. Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи 12 грудня 2024 року. _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи): вимоги до централізованих систем постачання;
моделі та методи прогнозування та оптимізації; функціональні вимоги до системи;
Case-засоби ErWin, BpWin. _____

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати): аналіз
підходів та методів прогнозування та управління запасами, формалізація та
моделювання процесів прогнозування і оптимізації товарних запасів, алгоритмізація
прогнозування та оптимізації товарних запасів, проектування та розробка
програмного забезпечення, тестування роботи готового застосунку, економічний
аналіз, висновки роботи. _____

5. Перелік графічного матеріалу: актуальність та проблематика дослідження, огляд
існуючих рішень, математичні моделі прогнозування попиту та оптимізації запасів,
алгоритми роботи системи, функціональні можливості системи, компоненти та
архітектура системи, панель адміністратора, панель прогнозування та оптимізації
запасів, результати прогнозування, результати оптимізації, результати експериментів,
результати роботи. _____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
з основної частини	Лещенко. О.Б, проф. каф. 302		
зі спеціального розділу	Лещенко. О.Б, проф. каф. 302		
з економіки та управління	Малєєва Ю.А., доц. каф. 302		

Нормоконтроль _____ Олександр ПРОХОРОВ «__» ____ 2024 р.
(підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання « 31 » жовтня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд предметної області та аналіз програмних засобів для прогнозування та оптимізації товарних запасів		
2	Моделювання процесів прогнозування і оптимізації товарних запасів.		
3	Розробка алгоритмів для прогнозування і оптимізації товарних запасів.		
4	Розробка архітектури системи.		
5	Реалізація програмного забезпечення.		
6	Інтеграція та тестування системи.		
7	Проведення експериментів та аналіз результатів.		
8	Проведення економічного аналізу проекту.		
9	Оформлення пояснювальної записки.		
10	Оформлення графічних та презентаційних матеріалів кваліфікаційної роботи.		

Здобувач _____ Олег ПЛІСКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Олександр ЛЕЩЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Система прогнозування та оптимізації товарних запасів у централізованих системах постачання в умовах невизначеності попиту – Пліско Олег Олегович, кваліфікаційна робота магістра, Харків, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», кількість сторінок 153, кількість рисунків 39, кількість таблиць 20, кількість джерел літератури 32.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: товарні запаси, централізована система постачання, прогнозування попиту, оптимізація запасів, метод Вагнера-Вітіна, рівень обслуговування, машинне навчання.

МЕТА: оптимізація управління товарними запасами у централізованих системах постачання в умовах невизначеності попиту, що забезпечить економію ресурсів і підвищить ефективність діяльності підприємства.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ: процес управління товарними запасами у централізованих системах постачання.

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ: методи прогнозування попиту та оптимізації товарних запасів для підвищення ефективності управління запасами в умовах нестабільного попиту.

ЗАДАЧІ: 1) аналіз методів прогнозування попиту та підходів до оптимізації запасів; 2) розробка моделей прогнозування попиту на основі методів машинного навчання; 3) вибір та реалізація методів оптимізації запасів (метод Вагнера-Вітіна, рівень обслуговування); 4) розробка архітектури та програмного забезпечення вебзастосунку; 5) проведення експериментальних досліджень на основі історичних даних для оцінки ефективності обраних методів; 6) аналіз економічної ефективності впровадження застосунку.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ: машинне навчання, методи обробки даних, прогнозування на основі моделей Prophet, Random Forest, XGBoost; методи оптимізації запасів (метод Вагнера-Вітіна, метод рівня обслуговування).

ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ: розроблений вебзастосунок, який автоматизує процеси прогнозування попиту та оптимізації товарних запасів на основі вибору оптимальної моделі прогнозування залежно від точності за показником MAPE та врахування економічних параметрів зберігання запасів.

ABSTRACT

Demand forecasting and inventory optimization system for centralized supply chains under uncertain demand – Oleh Plisko, Master's Thesis, Kharkiv, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", amount of pages: 153, amount of figures: 39, amount of tables: 20, amount of sources of literature: 32.

KEYWORDS: inventory, centralized supply system, demand forecasting, inventory optimization, Wagner-Whitin method, service level, machine learning.

PURPOSE OF RESEARCH: optimization of inventory management in centralized supply systems in conditions of demand uncertainty, which will ensure resource savings and increase the efficiency of the enterprise.

OBJECT OF RESEARCH: the process of inventory management in centralized supply chains.

SUBJECT OF RESEARCH: demand forecasting and inventory optimization methods to improve inventory management efficiency under conditions of demand uncertainty.

TASKS OF RESEARCH: 1) analysis of demand forecasting methods and approaches to inventory optimization; 2) development of demand forecasting models based on machine learning techniques; 3) selection and implementation of inventory optimization methods (Wagner-Whitin method, service level); 4) design of the architecture and software for the web application; 5) conducting experimental studies using historical data to evaluate the efficiency of the selected methods; 6) analysis of the economic feasibility of application implementation.

METHODS OF RESEARCH: machine learning, data processing methods, forecasting based on Prophet, Random Forest, and XGBoost models; inventory optimization methods (Wagner-Whitin method, service level method).

RESULTS OF RESEARCH: a web application has been developed to automate demand forecasting and inventory optimization processes, based on selecting the optimal forecasting model according to MAPE accuracy and incorporating economic parameters of inventory holding costs.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	7
1 АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ТА МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ	10
1.1 Актуальність проблеми та особливості централізованих систем постачання	10
1.2 Аналіз поточного стану та проблем управління запасами.....	12
1.3 Сучасні методи та інструменти прогнозування попиту та оптимізації запасів	16
1.4 Постановка задачі.....	23
2 ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОГНОЗУВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЇ ТОВАРНИХ ЗАПАСІВ	27
2.1 Концептуальна модель інформаційної системи	27
2.2 Вибір методів і підходів прогнозування	29
2.3 Моделі оптимізації товарних запасів	38
Висновки за розділом 2.....	43
3 АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ТОВАРНИХ ЗАПАСІВ	45
3.1 Комплексний алгоритм прогнозування попиту та оптимізації запасів.....	45
3.2 Алгоритми прогнозування попиту	48
3.3 Алгоритмічне забезпечення вирішення задачі оптимізації товарних запасів	57
Висновки за розділом 3.....	61
4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	63
4.1 Вимоги до програмного продукту.....	63
4.2 Архітектура системи	67
4.3 Проектування та реалізація моделей системи	72
Висновки за розділом 4.....	87
5 ТЕСТУВАННЯ РОБОТИ ГОТОВОГО ЗАСТОСУНКУ	88
5.1 Режими роботи застосунку	88
5.2 Методика та засоби тестування програмного продукту	100
Висновки за розділом 5.....	102
6 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ.....	104
6.1 Економічне обґрунтування проекту	104
6.2 Визначення тривалості та собівартості виконання проекту (перший варіант)...	104
6.3 Визначення тривалості та собівартості виконання проекту (другий варіант)	110
Висновки за розділом 6.....	114
ВИСНОВКИ	115
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	116
Додаток А. Графічні матеріали	119
Додаток Б. Лістинг програми	126

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасних умовах глобалізації та цифрової трансформації бізнесу управління товарними запасами стає все більш складним завданням. Зростаюча конкуренція, швидкі зміни споживчих уподобань та непередбачуваність ринкових умов вимагають від підприємств ефективних інструментів для прогнозування попиту та оптимізації запасів. Особливо це стосується централізованих систем постачання, де помилки в прогнозуванні можуть призвести до значних фінансових втрат або дефіциту товарів.

Невизначеність попиту є однією з головних проблем, з якими стикаються підприємства. Традиційні методи прогнозування часто не враховують складні нелінійні залежності та сезонні коливання, що призводить до неточних прогнозів. Це створює потребу у впровадженні сучасних методів машинного навчання та статистичного моделювання, які здатні більш точно передбачати попит в умовах невизначеності.

Оптимізація запасів є критичним фактором для зниження витрат на зберігання та підвищення рівня обслуговування клієнтів. Застосування методів оптимізації, таких як метод Вагнера-Вітіна та метод рівня обслуговування, дозволяє знаходити баланс між мінімізацією витрат і задоволенням попиту. Однак інтеграція цих методів з сучасними моделями прогнозування в рамках єдиної системи є складним завданням, яке потребує комплексного підходу.

Таким чином, розробка вебзастосунку, що поєднує сучасні методи прогнозування попиту з оптимізацією запасів для централізованих систем постачання в умовах невизначеності попиту, є актуальною і своєчасною задачею. Такий застосунок допоможе підприємствам більш ефективно управляти запасами, знижувати витрати та підвищувати конкурентоспроможність на ринку.

Метою дослідження є оптимізація управління товарними запасами у централізованих системах постачання шляхом підвищення точності прогнозування попиту та зменшення ризиків дефіциту або надлишку товарів в умовах невизначеності.

Основні завдання дослідження:

- проаналізувати особливості централізованих систем постачання в умовах невизначеності попиту та вивчити їхній вплив на управління запасами;
- проаналізувати існуючі методи прогнозування попиту та оптимізації товарних запасів, включаючи моделі часових рядів і стохастичні моделі, з акцентом на їхнє застосування у централізованих системах постачання;
- розробити алгоритми прогнозування попиту та управління товарними запасами, які враховують невизначеність попиту та ринкові коливання для централізованих систем;

- розробити програмне рішення для впровадження розроблених алгоритмів, що інтегрує математичні моделі прогнозування попиту з алгоритмами оптимізації управління запасами;

- провести експериментальні дослідження на основі історичних даних для оцінки ефективності обраних методів;

- проаналізувати економічну ефективність впровадження застосунку.

Об'єктом дослідження є процес прогнозування та управління товарними запасами в централізованих системах постачання, які функціонують в умовах невизначеного попиту.

Предметом дослідження є математичні моделі та алгоритми прогнозування попиту та оптимізації товарних запасів, які адаптуються до коливань попиту та забезпечують ефективне управління запасами.

Науково-технічний ефект полягає в підвищенні ступеня автоматизації та адаптивності процесів управління товарними запасами в централізованих системах постачання в умовах невизначеного попиту, що дозволяє мінімізувати витрати та підвищити ефективність прогнозування.

Економічний ефект полягає в можливості оптимізації товарних запасів за рахунок використання точних прогнозів попиту та раціонального планування постачань, що дозволяє знизити витрати на зберігання, постачання та уникнути втрат через дефіцит або надлишки товарів.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра. Результати дослідження доповідалися та обговорювалися на XII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатизації» (Баку – Харків – Бельсько-Бяла, 21-22 листопада 2024 року).

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, 6 розділів, висновків і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 153 сторінок, в тому числі: 39 рисунків по тексту; 20 таблиць по тексту; 2 додатка на 34 сторінках; списку використаної літератури з 32 найменуваннями на 3 сторінках.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

APM	- автоматизовані робочі місця;
ДЗП	- додаткова заробітна плата;
ЄСВ	- єдиний соціальний внесок;
ОЗП	- основна заробітна плата;
ТЗ	- технічне завдання;
AR	- autoregressive;
ARIMA	- autoregressive integrated moving average;
CSV	- comma-separated values;
EOQ	- economic order quantity;
HTTP	- hypertext transfer protocol;
JSON	- javascript object notation;
MA	- moving average;
MAE	- mean absolute percentage error
MAPE	- mean absolute percentage error;
MOGWO	- multi-objective grey wolf optimizer;
MVC	- model-view-controller;
RMSE	- root mean square error
SARIMA	- seasonal autoregressive integrated moving average;
SKU	- stock keeping unit.
SL	- service level