

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

Освітній рівень

Метод керування автоматизованим складом зберігання продукції

Назва теми

КвРАКІТ.2022180.01.18.ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

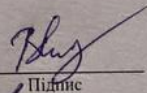
Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

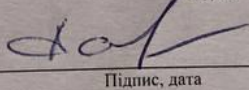
Виконав:

студент ІІ курсу, група АКІТм-22-1


Підпис

Володимир ЯНЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник


Підпис, дата

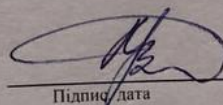
Андрій СЕЛЬСЬКИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих
технологій та робототехніки


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 18 » грудня 2023 р.

Хмельницький 2023

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

Освітній рівень другий (магістерський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою

В. Мержинська
«01» 09 2023р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Янчук Володимир Олегович

1 Тема роботи: Метод керування автоматизованим складом зберігання продукції
керівник роботи Сельський А.А., к.ф-м.н, доцент

Затверджено наказом по університету від « 15 » 08 2023р. № 30

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 01.12.2023

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

Метою роботи є автоматизація процесу керування складом зберігання продукції
із врахуванням наявності у системі роздрібних магазинів, з яких поступають
запити на поставку продукції із складу.

Об'єкт дослідження – процес керування автоматизованим складом зберігання
продукції компанії ІКЕА.

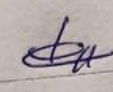

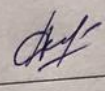
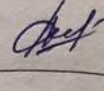
Предмет дослідження – методи та алгоритми керування автоматизованим
складом зберігання продукції.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ.
Особливості технологічного процесу керування автоматизованим складом
зберігання продукції. Математичне моделювання керуванням автоматизованим
складом зберігання продукції. Аналітичне дослідження процесу керуванням
автоматизованим складом зберігання продукції. Моделювання процесу
керування автоматизованим складом зберігання продукції. Висновки.

Завдання отримав В. Янчук

Науковий керівник В. Янчук

Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

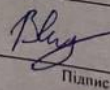
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Микола Федула, доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Людмила Корецька, доцент кафедри АКІТтаР		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

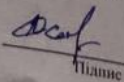
№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	20.09.2023р.	Виконано
2	Особливості технологічного процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції	15.10.2023р.	Виконано
3	Математичне моделювання керування автоматизованим складом зберігання продукції	30.10.2023р.	Виконано
4	Аналітичне дослідження процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції	15.11.2023р.	Виконано
5	Моделювання процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції	25.11.2023р.	Виконано
6	Висновки		
7	Написання тез доповіді	30.11.2023р.	Виконано
8	Оформлення пояснювальної записки до КРМ	05.12.2023р.	Виконано
9	Оформлення презентаційних матеріалів	10.12.2023р.	Виконано

Студент

Керівник роботи


Підпис

Янчук В.О.
Ініціали, прізвище


Підпис

Сельський А.А.
Ініціали, прізвище

ВСТУП

1 ОСО

АВТО

1.1 Ос

1.2 По

1.3 Ме

авто

1.4 Ви

2 МА

СКЛА

2.1 Ф

2.1.1

2.1.2

2.1.3

2.1.4

2.1.5

2.2 В

поста

2.2.1

2.2.2

2.3 М

2.4 Б

3 А

АВТ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод керування автоматизованим складом зберігання продукції»

Автор роботи: Янчук Володимир Олегович

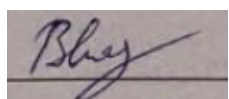
Керівник роботи: Сельський Андрій Анатолійович

Пояснювальна записка: 88 стор., 75 рис., 8 табл., 2 дод., 54 джерела.

Графічна частина: 14 презентаційних слайдів.

СКЛАД ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ, FACTORY I/O, РОЗПОДІЛ ПУАССОНА, ГАММА-РОЗПОДІЛ, ЕКСПОНЕНЦІЙНИЙ РОЗПОДІЛ, EXTEND SIMULATION, ІКЕА, АВТОМАТИЗОВАНИЙ СКЛАД.

Мета роботи: автоматизація процесу керування складом зберігання продукції із врахуванням наявності у системі роздрібних магазинів, з яких поступають запити на поставку продукції із складу. Виокремлено показники, які впливають на хід технологічного процесу зберігання продукції на складі. Визначено математичні закони, яким підпорядковується продукція та запит на її поставку із складу. Змодельовано процес роботи обладнання в об'ємі складського приміщення.



Підпис студента

15.12.2023

Дата

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	4
1 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ.....	8
1.1 Основні характеристики об'єкта автоматизації	8
1.2 Постановка задач керування автоматизованим складом зберігання продукції	13
1.3 Методологія дослідження технологічного процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції.....	15
1.4 Висновки до першого розділу.....	18
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КЕРУВАННЯМ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ	20
2.1 Формування функцій статистичного розподілу продукції	20
2.1.1 Основні поняття, що застосовуються при статистичному розподілі	20
2.1.2 Функція нормального розподілу	21
2.1.3 Розподіл за експоненціальним законом.....	23
2.1.4 Функція розподілу Пуассона	24
2.1.5 Функція Гамма-розподілу	26
2.2 Встановлення залежностей між попитом на продукцію та інтервалами постачання	27
2.2.1 Одношелонні системи зберігання продукції.....	29
2.2.2 Багатешелонні системи зберігання продукції	32
2.3 Метод оптимізації багатешелонних систем зберігання продукції	34
2.4 Висновки до другого розділу	38
3 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ.....	40

3.1 Вхідні дані для проведення дослідження	40
3.2 Обробка отриманих даних.....	43
3.3 Припущення, прийняті при моделюванні автоматизованого складу зберігання продукції	47
3.4 Висновки до третього розділу.....	49
4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ	50
4.1 Побудова моделі в програмному середовищі Extend Simulation	50
4.2 Перевірка адекватності розробленої моделі	57
4.3 Моделювання процесу роботи автоматизованого складу зберігання продукції у програмному середовищі Factory I/O.....	58
4.4 Обробка результатів та надання рекомендацій до процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції.....	66
4.4.1 Рівень обслуговування замовників	66
4.4.2 Точки ймовірності повторного замовлення зі складу зберігання продукції.....	71
4.4.3 Рівні інвентаризації	72
4.4.4 Розподіл товарно-матеріальних запасів.....	73
4.4.5 Витрати на зберігання продукції.....	74
4.5 Порівняння результатів моделювання процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції	75
4.6 Висновки до четвертого розділу.....	80
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	83
ДОДАТКИ	89

ВСТУП

Автоматизований склад зберігання продукції – це склад, на якому всі операції, такі як приймання, видача, зберігання, пакування та сортування, автоматизовані завдяки запровадженню відповідної системи [9]. Завдяки заміні логістичних операцій із доставки продукції з однієї точки складу в іншу, можна підвищити ефективність функціонування складу та виконання складських операцій.

Логістичній галузі характерне зростання об'ємів продажів та її функціонування в цілому внаслідок збільшення кількості онлайн-замовлень продукції. Можливість виконання замовлень онлайн призводить до щоденного збільшення ринку продажу.

Станом на сьогоднішній день координаційне керування запасами явище не досить розповсюджене серед компаній, які займаються випуском продукції різного призначення. Навіть найбільш сучасні та великі компанії, в яких до роботи залучені тисячі працівників, надають перевагу моделям, які забезпечують економію лише на теоретичному рівні. Слід відзначити, що таким компаніям властива наявність ресурсів та можливостей для автоматизації технологічного процесу зберігання їх продукції на складах.

В роботі розглядається більш ефективний метод автоматизованого керування складом зберігання продукції, який базується на інноваційному методу розрахунку страхового запасу. В результаті застосування такого методу на підприємстві можна досягнути вищої точності обслуговування та значного зменшення витрат на проведення інвентаризації.

Метою роботи є автоматизація процесу керування складом зберігання продукції із врахуванням наявності у системі роздрібних магазинів, з яких поступають запити на поставку продукції із складу.

Досягнення поставленої мети можна досягнути розв'язавши наступні **завдання**:

1. Виокремивши показники, які впливають на хід технологічного процесу зберігання продукції на складі;

2. Визначення математичних законів, яким підпорядковується продукція та запит на її поставку із складу;

3. Моделювання процесу роботи обладнання в об'ємі складського приміщення.

Методи досліджень.

Використовувались основні положення загальної теорії систем, системного аналізу (ієрархічності, декомпозиції та ін.), теорії моделювання процесів. Внаслідок проведення моделювання процесу та розроблення методів керування рухом козлового крану із вантажем з будівельних матеріалів використано теоретико-множинні підходи, алгебру систем, апарат модельно-орієнтованих підходів, методи концептуального моделювання, принципи побудови баз знань та формування логічного висновку, евристичні оцінки.

Об'єкт дослідження – процес керування автоматизованим складом зберігання продукції компанії ІКЕА.

Предмет дослідження – методи та алгоритми керування автоматизованим складом зберігання продукції.

Наукова новизна отриманих результатів: змодельовано та досліджено метод керування автоматизованим складом зберігання продукції із використанням скоординованого підходу.

Практична значимість отриманих результатів: запропоновані підходи до автоматизації процесу зберігання продукції можуть використовуватись на підприємствах, які зберігають продукцію незалежно від її призначення та отримують запити на поставку продукцію або споживачу, або в роздрібні магазини.

Апробація результатів дослідження: опубліковано тези у збірнику наукових праць «Технічна творчість» №7 2023 року.

Дипломна робота складається із наступних елементів: вступ, чотири розділі, висновки до кожного розділу, загальні висновки, список використаних джерел, додатки. Загальний обсяг роботи складає 88 сторінок, у тому числі: 75 рисунків, 8 таблиць, список використаних джерел містить 54 найменування.

У вступі обґрунтовано актуальність поставлених задач, сформульовано задачі досліджень та їх мету, відображено основні результати та практичне значення роботи.

В першому розділі проведено дослідження об'єкту автоматизації, а також виокремлено його основні характеристики. Також було сформульовано задачі автоматизації. Було проведено аналіз існуючих методів проведення дослідження та можливість їх застосування для вирішення поставлених задач. В результаті було обрано метод кількісного моделювання системи керування автоматизованим складом зберігання продукції.

У другому розділі було проведено математичне моделювання функціонування автоматизованого СЗП із врахуванням потреб кожного окремого роздрібного магазину ІКЕА, які відправляють на СЗП запити на постачання продукції. Оскільки замовлення від клієнтів представляє собою невизначену величину, то такі величини підпорядковуються законам теорії ймовірностей.

В розділі розглядаються функції нормального розподілу, Пуассонівського розподілу, експоненціального розподілу, гамма-розподілу та їх застосування для кожного окремого випадку функціонування автоматизованого складу зберігання продукції. Встановлено, що СЗП функціонує як багатоешелонна система.

У третьому розділі проведено аналітичне дослідження процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції. В результаті дослідження встановлено, яким законам підпорядковується попит на продукцію зі складу, що є основним вхідним параметром у роботі автоматизованого складу зберігання продукції при виконанні замовлення продукції клієнтами.

В четвертому розділі була побудована імітаційна модель керування автоматизованим складом зберігання продукції в програмному середовищі Extend Simulation. В цій імітаційній моделі передбачена автоматична доставка продукції у мережу, яка складається із сімнадцяти роздрібних магазинів.

Крім того, було проведено імітаційне моделювання функціонування автоматизованого СЗП протягом 100 тижнів для 95 видів продукції на складі. Також проводилась перевірка адекватності розроблених імітаційних моделей, яка показала позитивний результат.

У розділі проведено моделювання процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції. Моделювання роботи складу було виконано у програмному забезпеченні Factory I/O із використанням CODESYS. В результаті моделювання було зібрано релейно-контактні схеми пересування продукції по стелажах, аварійну зупинку руху підйомника та конвеєра, тощо.

Також було проведено обробку результатів імітаційного моделювання та надання рекомендацій до процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції. За результатами було розраховано рівень обслуговування замовників, точки ймовірності повторного замовлення продукції, рівні інвентаризації складу, розподіл товарно-матеріальних запасів всередині автоматизованого складу зберігання продукції та витрати на зберігання продукції.

За результатами імітаційного моделювання встановлено, що запровадження автоматизованого зберігання продукції на складі призведе до скорочення витрат на зберігання продукції на 39,6%.

1 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ

1.1 Основні характеристики об'єкта автоматизації

В якості об'єкта автоматизації було обрано склад зберігання продукції компанії ІКЕА. Ця компанія була заснована Інгваром Кампрадом у 1943 році. З початку свого існування ІКЕА займалась відправкою своєї продукції за каталогом, які розсилався поштою, після чого сама продукція також надсилалась поштою до покупців [8]. Тобто ще у 1953 році цій компанії була властива наявність складів та відсутність фізичних магазинів.

На сьогоднішній день ІКЕА – це світовий бренд меблів та інших товарів для дому, яка пропонує дизайн, сучасність та комфорт своїм клієнтам. На даний момент ІКЕА перетворилась у транснаціональну корпорацію, штаб-квартира якої розташована в Нідерландах. «З 2008 року вона є найбільшим у світі меблевим продавцем» [7].

Назва компанії – це абревіатура, складена із ініціалів засновника Інгвара Кампарда (літери І та К), а також назви ферми, де він виріс – Ельмтаріда (літера Е) та його рідного міста в південній Швеції Агунарді (літера А).

Компанія стала відомою не лише завдяки тому, що однією із перших доставляла меблеві товари поштою, а й своїми модерністськими конструкціями. Станом на листопад 2017 року у власності та керуванні ІКЕА знаходяться 411 магазинів у 49 країнах. Кількість товарів на вебсайті ІКЕА сягає 12 тис. одиниць, в той час як кількість відвідувачів сайту щорічно сягає 2 мільярди.

Онлайн-магазин ІКЕА в Україні був запущений у травні 2020 року. Перший магазин ІКЕА, розташований в Україні, відкрився в місті Києві за адресою вул. Степана Бандери 36, ТРЦ Blockbuster Mall (рис. 1.1).

Офіційно компанія заявила про намір вийти на український ринок ще у грудні 2017 року. Це рішення було прийнято керівництвом компанії базуючись на тому, що Україні був характерний високий попит на товари для дому. Таке

питання розглядалось ще у вересні, в результаті чого було прийнято рішення та оголошено у грудні 2017 року.



Рисунок 1.1 – Відкриття ІКЕА в ТРЦ Blockbuster Mall (Київ)

Формат магазину ІКЕА було визначено навесні 2018 року. Магазин планувався як магазин нового міського формату. Влітку 2018 року почався процес заключення ряду договорів із основними партнерами з українського боку. Вже у червні компанія ІКЕА розпочала набір персоналу до своїх магазинів та складів [6].

Сфера діяльності ІКЕА містить три основні організаційні групи (рис. 1.2): ІКЕА Holding, Ingka Holding BV (належать Sitching Ingka Foundation) та Icano Holding. Керування більшістю роздрібних магазинів ІКЕА здійснюється Ingka Holding BV. В сферу діяльності цієї філії входить розробка конструкції та дизайну нової продукції.

ІКЕА Holding розташована в Люксембурзі, при чому їй належить близько 70 фірм, в тому числі ІКЕА Systems BV, якій належить сама концепція ІКЕА. Оскільки ІКЕА з економічної точки зору представляє собою франшизу, то всі роздрібні магазини виплачують Ingka Holding BV 3% від обороту.

Третя група Icano Holding знаходиться у власності трьох синів засновника компанії, тобто лише ця частка компанії до сих пір належить сім'ї Інгвара Кампрада.

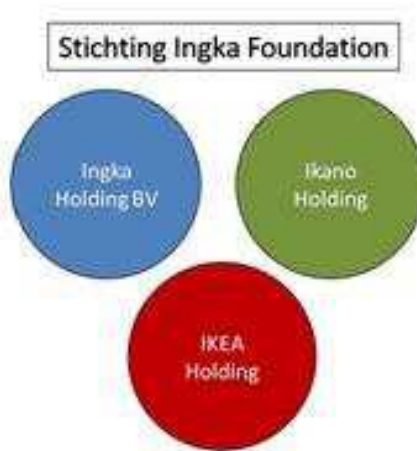


Рисунок 1.2 – Організаційна структура ІКЕА

У покупців, які замовляють продукцію у компанії ІКЕА, існує три способи отримання товарів. Перший спосіб – це власне купівля у роздрібних магазинах, другий – замовлення по телефону, а третій – замовлення через мережу Інтернет. При покупці товарів по телефону чи через Інтернет, клієнти мають можливість переглянути каталог продукції та замовити товар, який фізично може знаходитись на складі в іншій країні.

В останніх двох випадках товари поставляються на склад зберігання продукції ІКЕА, який по своїй суті виступає локальним хабом (рис. 1.3). Крім того, лише в двох останніх випадках у клієнта є можливість витрати час на очікування товару, в той час як при купівлі із роздрібною магазину вони можуть обрати товар лише із наявного на складі. На рис. 1.4 наведено ланцюг поставок продукції в компанії ІКЕА.

Склади, які проєктуються компанією ІКЕА, представляють собою великогабаритні приміщення. Зберігання продукції базується на високостелажному методі. Більшість складів ІКЕА мають висоту приміщення близько 40 метрів, що відповідає 13-поверховій будівлі. Стелажі містять 15 рядів і здатні одночасно вміщувати більше 200 тис. палет.



shutterstock.com · 2135988565

Рисунок 1.3 – Локальний хаб ІКЕА в місті Лодзь, Польща

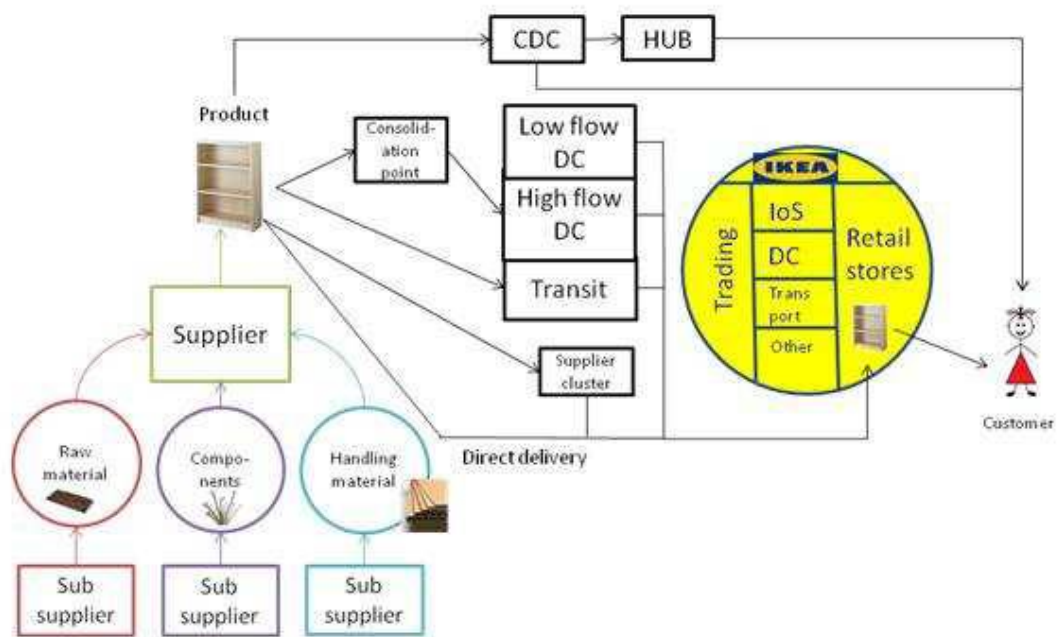


Рисунок 1.4 – Ланцюг поставок продукції в ІКЕА

Умовно зберігання продукції на складах ІКЕА поділено на три черги. В першій черзі зберігання продукції час її отримання складає 2 хвилини. В другій черзі палети із товарами підіймаються на висоту 25 метрів. Довжина одного палету в основному складає близько метру (рис. 1.6).

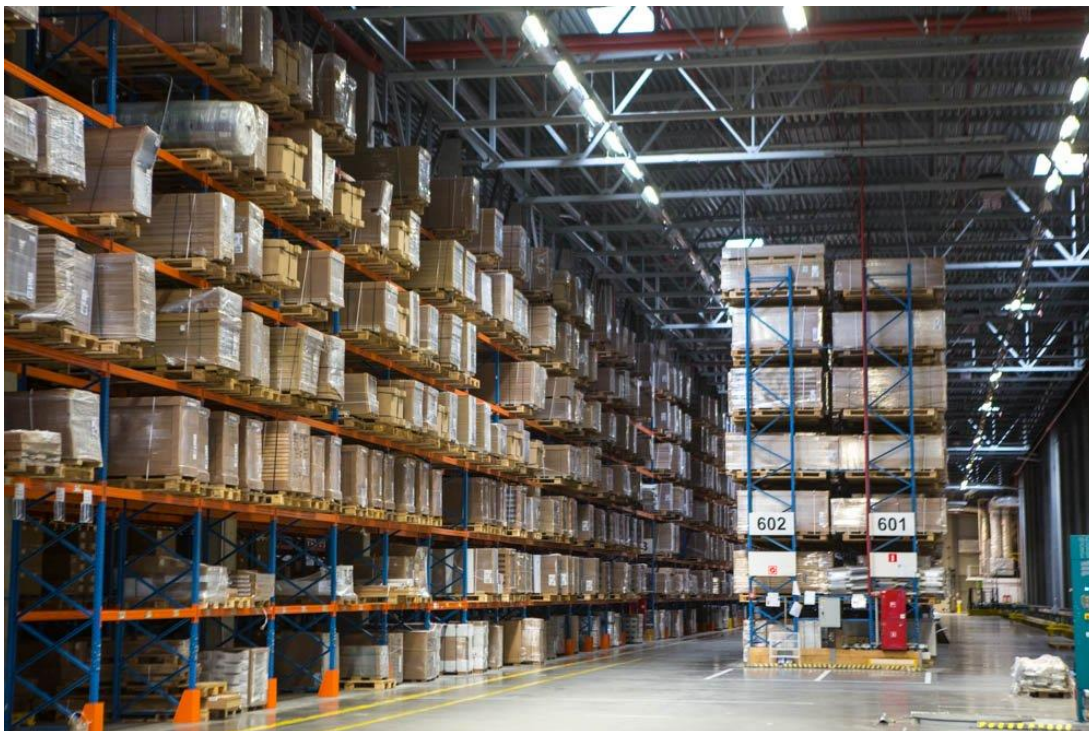


Рисунок 1.5 – Склад зберігання продукції в компанії ІКЕА



Рисунок 1.6 – Палети із продукцією на складах ІКЕА

На складах працює спеціалізована вантажно-підймальна техніка (рис. 1.7). Швидкість пересування такої техніки по території складу не перевищує 5 км/год. Середня чисельність працівників на складах ІКЕА складає 500 осіб.



Рисунок 1.7 – Вантажопідіймальна техніка, яка використовується на складах ІКЕА

Враховуючи великі замовлення та оборот продукції в компанії ІКЕА, вона використовує деякі склади в якості транзитних. Один із таких складів розташований поблизу міста Лодзь у Польщі. За словами керівництва ІКЕА, такі розподільчі центри використовують для обробки великих партій товарів та продукції, які з подібних транзитних хабів в подальшому відправляються на магазини компанії [28]. Такі склади використовують для короткочасного зберігання продукції протягом 24 годин.

Основне приміщення транзитного складу в Польщі має ширину 67 метрів та довжину 180 метрів. Зони зберігання продукції розташовуються на складах ІКЕА за дзеркальним принципом. Щорічно такий транзитний хаб здатен обробляти 1,8 млн кубометрів продукції.

1.2 Постановка задач керування автоматизованим складом зберігання продукції

За статистичними даними, які були зібрані та оброблені самою компанією ІКЕА, рівень запасів в дистриб'юторських центрах та роздрібних магазинах

можна характеризувати як високий [5]. В результаті цього компанія витрачає достатньо великі кошти на утримання запасів, внаслідок чого відбувається зниження прибутковості компанії.

Найбільші втрати компанія зазнає у тих випадках, коли певний асортимент продукції вилучається з продажу, при чому на складах ще є залишки з цього асортименту. Окрім того, що ці залишки представляють собою невикористаний економічні можливості, то вони потребують утилізації.

Майже всі системи керування складами зберігання продукції налаштовані на оптимізацію запасів по всьому ланцюгу поставок. Ці запаси продукції повинні контролюватися незалежно, а страховий запас покриває невизначеність наступного рівня попиту на той чи інший товар.

У випадку із компанією ІКЕА, до роздрібних магазинів та дистриб'юторських центрів висуваються однакові вимоги до рівня обслуговування.

В роботі розглядається можливість застосування скоординованого методу зберігання продукції, його вплив на ефективність роботи складу зберігання продукції та процес автоматизації керування складом зберігання продукції, який базується на координаційному методі зберігання.

В роботі розглядається моделювання роботи автоматизованим складом зберігання продукції на одному рівні на прикладі компанії ІКЕА. Цей рівень включає в себе один розподільчий склад зберігання продукції та декілька роздрібних магазинів.

В якості вхідних даних приймається, що всі товари до роздрібних магазинів поступають із одного складу зберігання продукції (СЗП). Обрані товари можуть належати до різних категорій як за частотою замовлень, так і за вартістю. Крім того, в роботі необхідно провести математичну оцінку проведення інвентаризації на автоматизованому СЗП.

При постановці задач автоматизації СЗП слід враховувати ряд обмежень. Перше таке обмеження не враховує той факт, що при формуванні замовлення від одного клієнта, різні товари йому можуть поставлятися з різних складів. Для

спрощення задач автоматизації СЗП в роботі за замовченням вважається, що вся продукція в рамках одного замовлення поставляється із одного СЗП.

Також слід прийняти до уваги географічну зону обслуговування роздрібних магазинів одним СЗП. Для задач автоматизації було обрано сімнадцять роздрібних магазинів, які обслуговуються одним СЗП. В реальності кількість цих роздрібних магазинів може бути більшою. Крім того, в проєкті не будуть враховуватись товари, які вилучаються із асортименту.

Отже, в рамках виконання досліджень із розробки методу керування автоматизованим складом зберігання продукції, можна поставити наступні задачі автоматизації:

- сформувані функції статистичного розподілу продукції, а саме функцію нормального розподілу, функцію за експоненціальним законом, функцію розподілу Пуассона та функцію Гамма-розподілу;

- встановлення залежностей між попитом на продукцію та інтервалами постачання продукції для їх врахування в процесі автоматизації роботи складу;

- оптимізація роботи системи зберігання продукції;

- побудова моделі автоматизованого складу зберігання продукції та перевірка достовірності моделі;

- надання рекомендацій до процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції.

1.3 Методологія дослідження технологічного процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції

При проведенні досліджень використовувалась методика, зображена на рис. 1.8. Ця методика проведення досліджень формує латинську літеру U, яка пов'язує між собою постановку проблеми та аналіз отриманих результатів.

СЗП компанії ІКЕА були обрані в якості об'єкту автоматизації оскільки їм характерний високий рівень запасів, які зберігаються на складах та у роздрібних магазинах. Зниження рівню запасів продукції, яка зберігається на складі, може

призвести до зменшення витрат на її зберігання. Але при цьому слід враховувати, що не повинен зменшитись рівень обслуговування та ні в якому разі не повинен зростати час очікування клієнтом замовленої продукції.



Рисунок 1.8 – Етапи проведення дослідження

В процесі дослідження необхідно дослідити існуючу модель керування складом продукції та дослідити переваги від впровадження автоматизованої моделі на СЗП ІКЕА. Таке дослідження можна провести шляхом використання статистичних даних, зібраних власне компанією ІКЕА, із діючою системою керування складом.

В результаті виконання роботи буде створено імітаційну модель, за допомогою якої можна провести перевірку поточної моделі керування СЗП із автоматизованою моделлю.

Умовно етапи виконання роботи можна поділити на наступні:

1. Збір статистичної інформації, її обробка та сортування.
2. Визначення точок виконання клієнтами повторних замовлень.

3. Обробка отриманих результатів.

Вибір методології проведення дослідження в основному буде залежати від співвідношення теоретичних даних та даними за результатами проведених досліджень.

В рамках поставлених задач автоматизації можна виділити основні підходи для проведення досліджень, а саме [12]:

- опитування;
- дослідження кейсів;
- проведення експерименту;
- дослідження практичної діяльності;
- моделювання системи керування автоматизованим СЗП.

Оскільки в місті Хмельницькому відсутні склади ІКЕА, то провести опитування працівників складу стає неможливим. Тому в роботі цей метод не застосовувався.

Дослідження кейсів (конкретних випадків) має на меті опис конкретних явищ та об'єктів. Результати кожного окремого тематичного дослідження не обов'язково можуть застосовуватись до інших, більш загальних, випадків [47].

Проведення експерименту передбачає знаходження причинно-наслідкового зв'язку між вхідними та вихідними параметрами. Першим кроком при проведенні експерименту є визначення мети, на основі якої в подальшому сформулюється гіпотеза. Далі проводиться визначення параметрів, які мають вплив на досліджуване явище, що і представляє собою вхідні дані. Вихідні дані при такому підході представляють собою результуючі параметри.

Дослідження практичної діяльності спрямоване на вдосконалення певної системи, яке починається із спостереження. В результаті спостереження відбувається ідентифікація проблеми, після чого розробляються пропозиції щодо вирішення виявленої проблеми [20].

Моделювання системи роботи автоматизованого СЗП представляє собою застосування аналітичної моделі до реального об'єкту дослідження. Процес дослідження за цим методом найчастіше складається із наступних етапів:

- постановка проблеми;
- збір вхідних даних;
- формулювання математичної моделі представлення проблеми;
- розробка комп'ютерної моделі для розв'язку поставлених задач;
- перевірка моделі та її доопрацювання у разі необхідності;
- впровадження моделі.

Враховуючи відсутність можливості потрапити на СЗП ІКЕА, до поставлених задач автоматизації неможливо буде застосувати підхід проведення опитувань, проведення експерименту, дослідження кейсу та дослідження практичної діяльності. Тому в якості методології проведення дослідження було обрано моделювання роботи автоматизованого СЗП.

Дослідження бувають якісними та кількісними. При проведенні кількісного дослідження інформація повинна представлятися у вигляді, які можна описати цифрами. Таку інформацію в подальшому можна обробити шляхом застосування статистичних методів, а отримані результати можна використовувати для узагальнення висновків проведених кількісних досліджень.

При проведенні якісного дослідження використовується більш деталізована, ніж у кількісному дослідженні, інформація. Така інформація може складатися із візуальних зображень, описів, які потребують аналізу, тощо. При такому підході достатньо трудомістким є власне збір інформації [29].

В роботі в якості вхідних даних використовується інформація, представлена у числовому вигляді. Результати запровадження змодельованої системи керування автоматизованим СЗП також будуть мати кількісні показники. Тому в роботі застосовується метод кількісного моделювання.

1.4 Висновки до першого розділу

В розділі проведено дослідження об'єкту автоматизації, а також виокремлено його основні характеристики. Також було сформульовано задачі автоматизації. Було проведено аналіз існуючих методів проведення дослідження

та можливість їх застосування для вирішення поставлених задач. В результаті було обрано метод кількісного моделювання системи керування автоматизованим складом зберігання продукції.

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КЕРУВАННЯМ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ

2.1 Формування функцій статистичного розподілу продукції

Одним із основних показників роботи СЗП є кількість та асортимент продукції, яка зберігається в ньому, а також частота постановок нової продукції. Слід враховувати, що при значному перевищенні частоти поставок продукції над запитом на продукцію на СЗП буде утворюватися перевантаженість. В протилежному випадку на СЗП утвориться дефіцит певного виду товару.

Розгляд автоматизованого СЗП неможливий без врахування запитів від покупців на продукцію. Крім того, до уваги варто брати ще й попит на різні категорії товарів. Наприклад, на побутову хімію попит буде вищий, ніж на меблі, тому і запити на поставку продукції із СЗП до роздрібного магазину будуть частішими, ніж у випадку з меблями.

«Статистичний ряд розподілу – це впорядкований розподіл одиниць досліджуваної сукупності на групи за групувальною ознакою. Вони характеризують склад досліджуваного явища, дозволяють судити про однорідність сукупності, межі її зміни, закономірності розвитку досліджуваного об'єкта» [49]. Статистичні ряди розподілу поділяються на [30]:

- кількісні (варіаційні);
- атрибутивні (якісні).

2.1.1 Основні поняття, що застосовуються при статистичному розподілі

Вартість зберігання (ВЗ) – це вартість зберігання однієї одиниці товару на СЗП протягом визначеної одиниці часу [32].

Вартість дефіциту (ВД) – це витрати на одиницю продукції на вказану одиницю часу, які пов'язані із відсутністю продукції на складі за умови, що на продукцію є попит [36].

Час виконання замовлення (ЧВЗ) – час, який необхідний для отримання замовлення клієнтом після його розміщення на сайті або замовлення по телефону.

Час транспортування (ЧТ) – час, необхідний для отримання замовлення клієнтом після його розміщення, враховуючи можливість негайного виконання замовлення [43].

Втрачені продажі (ВП) – це ймовірність виходу клієнтів із магазину без придбання товару, оскільки товар відсутній в наявності [22].

Зворотне замовлення (ЗЗ) виникає в тому випадку, якщо клієнт витрачає час на очікування замовлення якщо у постачальника немає товару на момент розміщення замовлення клієнтом.

Рівень запасів (РЗ) – фактичні запаси продукції на складі [43].

Позиція на складі – сума рівню запасів із незавершеними замовленнями із вирахуванням можливих зворотних замовлень [43].

Цикл рівня обслуговування 1 (ЦРО1) – ймовірність відсутності дефіциту за цикл замовлення [22].

Цикл рівня обслуговування 2 (ЦРО2) або коефіцієнт заповнення – частка попиту, яка може бути задоволена негайно із наявних запасів [22].

Цикл рівня обслуговування 3 (ЦРО3) або коефіцієнт готовності – частка часу з позитивним запасом на складі. У випадку, якщо попит безперервний або якщо у клієнтів є можливість придбати продукцію лише один раз, то значення ЦРО2 та ЦРО3 рівні між собою [22].

Політика поповнення запасів (ППЗ) $R+Q$ представляє собою основну політику, яка використовується в компанії ІКЕА. Вона передбачає, що замовляється кількість одиниць товару в той момент, коли рівень запасу опускається нижче певного граничного рівня.

2.1.2 Функція нормального розподілу

Закон Гаусса, або нормальний закон розподілу (рис. 2.1) – це розподіл ймовірностей випадкової величини, характеристикою якого є густина ймовірності. Густина ймовірності, яку ще називають щільністю неперервної

випадкової величини – це функція, «яка визначає ймовірнісну міру відносної правдоподібності, того що значення випадкової величини буде відповідати заданій події, для кожної окремої події у просторі подій» [19].

Більшість випадкових величин можуть бути подані в якості суми великої кількості малих доданків [50]. У випадку застосування закону Гаусса до СЗП випадковою величиною може бути замовлення певного товару клієнтом зі складу. Приклад функції нормального розподілу наведений на рис. 2.1.

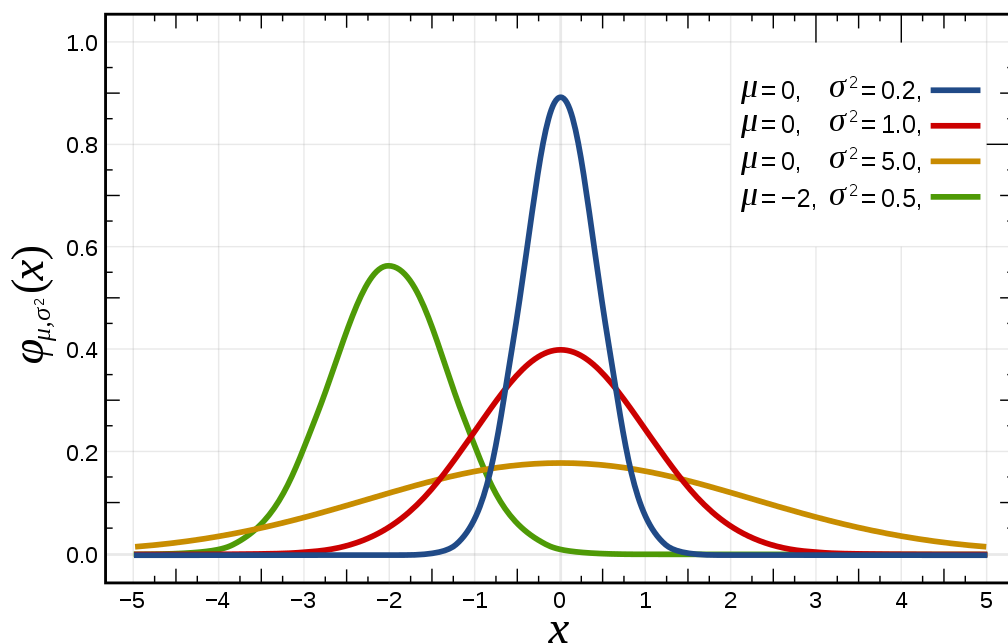


Рисунок 2.1 – Функція нормального розподілу

Випадкова величина ε вважається нормально розподіленою (або ж тою величиною, що підпорядковується закону Гаусса) в тому випадку, якщо її щільність розподілу має наступний вигляд [50]:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.1)$$

де $\sigma > 0$;

a – це довільно дійсне число.

Тоді кумулятивна функція нормального розподілу:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx. \quad (2.2)$$

2.1.3 Розподіл за експоненціальним законом

Експоненціальний розподіл (рис. 2.2), який також називають показниковим розподілом – це розподіл неперервної випадкової величини, якій характерний параметр $\lambda > 0$, і задається наступним законом [41]:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < 0, \\ \lambda e^{-\lambda x}, & \text{якщо } x \geq 0. \end{cases} \quad (2.3)$$

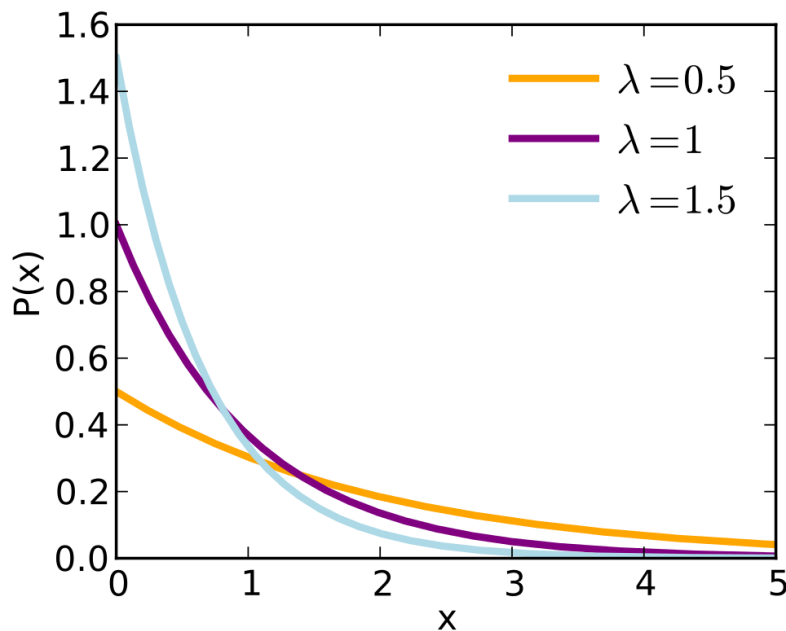


Рисунок 2.2 – Показниковий (експоненціальний) розподіл випадкової величини

У випадку СЗП експоненціальний розподіл підходить для визначення наближеного часу між прибуттям товару до системи обслуговування замовлення клієнта. Тоді густина функції експоненціального розподілу становить [34]:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}. \quad (2.4)$$

Кумулятивна функція експоненціального розподілу [34]:

$$F(x, \lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & \text{при } x \geq 0 \\ 0, & \text{при } x < 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

де λ - це середня кількість випадків замовлення продукції із СЗП за одиницю часу.

Основною перевагою застосування експоненціального розподілу до математичного моделювання роботи СЗП є те, що він не враховує попередні дані. Це означає, що в будь-який момент часу функціонування СЗП час до приходу наступного замовлення від клієнта становитиме $1/\lambda$, при цьому не враховується час прибуття замовлення від попереднього клієнту. Така незалежність показникового розподілу робить його придатним для представлення різниці у часі між прибуттями кінцевих замовників продукції за складу.

2.1.4 Функція розподілу Пуассона

Функція розподілу Пауссаона (рис. – це один із видів розподілу в теорії ймовірностей, в якому величина називається розподіленою у відповідності до закону Пуассона з параметром λ у випадку, якщо до неї можна застосувати наступну рівність [14]:

$$\Pr(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, \quad (2.6)$$

при чому $k \in N_0$.

У випадку СЗП, час між приходами замовлень від клієнтів розподілений у відповідності із експоненціальним законом, а кожен клієнт при цьому бажає виконати замовлення лише одного товару із списку продукції. В такому випадку робота СЗП підпорядковується Пуассонівському розподілу.

Такий випадок є особливим для СЗП, а дисперсія стає рівною середньому попиту. Точний розподіл попиту на продукцію із СЗП при цьому невідомий, а поведінка клієнта апроксимується за допомогою функцію розподілу Пуассона.

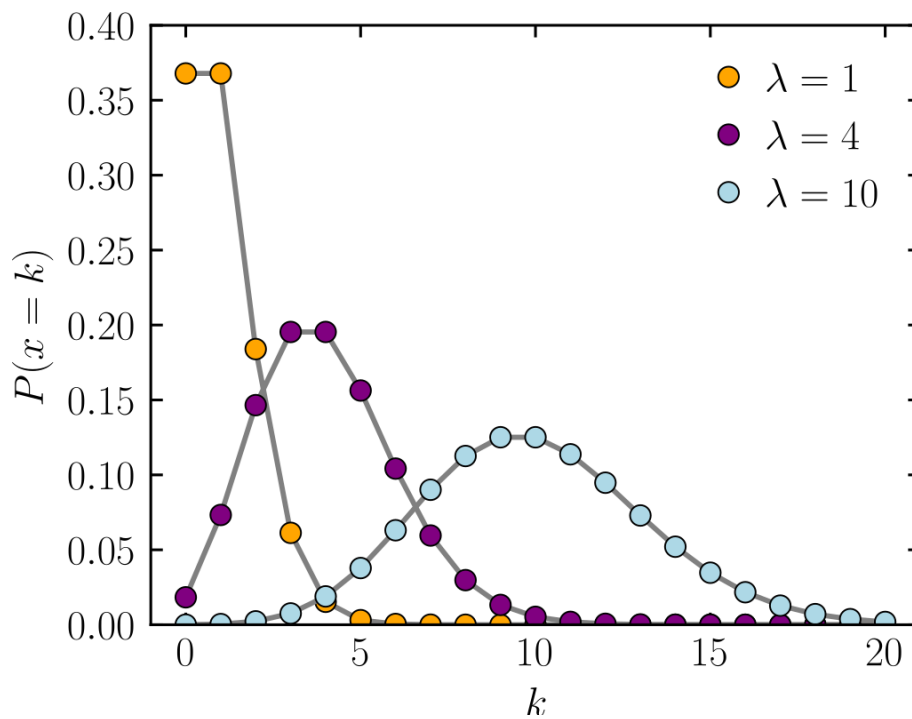


Рисунок 2.3 – Функція розподілу Пуассона

Очікуваний час між прибуттями клієнтів в такому випадку становитиме $1/\lambda$. Пуассонівський розподіл доцільно використовувати у тих випадках, коли дисперсія, яка становить σ^2 , поділена на середнє значення μ і лежить в межах 0,9-1,1. У випадку, якщо σ^2/μ має значення, яке менше 0,9 прийнято вважати, що оцінка клієнтів та їх замовлень підпорядковується Пуассонівському розподілу [24].

Складний Пуассонівський розподіл дозволяє враховувати ймовірність придбання клієнтами більше однієї одиниці продукції із СЗП, що більш реально відображає фактичне функціонування СЗП та роздрібних магазинів ІКЕА. Проміжки часу між візитами клієнтів в такому випадку все одно підпорядковується експоненціальному розподілу, в той час як кількість одиниць замовленої продукції вважається незалежною від інших клієнтів. Така кількість підпорядковується дискретному розподілу, або складному Пуассонівському розподілу.

Для невідомих моделей попиту на продукцію із СЗП і у випадках, якщо дисперсія попиту є відносно більшою за її середнє значення (σ^2/μ більше за 1,1),

для опису поведінки клієнта та виконання ним замовлень використовується складний Пуассонівський розподіл.

2.1.5 Функція Гамма-розподілу

Гамма-розподіл (рис. 2.4) – це «двопараметрична сім'я абсолютно неперервних розподілів» [18]. На відміну від попередньо розглянутих розподілів, такий розподіл має два вхідних параметри – параметр форми α та параметр масштабу β . У гамма-розподілі щільність представлена наступним чином [41]:

$$f(x) = \frac{e^{-x/\beta}}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1} \quad (2.7)$$

для значень $x, \beta, \alpha > 0$.

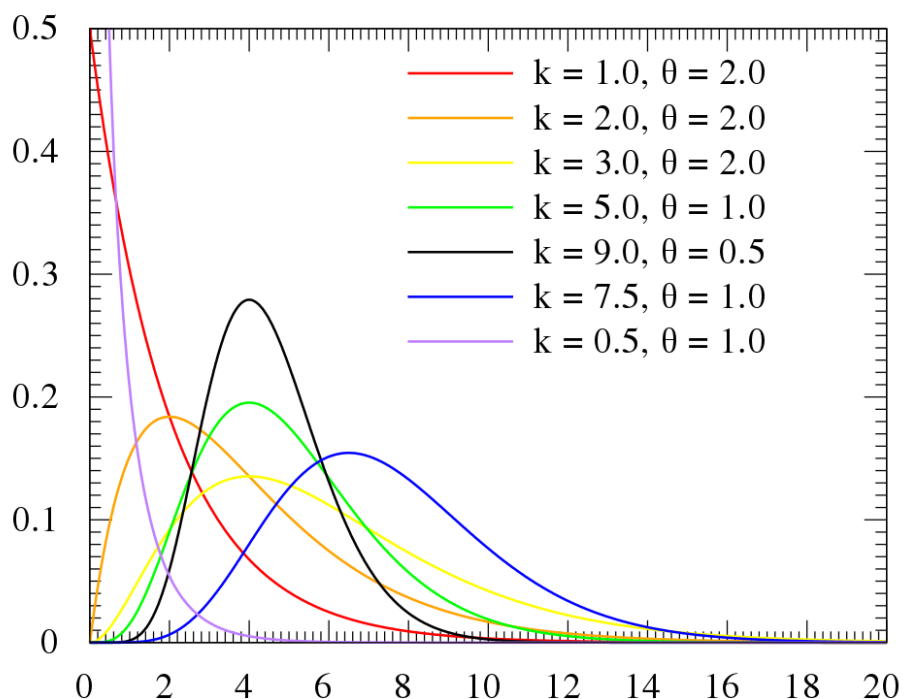


Рисунок 2.4 – Щільність ймовірності при гамма-розподілі

Кумулятивна функція розподілу тоді становить [41]:

$$F(x) = 1 - e^{-x/\beta} \sum_{j=0}^{\alpha-1} \frac{(x/\beta)^j}{j!}, \quad (2.8)$$

при чому $x > 0$.

У випадку, якщо параметр α рівний 1, гамма-розподіл стає рівним та повністю відповідає експоненціальному розподілу із однією відмінністю – вхідним параметром для такого експоненціального розподілу стає параметр β .

2.2 Встановлення залежностей між попитом на продукцію та інтервалами постачання

В попередньому розділі були розглянуті різні види розподілів за теорією ймовірності та математичної статистики, які застосовуються для оцінки виникнення кількості подій за встановлену одиницю часу. Такими подіями у СЗП стане замовлення продукції від клієнту. Ці розподіли можуть бути перетворені за допомогою математичних операцій та формул в інші розподіли, завдяки яким можна провести оцінку різниці у часі прибуття між різними клієнтами.

Зробивши припущення, що час між прибуттями клієнтів розподілений експоненціально, а розмір попиту при цьому підпорядковується логарифмічному розподілу, можна провести обчислення ймовірності того, що клієнт оформить замовлення на придбання певної кількості продукції та, відповідно, на її подальшу доставку із СЗП. У випадку застосування цих двох припущень, розподіл попиту буде відповідати від'ємному біноміальному розподілу.

Від'ємний біноміальний розподіл – це «розподіл випадкової дискретної величини, рівної кількості невдач в послідовності випробувань Бернуллі з імовірністю успіху p , проведений до r -го успіху» [15]. На рис. 2.5 наведено функції розподілу для 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20 та 40 успіхів.

За таким розподілом функція ймовірності випадкової величини X має вигляд [15]:

$$P(X = k) = \binom{k-1+r}{k} p^r q^k, k = 0, 1, 2 \dots \quad (2.9)$$

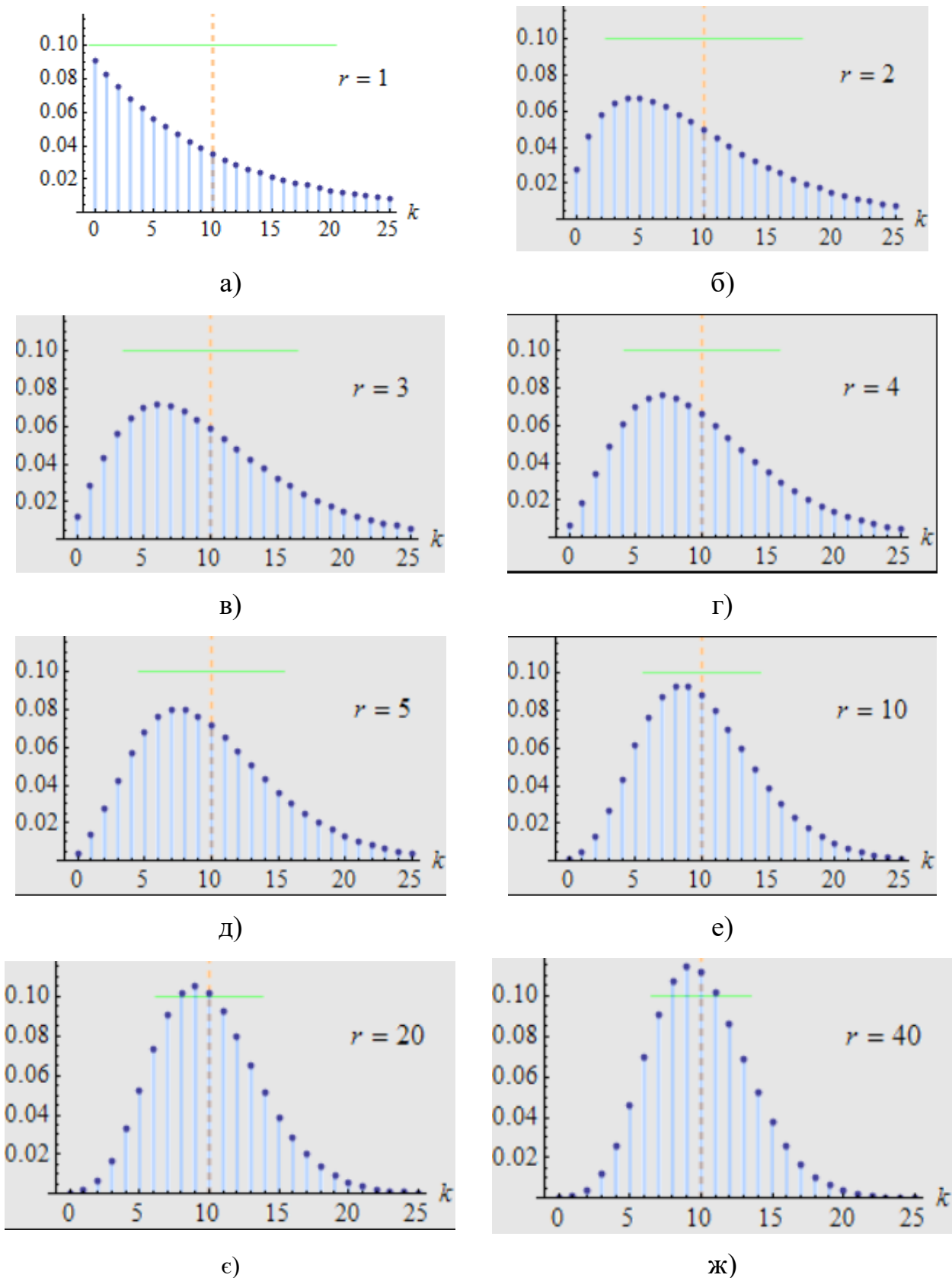


Рисунок 2.5 – Зміна функції від'ємного біноміального розподілу при різних кількості успіхів (r):

а – 1 успіх; б – 2 успіхи; в – 3 успіхи; г – 4 успіхи; д – 5 успіхів; е – 10 успіхів; е – 20 успіхів; ж – 40 успіхів

Для спрощення розрахунків був введений проміжний параметр α , який представляє собою:

$$\alpha = 1 - \frac{\mu}{\sigma^2}. \quad (2.10)$$

Тоді інтенсивність прибуття клієнтів λ розраховується за наступною формулою:

$$\lambda = -\mu \frac{(1-\alpha) \cdot \ln(1-\alpha)}{\alpha}. \quad (2.11)$$

Ймовірність розміру кожного попиту із матриці клієнтів, які складають собою інтенсивність прибуття, можна розрахувати за формулою:

$$f_j = -\frac{\alpha^j}{j \cdot \ln(1-\alpha)}, \quad (2.12)$$

де j – кількість продукції за замовленнями клієнтів.

2.2.1 Одношелонні системи зберігання продукції

Одношелонна система інвентаризації представляє собою систему, яка складається із однієї інвентаризаційної установки [43]. Для аналізу та оптимізації систем такого типу використовується ряд методів аналізу, які базуються на різних припущеннях та умовах функціонування системи.

Такі припущення, які необхідно враховувати при проведенні аналізу функціонування одношелонних систем інвентаризації є наступні:

- якому із законів розподілу підпорядковується система;
- час виконання замовлення представляє собою постійну або стохастичну функцію;
- політика виконання замовлень, яка використовується у компанії;

- наявність політики періодичного або безперервного перегляду замовлень;
- наявність зворотних замовлень або втрачених продажів;
- визначення рівня обслуговування, яке використовується для здійснення контролю за запасами продукції;
- оптимізація витрат шляхом введення штрафних санкцій у випадку виникнення зворотних замовлень.

Зробивши припущення, що попит, фіксована кількість замовлень та час його виконання підпорядковується закону нормального розподілу, щільність системи $f(x)$ та функція розподілу $F(x)$ будуть відповідати рівню запасів (РЗ) продукції на автоматизованому складі зберігання. В таких системах стандартне відхилення позначається σ' , а середнє відхилення - μ' . Нормальний розподіл підпорядковується функції щільності $\varphi(x)$.

При таких початкових припущеннях функція розподілу РЗ може бути представлена у вигляді формули:

$$F(x) = P(\text{РЗ} \leq x) = \frac{1}{Q} \cdot \int_R^{R+Q} \left(1 - \Phi \left(\frac{u-x-\mu'}{\sigma'} \right) \right) du. \quad (2.13)$$

При введенні функції втрачених продажів (ВП), яка позначається $G(x)$, вона буде мати вигляд:

$$G(x) = \int_x^{\infty} (v - x) \cdot \varphi(v) dv = \varphi(x) - x \cdot (1 - \Phi(x)). \quad (2.14)$$

Тоді $G'(x)$ буде:

$$G'(x) = \Phi(x) - 1. \quad (2.15)$$

Використовуючи функцію втрати продажів (ВП), функція $F(x)$ може бути представлена у наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
F(x) &= \frac{1}{Q} \cdot \int_R^{R+Q} \left(-G' \cdot \left(\frac{u-x-\mu'}{\sigma'}\right)\right) du = \\
&= \frac{\sigma}{Q} \cdot \left(G \cdot \left(\frac{R-x-\mu'}{\sigma'}\right) - G \left(\frac{R+Q-\mu'-x}{\sigma'}\right)\right)
\end{aligned} \tag{2.16}$$

Слід враховувати, що ЦРО 3 – це частка часу за умови позитивного запасу продукції на СЗП. У випадку припущення, що попит безперервний, а ЦРО2 рівне ЦРО3, рівень обслуговування замовлень від клієнтів можна представити в наступному вигляді:

$$\text{ЦРО2} = \text{ЦРО3} = 1 - F(0) = 1 - \frac{\sigma'}{Q} \cdot \left(\frac{R-\mu'}{\sigma'} \cdot G - \frac{R+Q-\mu'}{\sigma'} \cdot G\right) \tag{2.17}$$

З формули 2.17 можна знайти найнижчу можливу точку отримання повторного замовлення, яке буде задовольняти поточну вимогу до РО клієнтів. Цю точку можна знайти шляхом поступового збільшення величини R до тих пір, поки у системі не буде досягнутий бажаний РО.

З цієї форми можна також встановити зв'язок між вартістю дефіциту продукції та рівнем обслуговування. Це значення може знадобитись при проведенні порівнянні різних СЗП. Наприклад, у випадку, якщо важко провести визначення, який із двох автоматизованих СЗП є більш ефективним у своєму функціонуванні, та якому характерні вищі показники РО та кращий показник задоволеності клієнтів обслуговуванням, то більш ефективною буде автоматизований СЗП із вищим значенням.

Перетворення РО у вартість дефіциту продукції а СЗП дає можливість провести порівняння систем шляхом кількісної оцінки вартості дефіциту в кожному окремому СЗП та вартості зберігання одиниці продукції. Формула, яка буде застосовуватись для такого перетворення ЦРО2 у ВД із врахуванням вартості зберігання продукції буде наступною:

$$p = \frac{h \cdot \text{ЦРО2}}{1 - \text{ЦРО2}} \tag{2.18}$$

Відповідно до формули 2.18 у випадку мінімізації очікуваних загальних втрат на зберігання продукції та відшкодування ВД, в такому випадку РО буде відповідати ЦРО2 та значенню p .

2.2.2 Багатошарові системи зберігання продукції

На практиці набагато частіше використовуються багатошарові системи інвентаризації СЗП. В таких системах установки пов'язані між собою. В таких системах більша ймовірність моделювання системи із врахуванням РЗ та подальшої оптимізації системи керування запасами продукції.

Дистрибутивна система постачання продукції в таких системах найчастіше будується відповідно до прикладу, який показаний на рис. 2.6. У цій системі наявний один СЗП, який здійснює доставку продукції до певної кількості роздрібних магазинів. Рівень запасів продукції в СЗП впливає на визначення часу доставки продукції до роздрібного магазину, внаслідок чого вплив присутній також і на рівень обслуговування клієнтів. Чим вищий РЗ на СЗП, тим менші запаси продукції необхідно зберігати на автоматизованому СЗП.

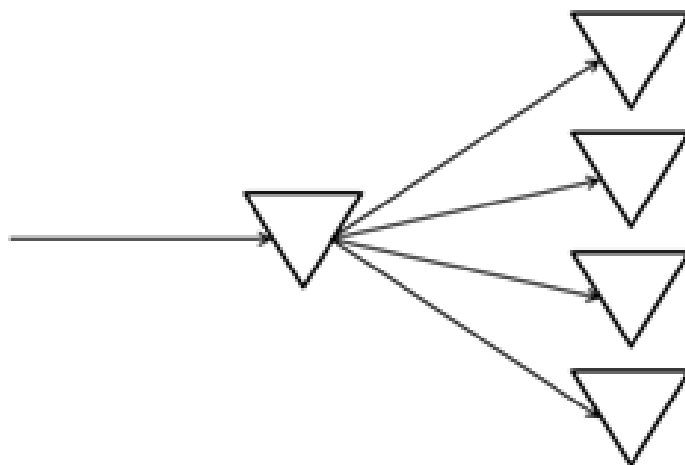


Рисунок 2.6 – Багатошарова дистрибутивна система постачання продукції

Хоча слід відзначити, що такому підходу характерний один вагомий недолік. Він полягає в тому, що в СЗП зростають витрати на утримання продукції.

Оптимальний ПЗ для системи запасів буде залежати від коливань попиту, структури функціонування СЗП, часу транспортування, політики поповнення запасів, їх розподілу та питомих витрат.

На рис. 2.7 показана змішана система, яка в реальному житті більш поширена, ніж дистрибутивна система. Змішана система характеризується поставками запасів до інвентаризаційних установок, а в кінці ланцюга знаходиться елемент, який представляє собою зберігання продукції на складі. Проміжні ланки представляють собою збір продукції, її транспортування по СЗП, тощо. Така система характеризується наявністю початкових запасів продукції із меншою вартістю.

Достатньо часто використовується поєднання змішаною та дистрибутивної системи, яке показано на рис. 2.8. Такі системи називають загальними.

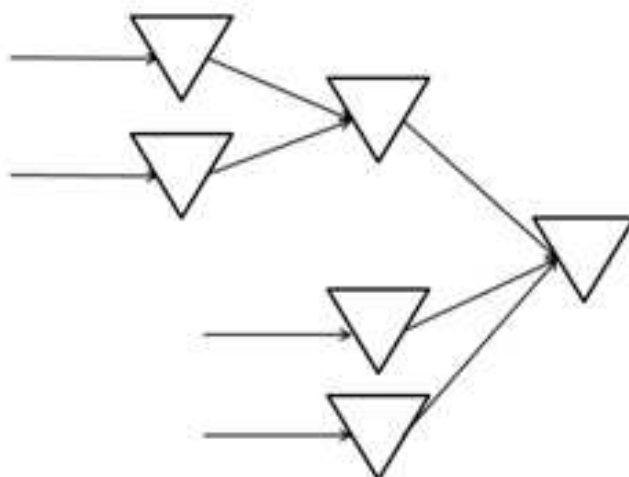


Рисунок 2.7 – Змішана багатоешелонна система інвентаризації

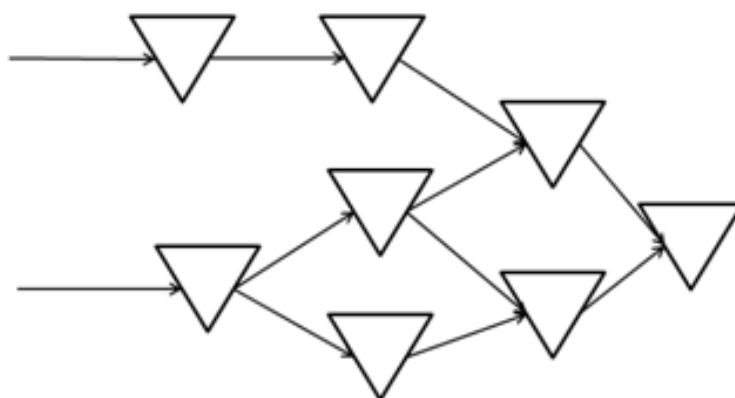


Рисунок 2.8 – Загальна багатоешелонна система інвентаризації

2.3 Метод оптимізації багатоешелонних систем зберігання продукції

Для оцінки точок повторного замовлення в багатоешелонній системі СЗП використовувалась модель, яка буде детально описана у розділі 3.2. В цій моделі використовується ряд умовних позначень, які представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Умовні позначення, які використовуються в математичній моделі керування автоматизованим складом зберігання продукції

Опис елементу моделі	Позначення
<i>I</i>	<i>2</i>
Кількість роздрібних магазинів	<i>N</i>
Обсяг замовлення в роздрібному магазині	q_i, Q_i
Найбільший спільних ділянок всіх замовлень в СЗП	<i>Q</i>
Обсяг замовлень в СЗП	Q_0
Витрати на утримання на СЗП одиниці продукції	h_0
Витрати на утримання в роздрібному магазині одиниці продукції	h_i
Вартість дефіциту на одиницю продукції (роздрібний магазин)	p_i
Постійний ЧТ між СЗП та роздрібним магазином	l_i
Постійний час доставки замовлення до СЗП	L_0
Очікуваний час поставки замовленої продукції до роздрібного магазину	\bar{L}_1
ЧТ замовлення до роздрібного магазину із врахуванням стохастичної змінної	L_i
Очікуваний попит в роздрібному магазині	μ_i
Очікуваний попит в роздрібному магазині на одиницю часу	μ_0
Попит в роздрібному магазині протягом часу <i>t</i>	$D_0(t)$
Середньоквадратичне відхилення попиту в роздрібному магазині	σ_i
Точки повторного замовлення в СЗП	R_0

Продовження таблиці 2.1

<i>1</i>	<i>2</i>
Точки повторного замовлення в роздрібному магазині	R_i
Очікувані витрати на СЗП на одиницю часу	C_0
Очікувані витрати в роздрібному магазині на одиницю часу	C_i
Очікувана кількість продукції в СЗП	$B_0(R_0)$
Очікувана кількість продукції в роздрібному магазині	$B^i_0(R_0)$
Очікувана вартість системи на одиницю часу	TC

Модель та її оптимізація розроблялись із рядом припущень. Модель складається із СЗП, який постачає неідентичні товари у кількості N до роздрібних магазинів ІКЕА. Тобто, математичне моделювання проводиться для багатоешелонної системи. СЗП поповнює свої запаси за рахунок постачань із припущенням, що ЧТ L_0 є постійним. Тобто відсутній ризик виникнення дефіциту товару у постачальника.

Всі роздрібні магазини та СЗП в багатоешелонній системі використовують політику поповнення запасів $R+Q$. Вважається, що всі замовлення та їх обсяги є визначеними заздалегідь та фіксованими.

Наступне припущення полягає в тому, що час доставки продукції між СЗП та роздрібними магазинами ІКЕА є постійним. На СЗП та в магазинах продукція поставляється в порядку черги, тобто в міру її надходження на СЗП або магазин. В такому випадку замовлення продукції не залежить від попиту на СЗП. Максимальна затримка на СЗП становить L_0 .

В такій системі загальна очікувана вартість може бути представлена як формула:

$$TC = C_0 + \sum_{i=1}^N C_i. \quad (2.19)$$

Такий підхід заснований на декомпозиції багатоешелонної системи постачання продукції на окремі задачі інвентаризації в кількості $N+1$, де одиниця враховує славне СЗП, а N – це кількість роздрібних магазинів.

Попит на продукцію на СЗП базується на попиту у всіх роздрібних магазинах (D_i). Рівень заповненості СЗП не встановлюється. Тоді для багатоешелонної системи постачання продукції залежність буде набувати наступного вигляду:

$$\beta_i(p_i, Q_i, \sigma_i) = \sigma_i^{k(p_i, Q_i)} \cdot g(p_i, Q_i). \quad (2.20)$$

Після розрахунку індукованих витрат на виконання зворотних замовлень для кожного окремого роздрібного магазину ІКЕА, можна визначити середньозважений показник для СЗП на основі формули:

$$\beta^* = \sum_{i=1}^N \beta_i^* \cdot \frac{\mu_i}{\mu_0}. \quad (2.21)$$

Якщо вартість ЗЗ встановлена, то точка повторного замовлення на СЗП легко оптимізується шляхом мінімізації:

$$\tilde{C}_0(R_0) = C_0(R_0) + \frac{\beta}{Q} \cdot \sum_{1+R_0}^{R_0+Q_0} E_{D_0(L_0)} \cdot (D_0(L_0) - Q_0 \cdot y). \quad (2.22)$$

Витрати на утримання продукції в СЗП представляють собою сумарне значення вартості утримання резервних одиниць продукції та витрат утримання запасів:

$$C_0(R_0) = E(B_0^r) \cdot Q \cdot h_0 + h_0 \cdot E(L_0). \quad (2.23)$$

В такій системі очікуваний середній запас продукції на СЗП $E(L_0)$ становитиме:

$$E(L_0) = \frac{1}{Q_0} \sum_{y_0=1+R_0}^{R_0+Q_0} E_{D_0(L_0)} \cdot (Q_0 \cdot y_0 - D_0(L_0)). \quad (2.24)$$

Значення R_0 в подальшому буде використовуватись для отримання на кожному роздрібному магазині очікуваного середнього часу виконання замовлення:

$$\begin{aligned} \bar{L}_i(R_0^*) = & \left(\frac{(Q_i - Q) \cdot \mu_i - \frac{\eta_i}{N} + 1}{\eta_i} \right) \cdot \frac{Q \cdot E(B_0)}{\mu_0} + l_i + \\ & + \frac{(Q_i - Q) \cdot \mu_i}{\eta_i} \cdot \frac{Q \cdot E(B_0^r)}{\mu_0}. \end{aligned} \quad (2.25)$$

де

$$\eta_i = \sum_{i=1}^N (Q_i - Q) \cdot \mu_i. \quad (2.26)$$

$$E(B_0^r) = E\left(\bar{Q} \cdot \left\lfloor \frac{B_0}{Q} \right\rfloor\right) - E(B_0). \quad (2.27)$$

$$\bar{Q} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{\lambda_0}. \quad (2.28)$$

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{Q_i}. \quad (2.29)$$

Загальна формула вартості одиниці часу для кожного окремого роздрібного магазину становитиме:

$$C_i(R_0, R_i) = E(L_i) \cdot h_i + E(L_i) \cdot (h_i + p_i). \quad (2.30)$$

У випадку нормально розподіленого попиту, формула розрахунку витрат роздрібного магазину ІКЕА виглядає наступним чином:

$$C_i(\bar{L}_i(R_0)R_i) = \left(R_i + \frac{Q_i}{2} - \bar{L}_i\mu_i \right) \cdot h_i + \left(\left(\frac{R_i - \bar{L}_i\mu_i}{\frac{1}{\bar{L}_i^2\sigma_i}} \right) \cdot H - L_i\mu_i - R_iH \right) \cdot (p_i + h_i) \cdot \frac{\bar{L}_i\sigma_i^2}{2Q_i}. \quad (2.31)$$

де

$$H(v) = (1 - \varphi(v))(1 + v^2) - v\varphi(v). \quad (2.32)$$

За допомогою формули 2.31 визначаються оптимальні точки повторного замовлення шляхом мінімізації витрат для кожного окремого роздрібного магазину. Якщо узагальнити запропонований метод, то він зводиться до наступних кроків:

- визначення розподілу попиту на продукцію на СЗП;
- визначення індукованих витрат кожного роздрібного магазину на зворотні замовлення;
- визначення індукованих витрат СЗП на зворотні замовлення;
- визначення розподілу попиту на продукцію на СЗП;
- визначення оптимальної точки повторного замовлення продукції на СЗП;
- для роздрібних магазинів розрахунок середнього часу виконання замовлення;
- визначення оптимальної точки повторного замовлення продукції на роздрібних магазинах.

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі було проведено математичне моделювання функціонування автоматизованого СЗП із врахуванням потреб кожного окремого роздрібного магазину ІКЕА, які відправляють на СЗП запити на постачання

продукції. Оскільки замовлення від клієнтів представляє собою невизначену величину, то такі величини підпорядковуються законам теорії ймовірностей.

В розділі розглядаються функції нормального розподілу, Пуассонівського розподілу, експоненціального розподілу, гамма-розподілу та їх застосування для кожного окремого випадку функціонування автоматизованого складу зберігання продукції. Встановлено, що СЗП функціонує як багатоешелонна система.

3 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ

3.1 Вхідні дані для проведення дослідження

Для визначення точок перерозподілу продукції необхідно мати масив статистичних даних. Ці статистичні дані знаходяться у відкритому доступі на сайті ІКЕА [5]. На рис. 3.1 наведено обсяг продукції, яка була продана в ІКЕА різними шляхами у 2022 році.



Рисунок 3.1 – Обсяги продажу ІКЕА в 2022 році

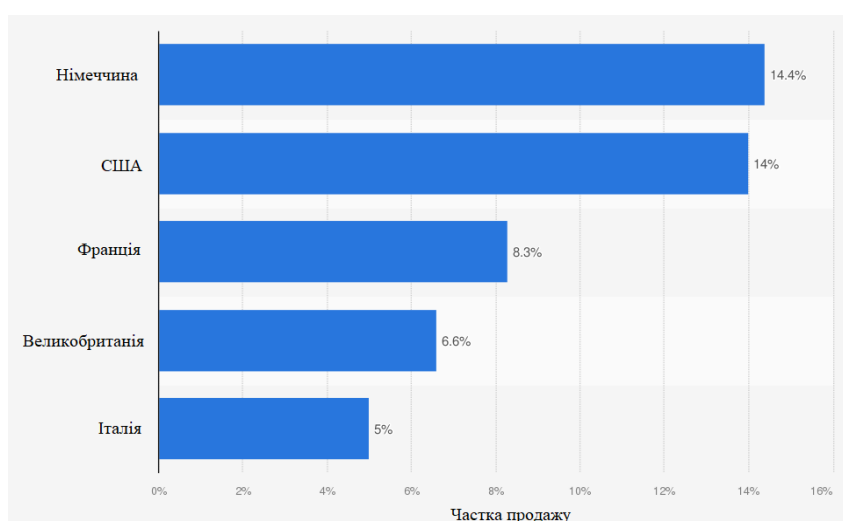


Рисунок 3.2 – Частка продажу продукції по країнам

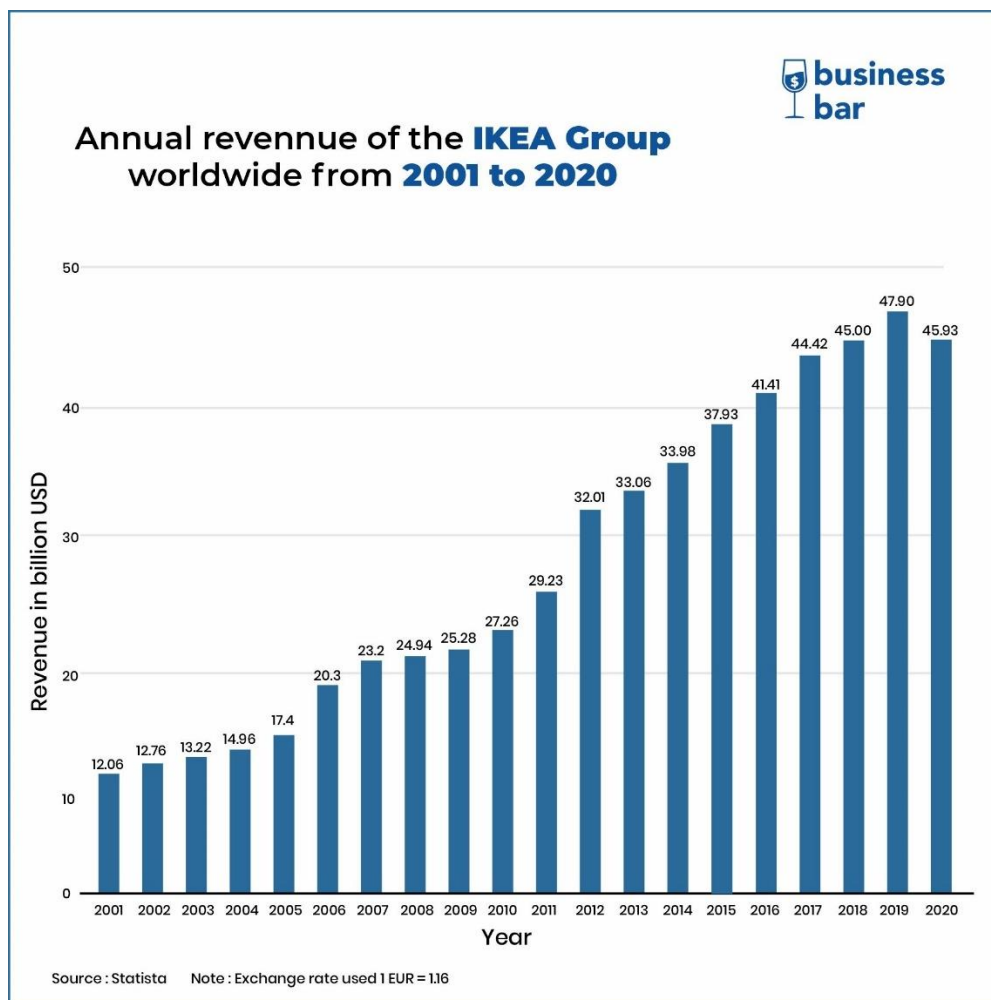


Рисунок 3.3 – Продаж продукції ІКЕА по рокам [5]

ІКЕА характерне щорічне збільшення обсягів проданої продукції. Так, у 2020 році було продано продукції на 39,6 млн. євро, а у 2021 та 2022 році – на 41,9 та 44,6 млн. євро відповідно.

Для моделювання роботи автоматизованого СЗП вхідними параметрами будуть:

- середньоквадратичне відхилення попиту;
- середній попит на одиницю часу;
- час виконання замовлення для СЗП;
- обсяги замовлень для СЗП та роздрібних магазинів;
- час транспортування замовлення із СЗП до роздрібних магазинів;
- відношення вартості зберігання на СЗП та роздрібному магазині.

Необхідна статистична інформація була отримана із [5] у вигляді, який наведений на рис. 3.4.

Storenumbe r	Min order quantity	Number of Q ordered each time	Lead time L	Holding cost h	Shortage cost b	Mean demand during a week My	Standard deviation during a week Sigma	Inter- arrival mean lambda	Variance / mean	Alpha	Target fill- rate
DC	15	7	11	1	19	120,1	9,5	0,2	6,3	0,8	95%
STO1	15	1	0,43	1	19	14,2	2,3	0,8	2,7	0,6	95%
STO2	15	1	0,29	1	19	2,0	7,0	0,1	2,7	0,6	95%
STO3	15	1	0,29	1	19	18,2	6,0	0,2	3,2	0,7	95%
STO4	15	1	0,29	1	19	11,2	4,1	0,2	2,4	0,6	95%
STO5	15	1	0,29	1	19	7,3	9,3	0,4	8,7	0,9	95%
STO6	15	1	0,29	1	19	9,9	2,9	0,3	1,8	0,5	95%
STO7	15	1	0,29	1	19	4,7	3,6	0,2	1,8	0,4	95%
STO8	15	1	0,29	1	19	6,9	1,7	0,5	1,3	0,2	95%
STO9	15	1	0,29	1	19	2,3	6,9	0,2	4,0	0,7	95%
STO10	15	1	0,29	1	19	12,0	4,5	0,3	3,3	0,7	95%
STO11	15	1	0,29	1	19	6,2	4,3	0,2	2,5	0,6	95%
STO12	15	1	0,29	1	19	7,4	1,5	0,4	1,0	0,0	95%
STO13	15	1	0,29	1	19	2,3	2,4	0,4	1,8	0,4	95%
STO14	15	1	0,29	1	19	3,2	2,5	0,4	1,7	0,4	95%
STO15	15	1	0,29	1	19	3,5	3,4	0,3	2,1	0,5	95%
STO16	15	1	0,29	1	19	5,5	2,8	0,5	2,2	0,6	95%
STO17	15	1	0,29	1	19	3,4					

Рисунок 3.4 – Вхідна статистична інформація для моделювання запитів на продукції із СЗП ІКЕА [5]

3.2 Обробка отриманих даних

Для обробки вхідних статистичних даних необхідно для початку провести їх сортування за артикулом продукції та за роздрібним магазином. Із статистики були виключенні дані по продукції, яка у всіх 17 роздрібних магазинах склала менше 50% протягом 52 тижнів.

Середній тижневий попит на кожен вид продукції та для кожного окремого роздрібного магазину ІКЕА розраховувався шляхом отримання середнього значення щотижневих продажів за статистичними даними протягом 52 тижнів. Стандартне відхилення оцінювалось на основі статистичних даних із використанням вибірки:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}. \quad (3.1)$$

В аналітичні моделі використовується нормальне наближення, яке припускає наявність кореляції у попиту на продукцію i , відповідно, їх запит із СЗП.

Для більшості продукції попит на неї відрізняється від попиту на інші види продукції. Кількість замовлень, виконаних клієнтами у роздрібних магазинах, на які потім відбувався запит на доставку із СЗП наведена у таблиці 3.1. Як видно з табл. 3.1, існує три приклади. Кожен із прикладів представляє собою різні замовлення від одного роздрібного магазину на СЗП у кількості 5 штук, два нижніх рядки у таблиці при цьому відповідають кількості замовлених партій та їх розміру.

У одному із випадків, обсяги замовлень від усіх роздрібних магазинів ІКЕА кратні одному спільному числу. У всіх цих замовленнях для одного магазину кількість партій завжди однакова і рівна q_i . В такому випадку необхідно встановлювати розмір партії, який буде кратний Q , а кількість партій кратний q_i . Такий приклад характерний для продукції 3 у табл. 3.1.

В другому випадку кожен роздрібний магазин замовляє різні кількості у різні моменти часу замовлення. Тоді на модель подається найменша із кількостей замовлень. Це характерно для продукції 2 у табл. 3.1.

В останньому випадку існують товари, де кількість замовлень від клієнтів може не бути кратною жодному числу. В такому випадку вхідними даними буде найменша замовлена кількість продукції, кратність повинна становити 1 (продукція 1 у табл. 3.1). Більш деталізована інформація по замовленням та числам, які подаються у модель, наведена на рис. 3.5.

Таблиця 3.1 – Визначення кількості замовлень

Роздрібний магазин X	Продукція 1	Продукція 2	Продукція 3
1	2	4	24
2	2	8	24
3	7	12	24
4	2	8	24
5	6	12	24
Кількість партій, q_i	2	1	1
Розмір партії, Q	1	4	24

При розрахунку ймовірності надходження повторного замовлення на СЗП значення вартості дефіциту та вартості зберігання не є обов'язковими для застосування.

Аналітична модель, яка застосовується, базується на припущенні, що попит клієнтів протягом визначеного періоду виконання замовлення підпорядковується законами нормального розподілу невизначених величин. У випадку, якщо ця умова порушується, більша точність розрахунку ймовірності замовлення продукції із СЗП характерна для імітаційної моделі.

На рис. 3.6 наведено приклад застосування аналітичної моделі для розрахунку ймовірності замовлення продукції із складу на роздрібний магазин.

PROBLEM DATA AND RESULTS

		D_warehouse_new										
Problem Data:	Initialize	Run	pdfmax	k	pdfN(k)	F(k)	CW_demand choices					
			88	48	8,4E-05	0,999975	D_warehouse	=	0	D_warehouse_new	=	1
No. of Retailers (N)=	17				tolerans:	0,000100	D_warehouse_N_approx	=	2	D_warehouse_Gamma	=	3
CW_demand =	1 (see possible choices to the right)											
Choice =	3											
DMEIC II_complex = 1	(Normal demand, Q0>=max(Qi), R0>=-Q, komplex ledtidsapprox)											
DMEIC II_simple = 2	(Normal demand, Q0>=max(Qi), R0>=-Q, enkel ledtidsapprox)											
Berling_Marklund_E = 3	(Normal demand, pi>=1, using beta_BM,E as induced backorder cost)											
Berling_Marklund_T = 4	(Normal demand, pi>=1, using beta_BM,T as induced backorder cost)											
											Demand/time unit	
	Min Batch quantity	Order Quantity (in batches of Q)	Trp time	Holding cost	Shortage cost	Mean	Std. Dev	Target Fillrate				
	Q	Q0, qi	L	h	p	my	sigma		R0, Ri			
Warehouse	320	3	9,85714	1					33			
Retailer No.											Warehouse	
1	320	1	0,42857	1	99	21,2692	23,63	99%	42,61711121			1
2	320	1	0,28571	1	99	26,0192	54,69	99%	88,25335693			2
3	320	1	0,28571	1	99	101,038	98,57	99%	238,2688599			3
4	320	1	0,28571	1	99	35,8462	25,40	99%	53,80746841			4
5	320	1	0,28571	1	99	30,4231	22,93	99%	45,3547821			5
6	320	1	0,28571	1	99	214,788	126,65	99%	402,1128845			6
7	320	1	0,28571	1	99	11,5577	14,77	99%	17,44274521			7
8	320	1	0,28571	1	99	48,4231	35,30	99%	79,78327942			8
9	320	1	0,28571	1	99	43,6538	32,02	99%	70,44265747			9
10	320	1	0,28571	1	99	217,885	86,90	99%	329,9479675			10
11	320	1	0,28571	1	99	19	24,96	99%	36,91851044			11
12	320	1	0,28571	1	99	122,865	72,80	99%	212,7602539			12
13	320	1	0,28571	1	99	69,2115	47,22	99%	118,0599289			13
14	320	1	0,28571	1	99	87,1731	44,08	99%	130,5430298			14
15	320	1	0,28571	1	99	48,25	21,16	99%	60,39800644			15
16	320	1	0,28571	1	99	79,8269	29,00	99%	101,2597733			16
17	320	1	0,28571	1	99	29,9808	18,32	99%	39,27886581			17

Рисунок 3.5 – Аналітична модель врахування запитів на продукцію із СЗП

XXXXXX	Mean inventory	Serv2	ServIK EA	Weighted Serv2	Weighted ServIKEA	Mean cost	Mean inventory	Serv2	ServIKE A	Weighted Serv2	Weighted ServIKEA	Mean cost
Storennumber	units	%	%	%	%		units	%	%	%	%	
DC	13,79	35,9%	8,1%			13,79	56,60	67,7%	55,6%			56,6
STO1	0,30	96,2%	6,5%	11,4%	0,8%	10,61	18,57	97,6%	95,5%	11,6%	11,3%	24,9
STO2	7,10	76,6%	81,5%	1,3%	1,4%	16,16	8,62	91,1%	95,7%	1,5%	1,6%	12,1
STO3	2,43	30,2%	32,6%	4,6%	4,9%	244,38	15,19	95,0%	96,6%	14,4%	14,7%	32,3
STO4	3,33	39,4%	42,9%	3,7%	4,0%	131,92	12,86	94,1%	94,6%	8,8%	8,8%	25,4
STO5	4,23	49,0%	52,1%	3,0%	3,2%	74,84	10,97	96,3%	97,4%	5,8%	5,9%	16,1
STO6	5,05	43,8%	53,1%	3,6%	4,4%	111,30	16,29	89,5%	95,7%	7,4%	7,9%	36,1
STO7	5,38	62,2%	63,1%	2,4%	2,5%	38,93	9,11	94,1%	95,4%	3,7%	3,7%	14,4
STO8	5,18	56,0%	59,5%	3,2%	3,4%	63,16	10,01	95,5%	95,9%	5,5%	5,5%	16,0
STO9	7,23	82,5%	83,5%	1,5%	1,6%	14,73	8,42	95,6%	97,2%	1,8%	1,8%	10,3
STO10	4,34	44,2%	47,6%	4,4%	4,7%	131,11	13,74	93,5%	95,3%	9,3%	9,5%	28,5
STO11	5,23	57,2%	61,0%	2,9%	3,1%	55,45	10,75	93,6%	97,2%	4,8%	5,0%	18,3
STO12	4,19	47,7%	50,5%	3,0%	3,1%	78,11	10,89	96,0%	96,9%	5,9%	6,0%	16,5
STO13	6,49	76,9%	77,2%	1,5%	1,5%	16,63	8,03	97,2%	97,6%	1,9%	1,9%	9,3
STO14	5,68	67,8%	68,0%	1,8%	1,8%	25,00	8,80	95,1%	97,0%	2,5%	2,5%	11,7
STO15	5,99	69,9%	71,1%	2,0%	2,0%	25,81	8,67	95,5%	96,2%	2,8%	2,8%	11,6
STO16	4,58	55,5%	58,5%	2,5%	2,7%	50,95	9,87	95,2%	97,2%	4,3%	4,4%	14,9
STO17	5,76	63,6%	66,9%	1,8%	1,9%	29,27	8,73	94,6%	97,5%	2,7%	2,8%	12,3

Рисунок 3.6 – Приклад результатів врахування ймовірності запиту на продукцію із СЗП

Існує ще два додаткових параметри, які варто брати до уваги в імітаційній моделі: Вибір та Попит. Попит (CW_demand) буде задавати статистичний

розподіл попиту на продукцію на автоматизованому СЗП. Для його обрахунку існує декілька варіантів. Результати застосування аналітичної моделі із трьома наведеними підходами показана на рис. 3.7. Роздрібні магазини позначення STO.

	Попит				Попит		
	Точний	Нормал.	Гамма		Точний	Нормал.	Гамма
DC	32,0000	0,0000	0,0000	DC	6,0000	0,0000	0,0000
STO1	6,6110	-0,0008	-0,0097	STO1	10,0712	0,0226	-0,1195
STO2	8,6349	-0,0010	-0,0166	STO2	4,0594	0,0121	-0,0649
STO3	10,4774	-0,0014	-0,0213	STO3	4,1054	0,0123	-0,0650
STO4	5,2265	-0,0006	-0,0104	STO4	7,3219	0,0193	-0,1018
STO5	5,1549	-0,0006	-0,0110	STO5	1,6204	0,0068	-0,0353
STO6	9,6456	-0,0015	-0,0203	STO6	3,4617	0,0108	-0,0572
STO7	3,7116	-0,0006	-0,0075	STO7	1,8300	0,0071	-0,0379
STO8	6,2459	-0,0009	-0,0128	STO8	3,0343	0,0100	-0,0524
STO9	9,8057	-0,0014	-0,0186	STO9	1,6770	0,0070	-0,0360
STO10	8,2612	-0,0010	-0,0167	STO10	0,8444	0,0050	-0,0256
STO11	6,9545	-0,0009	-0,0146	STO11	3,1280	0,0102	-0,0535
STO12	8,5078	-0,0011	-0,0175	STO12	4,9641	0,0142	-0,0748
STO13	6,6488	-0,0009	-0,0141	STO13	4,7603	0,0136	-0,0724
STO14	3,8420	-0,0005	-0,0078	STO14	2,3023	0,0081	-0,0435
STO15	4,0874	-0,0005	-0,0086	STO15	2,1992	0,0080	-0,0423
STO16	5,2134	-0,0006	-0,0107	STO16	1,7615	0,0071	-0,0369
STO17	6,0397	-0,0009	-0,0121	STO17	1,2827	0,0060	-0,0311

Рисунок 3.7 – Результати застосування аналітичної моделі із трьома розподілами

У першому варіанті обчислюється точне значення попиту на продукцію із СЗП із врахуванням припущення про попит клієнтів, який підпорядковується нормальному розподілу.

В другому варіанті використовується апроксимація значення попиту на продукцію із автоматизованого СЗП за допомогою гамма-розподілу. Основний недолік такого підходу полягає в тому, що середній попит може мати значно більше значення за середньоквадратичне відхилення, і, в такому випадку, модель прийнято не застосовувати.

У третьому варіанті робиться припущення, що попит на продукцію із складу підпорядковується нормальному розподілу. Єдиний недолік у такому підході полягає у можливості виникнення від’ємних чисел, які відповідають

поверненому товару. Цього недоліку можна уникнути шляхом сповіщення про те, що у системі виникла велика ймовірність на від'ємний попит.

3.3 Припущення, прийняті при моделюванні автоматизованого складу зберігання продукції

При побудові моделі СЗП, яка б імітувала реально функціонуючий склад зберігання продукції, було прийнято ряд припущень:

- якщо немає можливості негайно задовольнити замовлення клієнта в роздрібному магазині по причині відсутності продукції на СЗП, така продукція фіксується як втрачений продаж не зважаючи на те, що в реальності покупець може зачекати на продукцію під замовлення;

- вважається, що попит клієнтів на продукцію підпорядковується складному розподілу Пуассона;

- інвентаризація продукції на СЗП здійснюється безперервно;

- транспортування замовлення із СЗП до роздрібних магазинів ІКЕА має різний час;

- у постачальника продукції, який забезпечує заповнення СЗП, не можуть закінчитись запаси продукції; при такому припущенні час доставки продукції на СЗП буде однаковим;

- СЗП ніколи не виконує часткове замовлення продукції;

- при розміщенні замовлення від роздрібного магазину до СЗП і у випадку неможливості його негайного виконання, таке замовлення зберігається на СЗП і виконується в той момент, коли продукція стає доступною на складі.

Вхідними параметрами в такому випадку будуть:

- час транспортування продукції між постачальником продукції та СЗП;

- час транспортування продукції між СЗП та роздрібним магазином;

- початковий запас продукції;

- час між прибуттями різних клієнтів;

- обсяги замовлень.

Для моделювання процесу роботи та методом керування автоматизованим складом зберігання продукції було обрано імітаційне моделювання. «Імітаційне моделювання - це метод дослідження, при якому досліджувана система замінюється моделлю, що з достатньою точністю описує реальну систему, з нею проводяться експерименти з метою одержання інформації про цю систему» [31].

Під імітаційною системою розуміється апаратно-програмний або програмний комплекс, призначення якого полягає у вирішенні задач шляхом використання методу імітаційного моделювання. Слід враховувати, що імітаційні системи виступають інструментальними засобами, які забезпечують повністю автоматизовану підтримку різноманітних видів діяльності користувача.

Створення моделі шляхом імітаційного моделювання може підтримуватись наступними засобами автоматизації:

- конверторами моделей, завдяки яким можна здійснювати перетворення одних моделей в інші;
- частково готовими моделями;
- засобами контролю погодженості моделей різних видів із їх концептуальним поданням;
- спеціальною мовою, завдяки якій можна виконати математичний або інформаційний опис моделі системи.

У випадку моделювання за імітаційним підходом, перевірка технічної реалізованості та адекватності моделі може проводитись із використанням наступних засобів:

- програм обчислення показників методу вирішення поставлених задач;
- програм обчислення показників адекватності моделі;
- програм обчислення складності моделі;
- автоматизованої технології виконання експерименту із використанням імітаційної моделі.

В імітаційні моделі автоматизованого СЗП враховане припущення, що кожен клієнт може виконати замовлення на будь-яку кількість продукції.

3.4 Висновки до третього розділу

У розділі проведено аналітичне дослідження процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції. В результаті дослідження встановлено, яким законам підпорядковується попит на продукцію зі складу, що є основним вхідним параметром у роботі автоматизованого складу зберігання продукції при виконанні замовлення продукції клієнтами.

4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ

4.1 Побудова моделі в програмному середовищі Extend Simulation

Для імітаційного моделювання існує ряд програмних пакетів, наприклад:

1. Vensim;
2. AnyLogic;
3. Ithink;
4. Process Carter;
5. Arena;
6. GPSS World;
7. Powersim;
8. Extend Simulation.

Для моделювання автоматизованого СЗП було обрано Extend Simulation [4]. Для створення моделі в Extend Simulation з бібліотеки обираються блоки, які в подальшому розташовуються у відповідні місця. Після цього між блоками будується зв'язок для позначення руху об'єктів в межах системи. Ці блоки можна деталізувати. В пакеті Extend Simulation можна проводити моделювання систем різноманітних конфігурацій.

При створенні моделі в Extend Simulation основна конструкція повинна бути схожою на реальний потік продукції всередині СЗП та від СЗП до роздрібних магазинів. Моделювання виконувалось для одного виду продукції за один раз. На рис. 4.1 наведена основна схема, побудована в Extend Simulation.

Попит на закупівлю продукції генерують жовті блоки відповідно до одного із введених в Extend Simulation розподілів (див. розділ 2). Цей розподіл визначається всередині кожного блоку в якості характеристик. Однією із таких характеристик може бути властивість кожного покупця придбати більше однієї одиниці продукції більше одного виду продукції.

Роздрібні магазини, на які відбуваються поставки продукції із СЗП, представлені синіми блоками. В цих блоках відбувається перетворення клієнта

на розмір його попиту на продукцію. Наприклад, один покупець прийшов до роздрібного магазину ІКЕА за трьома одиницями продукції. В синьому блоці відбувається перетворення такого одного покупці на три одиниці попиту.

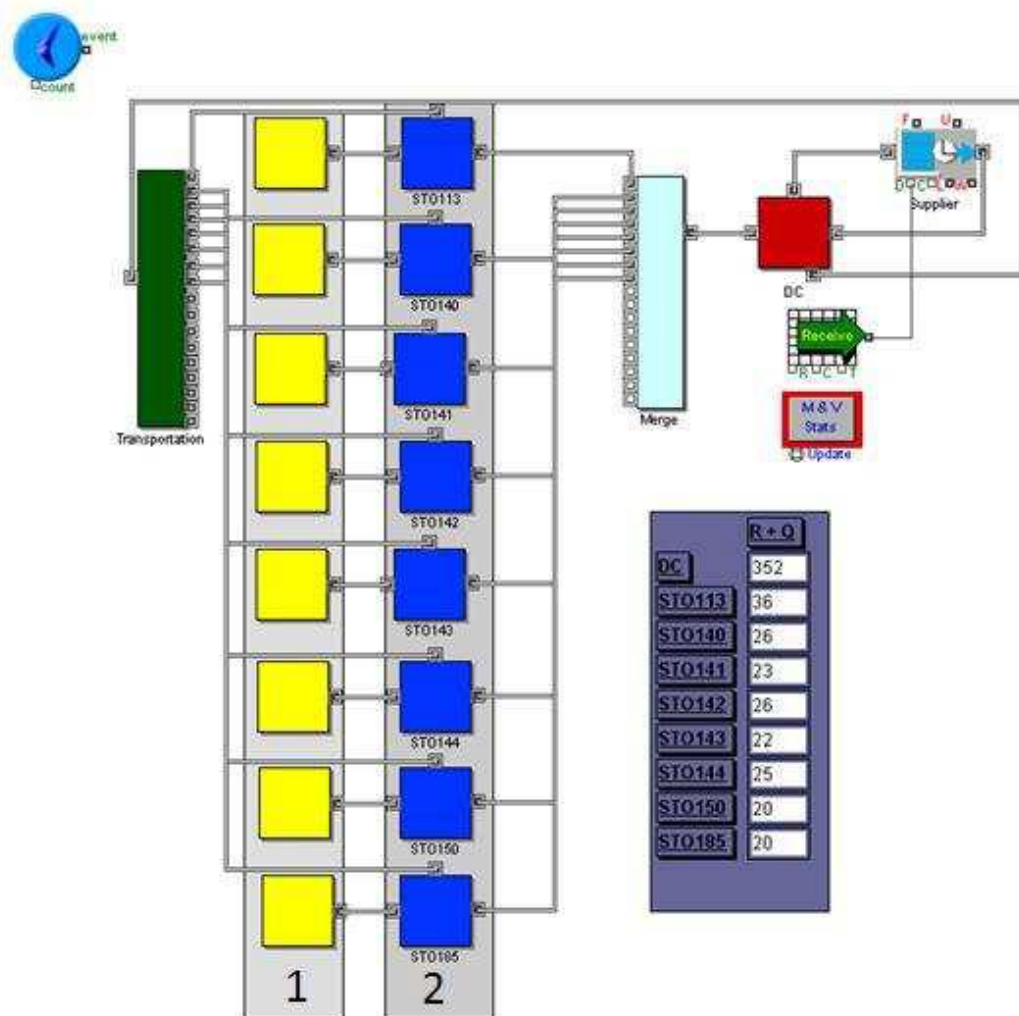


Рисунок 4.1 – Основна схема СЗП, побудована в Extend Simulation

Автоматизований склад зберігання продукції на рис. 4.1 представлений червоним блоком, який позначений DC. У цей блок надходять замовлення від роздрібних магазинів, яке в червоному блоці виконується із затримкою у часі. Така затримка імітує час, який в реальності витрачається на виконання замовлення.

Коли рівень запасів продукції на СЗП падає нижче встановленого значення, у червоному блоці формується замовлення на доставку продукції від

постачальника. Постачальник на рис. 4.1. представлений звичайним блоком затримки. Ця затримка враховує час, необхідний на доставку продукції від постачальника до СЗП.

Зелений блок представляє собою транспортування продукції та використовується для визначення місця відправки продукції із СЗП. Після визначення місця відправки, в цьому блоці відбувається команда на доставку продукції до необхідного роздрібного магазину. Бірюзовий блок відповідає за об'єднання і в ньому відбувається перетворення роздрібних магазинів в один потік, який, в свою чергу, потрапляє в блок СЗП.

На рис. 4.2 наведено імітаційну модель функціонування роздрібного магазину, з якого відбувається відправка запиту на доставку продукцію із СЗП.

Як видно з рис. 4.2, вхідними даними для моделі є вхідний попит. Після цього опрацьовується отримана кількість продукції та перевіряється її наявність у роздрібному магазині. У випадку відсутності продукції у роздрібному магазині (РМ), на СЗП відправляється сигнал, який представляє собою запит на доставку необхідної продукції.

В нижній частині моделі передбачено можливість зміни характеристик продукції. Наприклад, клієнт бажає придбати рушник для ванної кімнати певної моделі, але в іншому кольорі. За це відповідає елемент Change, з якого відправляється запит та перевірка наявності необхідного кольору в РМ. У випадку відсутності формується замовлення на доставку продукції із СЗП.

Наступний елемент імітаційної моделі, представлений на рис. 4.3 – це власне автоматизований склад зберігання продукції. Вхідними даними для роботи СЗП є власне замовлення на продукцію із РМ. Елементи Count відповідають за відслідковування кількості продукції, яка наявна на СЗП. У випадку падіння лічильника нижче встановленого значення, відбувається передача інформації про необхідність формування замовлення на конкретний вид продукції від постачальника.

У правій частині імітаційної моделі представлено отримання продукції на СЗП від постачальника.

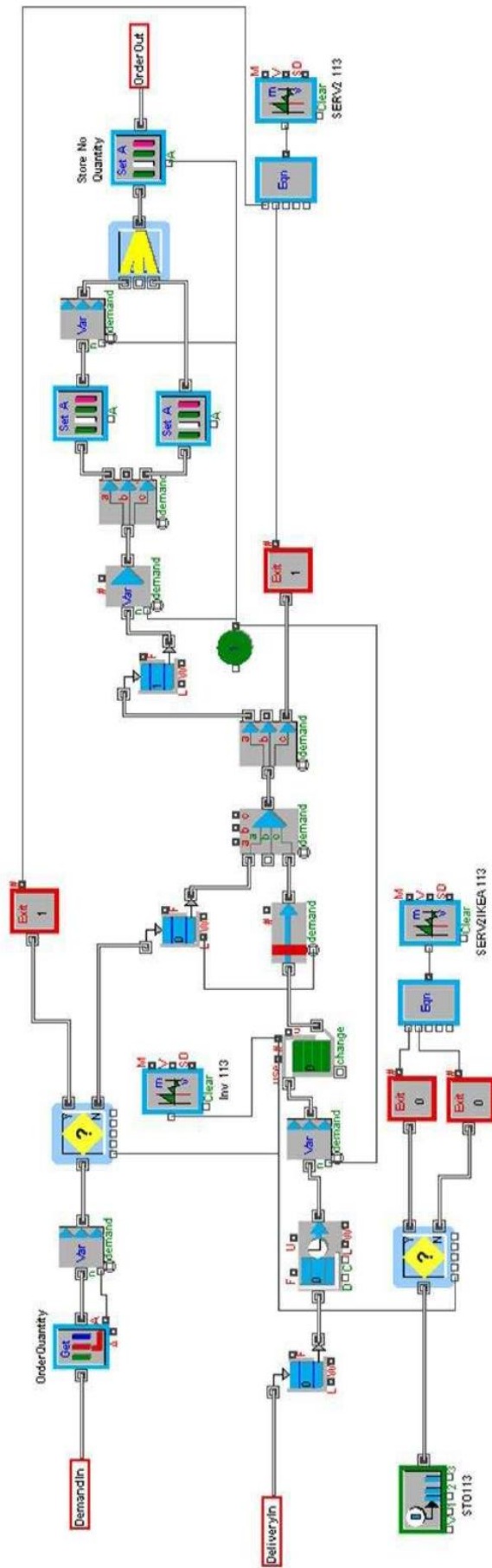


Рисунок 4.2 – Імітаційна модель відправки запиту на продукцію із роздрібно
магазину до СЗП

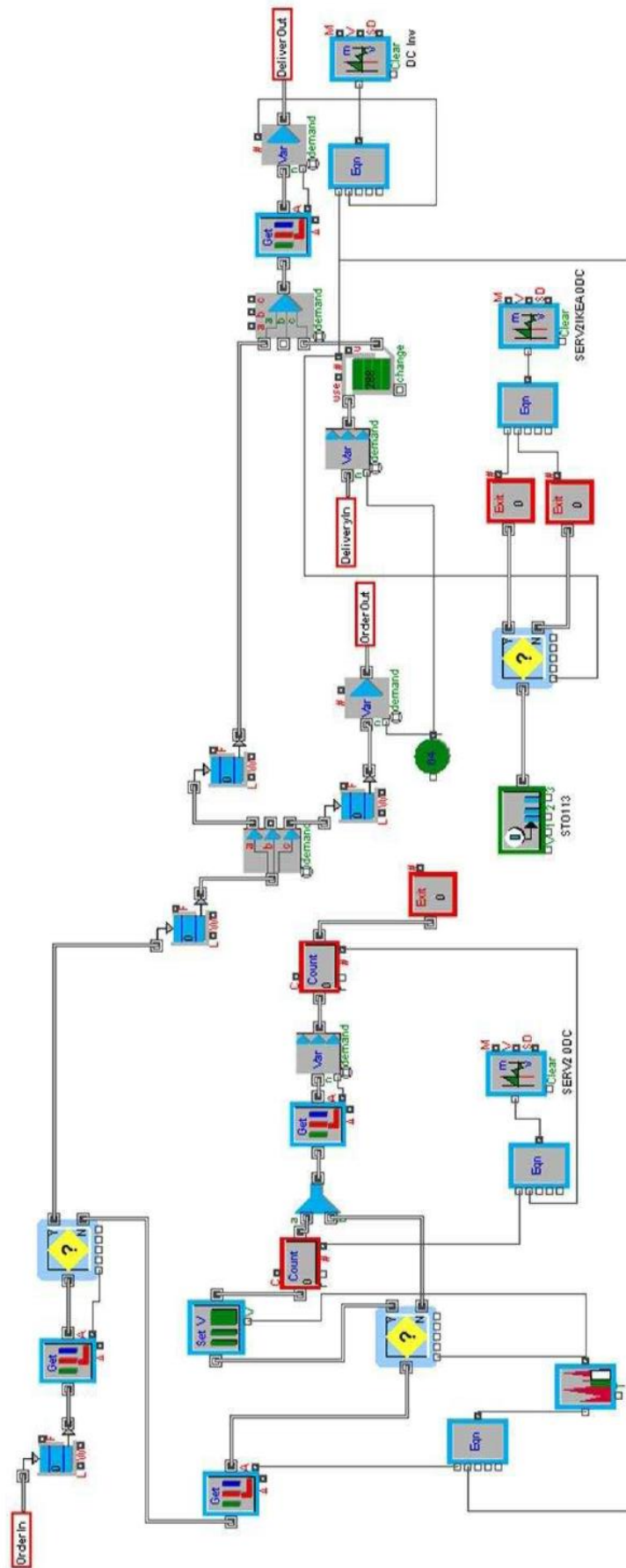


Рисунок 4.3 – Імітаційна модель роботи автоматизованого складу зберігання продукції

Моделювання автоматизованим СЗП проводилось для декількох видів продукції із різними значеннями попиту. Кожна продукція при цьому моделювалась двічі, в одній з яких враховувались точки повторного замовлення, а в іншій використовувався скоординований підхід. В загальному в Extend Simulation було проведено моделювання для продукції у кількості 95 артикулів.

Деталізація блоків імітаційної моделі генерування та злиття наведені на рис. 4.4.

У випадку розподілу продукції із СЗП до РМ модель виглядає таким чином, яке це показано на рис. 4.5. В цьому випадку в моделі відбувається прийняття рішення на відправлення продукції певної категорії на один із РМ. Така модель використовується у тому випадку, якщо відсутній запит на отримання продукції від РМ до СЗП, але за розрахунками (див. розділ 2) вже настав час на розподіл продукції, яка поступила на СЗП від постачальника та в найближчий час на РМ може утворитись дефіцит певного товару.

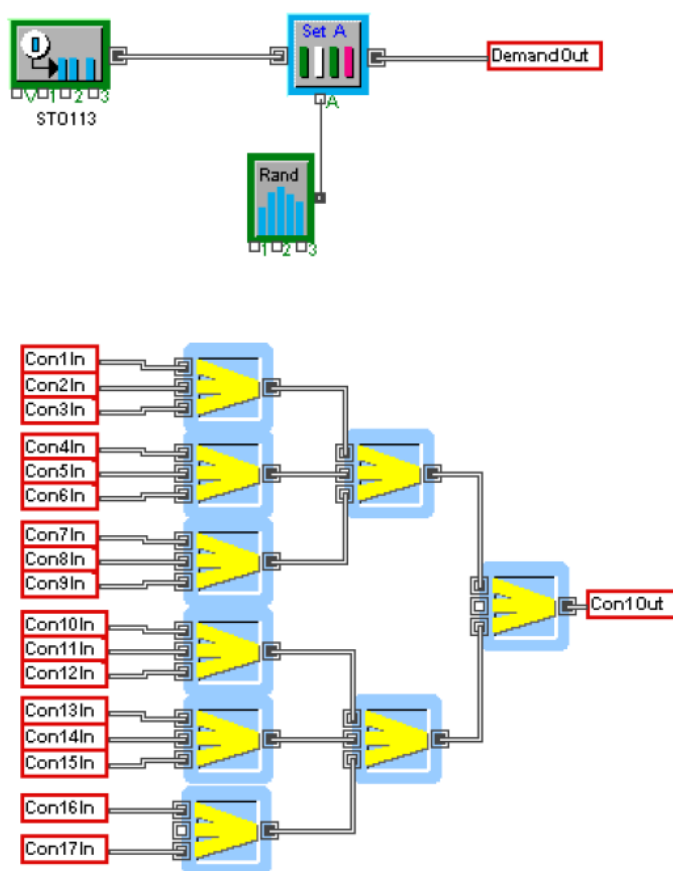


Рисунок 4.4 – Блоки генерування та злиття в Extend Simulation

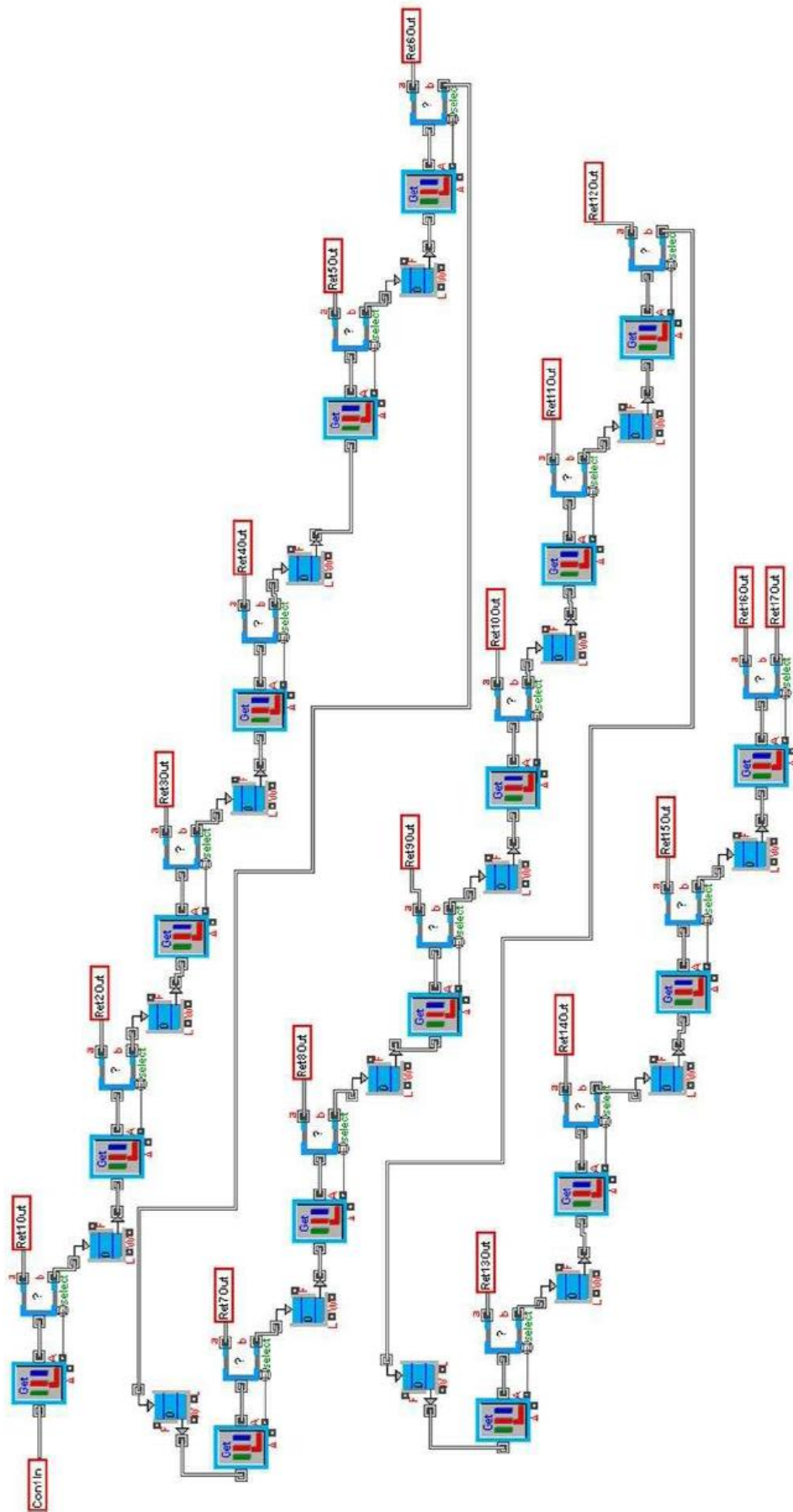


Рисунок 4.4 – Модель прийняття рішення про відправку продукції із автоматизованого складу зберігання продукції до роздрібного магазину

4.2 Перевірка адекватності розробленої моделі

Для перевірки правильності побудованої в Extend Simulation імітаційної моделі функціонування СЗП та роздрібних магазинів використовувалась перевірка адекватності моделі. Методи проведення оцінки на адекватність засновуються на застосування довірчих інтервалів, за допомогою яких стає можливим визначати значення параметру, що оцінюється із заданою довірчою ймовірністю [40].

Адекватність моделі означає збіг властивостей системи, що досліджується та відповідних властивостей моделі. Порушення рівня адекватності моделі можна визначити рядом факторів. На етапі перевірки адекватності моделі встановлюють, якою мірою розроблена імітаційна модель здатна відтворювати реальний стан речей [25].

Для проведення перевірки адекватності розробленої у Extend Simulation моделі, кожна симуляція запускала 30 разів. Період функціонування автоматизованого СЗП та РМ в симуляції становила 100 тижнів для кожного запуску.

Результати кожного із запусків в подальшому використовувались для розрахунку середнього значення по всім запускам. Завдяки такому підходу та вибірці по 30 симуляціям можна зменшити ризик того, що випадкове вхідне помилкове значення буде мати вагомий вплив на моделювання процесу.

При проведенні перевірки адекватності на початку кожної перевірки враховувалось, що рівень заповненості СЗП був повний, тобто на складі був відсутній дефіцит продукції. Після продажу Q одиниць продукції, залишки запасів такої продукції на складі становлять R . У такому випадку формується замовлення на доставку продукції від постачальника до СЗП.

Слід враховувати, що оцінку стабілізації рівня запасів продукції на складі можна проводити лише через кілька тижнів після початку симуляції, оскільки попит протягом перших декількох тижнів на різні продукції буде нерівномірним. Ще однією із причин такої вибірки є те, що партія нової продукції із СЗП на РМ не поставляється у вигляді часткових поставок, а лише цілими партіями.

Для розрахунку коректного рівня запасів продукції на СЗП необхідно враховувати не лише кількість товарів, які очікують відвантаження на РМ, але й кількість товарів у запасі СЗП.

Результати проведеної перевірки адекватності розробленої імітаційної моделі наведені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати перевірки адекватності моделі

Продукція №	Рівень адекватності за критерієм Фішера	Кількість запитів протягом тижня в порівнянні із усередненим значенням	Середнє значення похибки, %
1	95	Середній	2,15
2	95	Середній	2,83
3	90	Низький	3,94
4	99	Високий	2,22
5	99	Високий	2,13
6	95	Середній	1,95
7	99	Високий	1,76
8	90	Низький	6,59
9	90	Низький	1,81
10	99	Високий	1,62

4.3 Моделювання процесу роботи автоматизованого складу зберігання продукції у програмному середовищі Factory I/O

Для моделювання процесу роботи автоматизованого складу зберігання продукції було обрано два програмні середовища - Factory I/O та CoDeSys.

CODESYS – це інструментальний програмний комплекс промислової автоматизації [17].

Factory I/O – це зручний тривимірний симулятор автоматизованого виробництва, призначений для вивчення технологій автоматизації. За допомогою Factory I/O можна побудувати модель автоматизованого виробництва шляхом використання набору поширених промислових деталей [1].

Для виконання моделювання технологічного процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції необхідно у Factory I/O створити новий проект та скористатись вбудованою бібліотекою, з якої використаємо стандартизовані об'єкти. Приклад об'єктів із вбудованої бібліотеки наведено у табл. 4.2.

Такими об'єктами для автоматизованого СЗП будуть (рис. 4.5):

- коробки;
- конвеєрні ленти;
- маніпулятори;
- стелажі;
- пульти керування;
- датчики.

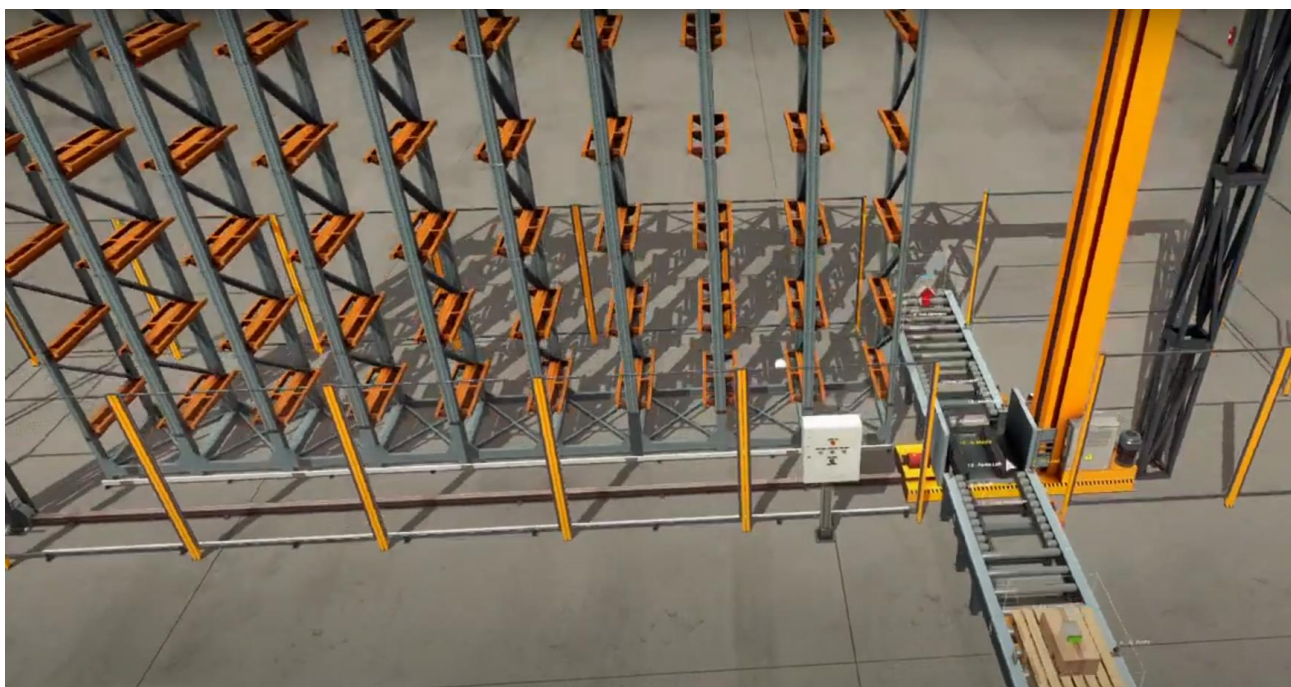








Рисунок 4.5 – Елементи функціонування складу, створені у Factory I/O

Таблиця 4.2 – Об'єкти категорії Items у Factory I/O

Назва об'єкта	Зовнішній вигляд	Опис	Вага об'єкта, кг
Коробка для палетування		Стандартна коробка	3
Піддон		Піддон для укладання продукції на ньому	20
			16
Коробка		Коробки різної ваги та розмірів	8 10 15
Ящик		Ящик для складання в ньому дрібної продукції	15
Сировина		Сировина для виготовлення кришок	8 8

За допомогою програмного середовища Factory I/O ми зможемо наочно побачити перебіг технологічного процесу, відслідкувати помилки, які можуть виникати в процесі моделювання роботи автоматизованого СЗП та не повторювати їх при фізичному виготовленні обладнання та його розташування в об'ємі СЗП.

На початку роботи у вікно внесення даних (рис. 4.6) необхідно ввести змінні, які будуть використовуватись в проєкті.

На початку відбувається ввімкнення обладнання на пульті керування. У Factory I/O створення такого пульту керування відбувається за допомогою

елементів у категорії Operators. Приклад, створений для автоматизованого СЗП, наведений на рис. 4.7. У табл. 4.3 наведено елементи, які були розміщені на пульті керування.

Таблиця 4.3 – Об’єкти категорії Operators у Factory I/O

Назва об’єкта	Зовнішній вигляд	Опис	Характеристика роботи об’єкта
Кнопка аварійної зупинки		Червона тригерна кнопка із двома позиціями. Призначена для надзвичайних (аварійних) ситуацій	Замкненого типу
Перемикач		Неосвітлювальний перемикач для зміни завдання	За замовченням значення 0
Кнопки		Кнопка із підсвіткою (зелений, жовтий і червоний колір)	Замкненого типу

AUTOpackaging Properties							
General							
Name	AUTOpackaging	Number	2	Type	FC	Language	LAD
Numbering	Automatic						
Information							
Title		Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					
AUTOpackaging							
Name	Data type	Default value	Comment				
Input							
Output							
InOut							
Temp							
Constant							
Return							
AUTOpackaging	Void						

Рисунок 4.6 – Вікно внесення даних



Рисунок 4.7 – Пульти керування, створений у Factory I/O

На рис. 4.8-4.9 наведена релейно-контактна схема вмикання та вимкнення обладнання, яка містить кнопки початку роботи СЗП, зупинку та аварійну зупинку. Далі відбувається переміщення коробки по конвеєру до положення, яке відповідає розташуванню стелажу із продукцією (рис. 4.10-4.11).

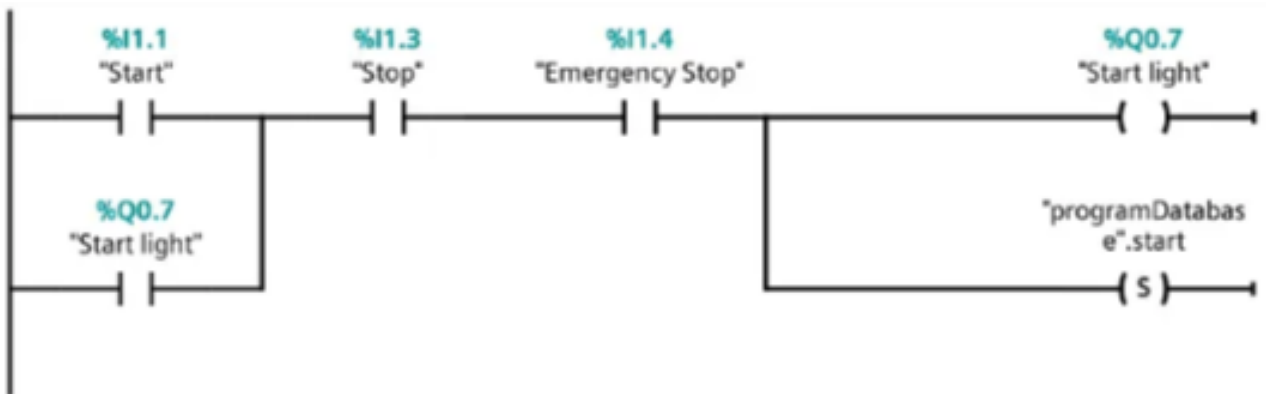


Рисунок 4.8 – Релейно-контактна схема вмикання обладнання

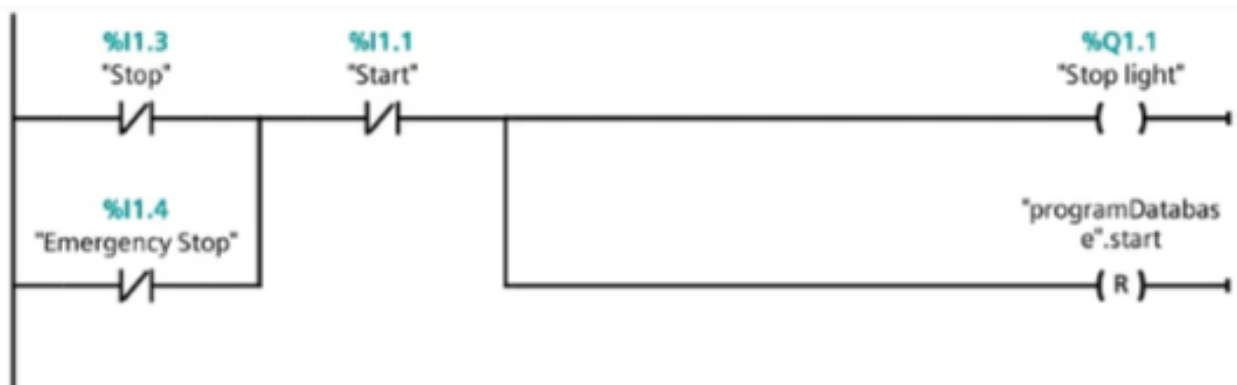


Рисунок 4.9 – Релейно-контактна схема вимкнення обладнання

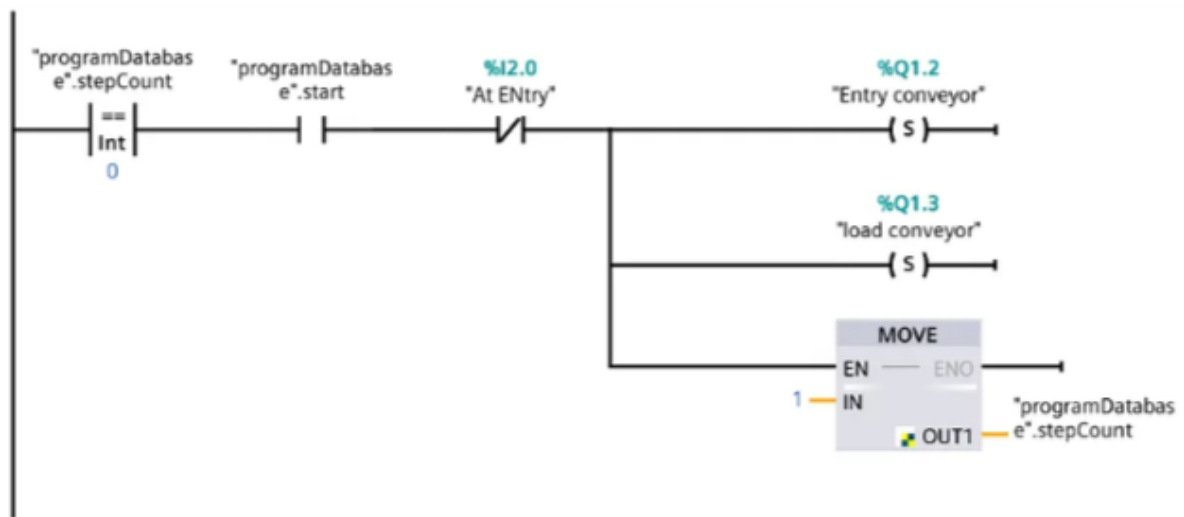


Рисунок 4.10 – Релейно-контактна схема запуску конвеєра із коробкою





Рисунок 4.11 – Кінцеве положення коробки на конвеєрі

Для створення елементів стелажу та підйимального обладнання використовувались елементи категорії Stations, які наведені у табл. 4.4.

На наступному етапі відбувається переміщення коробки у необхідне положення по осі X (рис. 4.12-4.13). Коробку також необхідно підняти на встановлену висоту (рис. 4.14).

Таблиця 4.4 – Об’єкти категорії Stations у Factory I/O

Назва об’єкта	Зовнішній вигляд	Опис	Характеристика роботи об’єкта
Штеблерний кран		Відстань між вилками – 1,2 м Швидкість руху вилки – 0,5 м/с Швидкість платформи – 1,7 м/с Швидкість візка – 1,4 м/с	Для переміщення вантажів. Містить вертикальну платформу, візок та дві вилки
Стійка		Кількість відсіків в одній секції - 18	

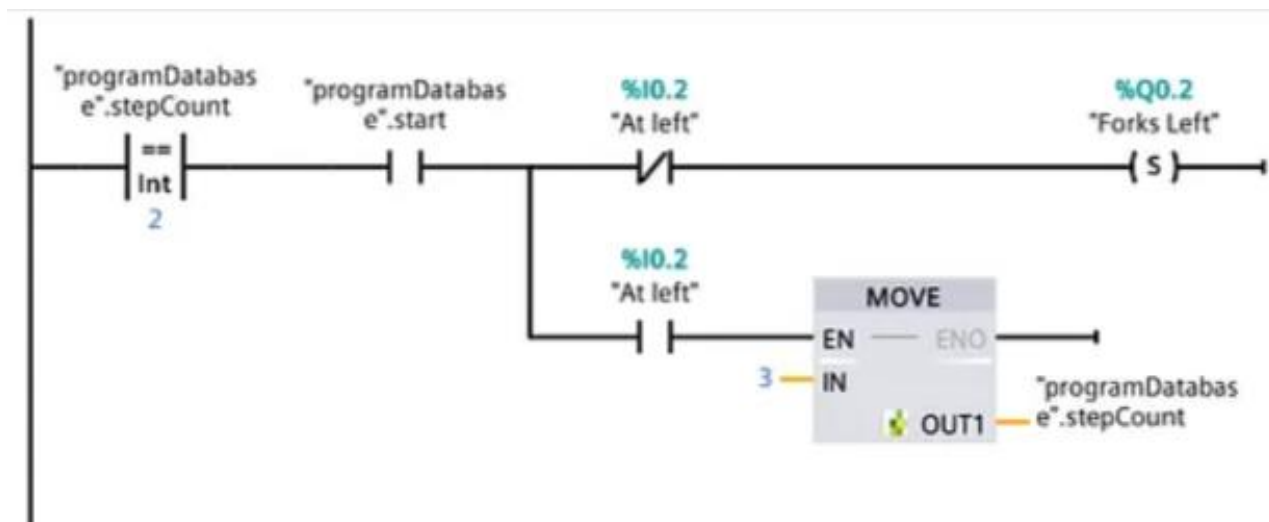


Рисунок 4.12 – Релейно-контактна схема руху конвеєру із коробкою в сторону стелажів

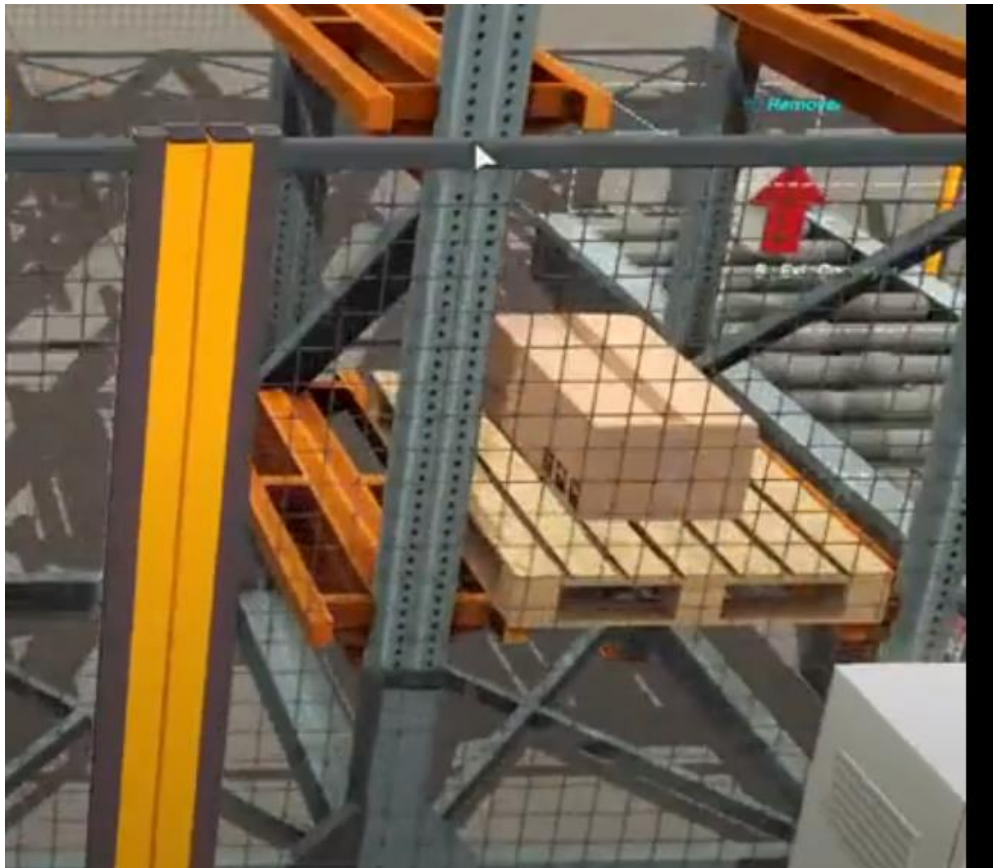


Рисунок 4.13 – Переміщення коробки у стелаж

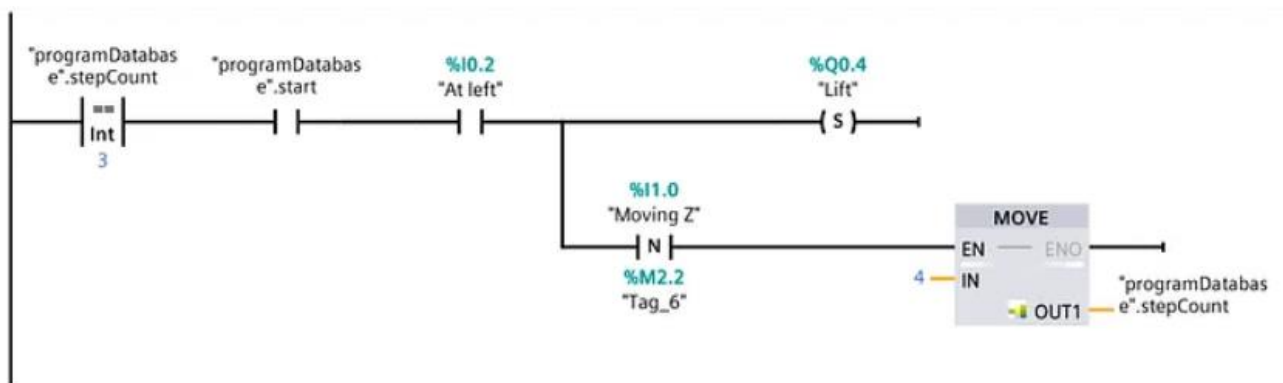


Рисунок 4.14 – Релейно-контактна схема підйому коробки із продукцією

Після розміщення коробки на стелажі необхідно повернути обладнання у початкове положення. Релейно-контактні схеми такого повернення наведені на рис. 4.15. Після розташування коробки необхідно впевнитись у її правильному розміщенні на стелажі. За це відповідає релейно-контактна схема на рис. 4.16.

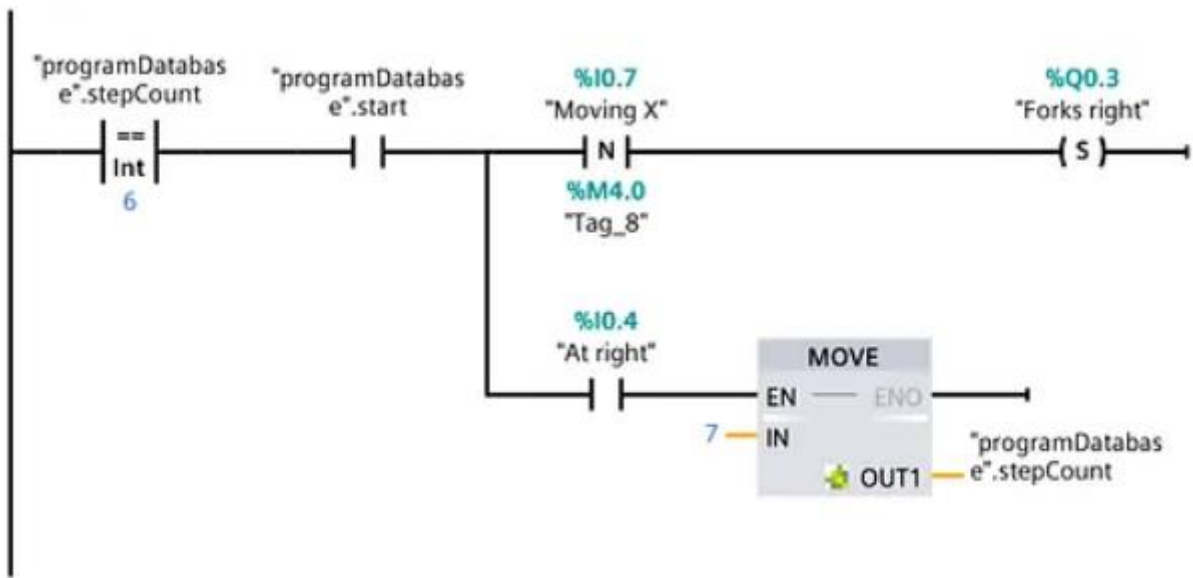


Рисунок 4.15 – Релейно-контактна схема повернення підйомника

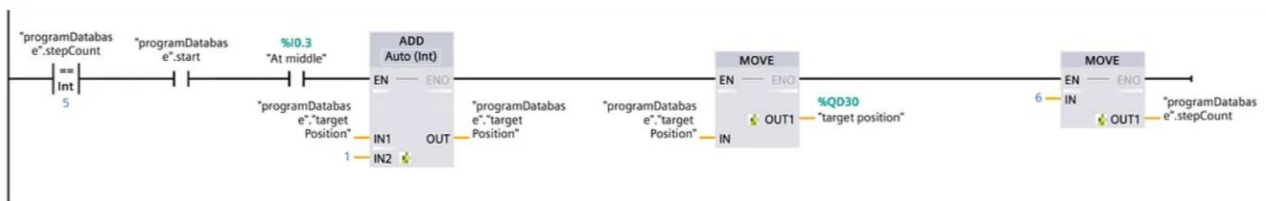


Рисунок 4.16 – Релейно-контактна схема перевірки положення коробки із продукцією

4.4 Обробка результатів та надання рекомендацій до процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції

4.4.1 Рівень обслуговування замовників

В роботі застосовувались два підходи до створення імітаційної моделі та проведення симуляції функціонування автоматизованого СЗП та РМ, на які поставляється продукція із СЗП. Для дослідження цих підходів з точки зору задоволення попиту на продукцію та її поставку із СЗП в симуляції вимірювалось ЦРО2, яке в подальшому порівнювалось із цільовим рівнем обслуговування клієнтів по кожному із видів продукції. Як це вказувалось раніше, імітаційне моделювання роботи автоматизованого СЗП і поставки продукції з нього на РМ проводилось для 95 видів продукції.

При проведенні дослідження вимірювався рівень обслуговування клієнтів по кожній продукції окремо для СЗП та кожного із сімнадцяти РМ. Рівень обслуговування вважається рівним середньому рівню обслуговування РМ, який зважений на частку РМ від загального попиту. Такий підхід пояснюється тим, що РМ із низьким рівнем попиту на продукцію будуть мати менший вплив на функціонування загальної системи.

На рис. 4.17 показано середній рівень обслуговування клієнтів в межах мережі СЗП та РМ, які були отримані в результаті імітаційного моделювання двома різними підходами. Отримані рівні обслуговування були відсортовані по зростанню. З рис. 4.17 видно, наскільки різні підходи забезпечують досягнення цільового рівня обслуговування клієнтів. Також видно, що моделювання за другим підходом показує вищий рівень обслуговування клієнтів.

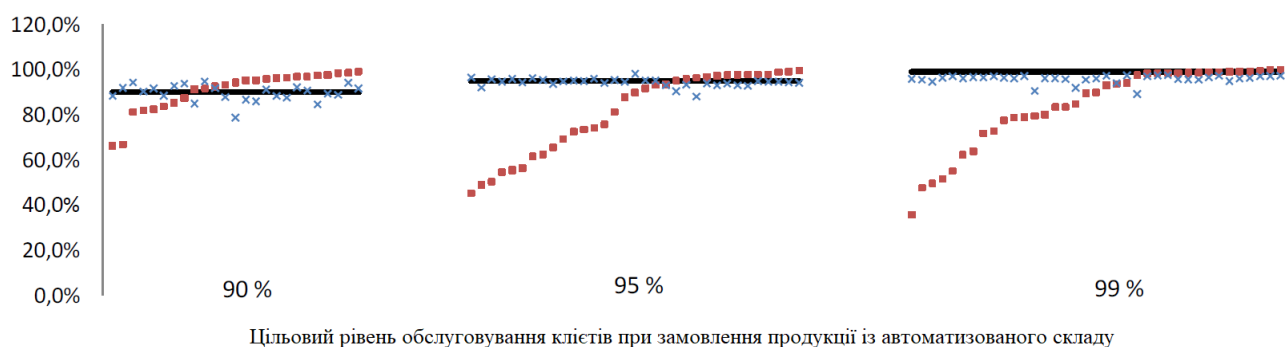


Рисунок 4.17 – Цільовий рівень та його досягнення в імітаційних моделях

При імітаційному моделюванні за першим підходом (ІМ1), реалізація постачання продукції із автоматизованого СЗП та її наближення до цільового рівня обслуговування наведені на рис. 4.18. На рис. 4.18 відхилення від цільового рівня показані у відсотках.

З рис. 4.18 видно, що при ІМ1 для більш ніж половини продукції із асортименту, наявного на СЗП, відхилення від цільового рівня обслуговування становило більше 5%.

На отримані відхилення можуть впливати ряд факторів, пов'язані зі збором статистичних даних, які використовувались в ІМ1. Продукція товарів із різко

зміненою дисперсією мають більший показник відхилення від цільового РО. Для покращення оцінки необхідно застосовувати метод розрахунку точок повторного замовлення (див. розділ 2).

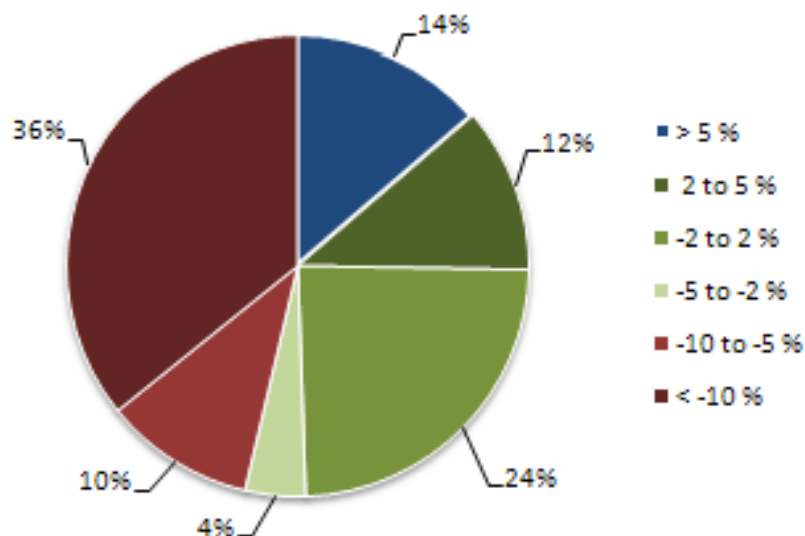


Рисунок 4.18 – Відхилення від цільового рівня обслуговування в ІМ1

Для кожного окремого виду продукції та РМ дисперсія попиту апроксимувалась статистичною дисперсією. За результатами ІМ1 видно, що клієнти ІКЕА не будуть задоволені таким РО. Пояснення цьому може полягати у проведенні інвентаризації продукції на СЗП вручну працівниками складу.

Оскільки дисперсія для продукції має значне відхилення від цільового рівня обслуговування за ІМ1, то підхід ІМ1 не можна застосовувати для всієї продукції на складі. Виходячи з цього, продукція була згрупована в залежності від системного обслуговування і позначена наступним чином:

- рівень обслуговування має відхилення більше ніж 5% в плюс (група А) – містить 44 видів продукції;
- рівень обслуговування має відхилення, яке становить 5% (група Б) – містить 38 видів продукції;
- рівень обслуговування має відхилення більше ніж 5% в мінус (група В) – містить 13 видів продукції.

Аналогічні результати були отримані і для другого підходу в імітаційному моделюванні (ІМ2). Результати показані на рис. 4.19. З них видно, що переважна

більшість видів продукції, наявна на автоматизованому СЗП, наближається до встановленого цільового рівня обслуговування клієнтів.

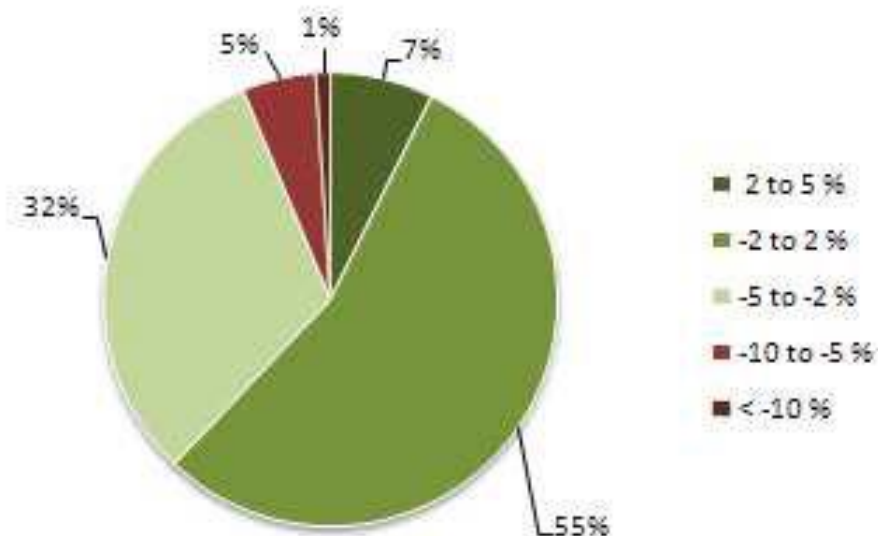


Рисунок 4.19 – Відхилення від цільового рівня обслуговування в ІМ2

Також з рис. 4.19 видно, що більшість видів продукції мають відхилення на рівні близько 2% від поставленого цільового рівня. Тобто ІМ2 з точки зору обслуговування клієнтів є більш раціональним підходом.

Для кращого розуміння кореляції між різними цільовими рівнями обслуговування (в моделі розглядаються 90, 95 та 99%), кожен цільовий рівень був проаналізований окремо. Результати такого аналізу показані на рис. 4.20.

Для цільового рівня, який становить 95% і 99%, найбільш оптимальним є скоординований підхід. У випадку цільового РО 90% йому характерне найбільше від'ємне відхилення.

По діаграмі для ЦРО 99% видно, що значна кількість видів продукції не досягла цільового показника, але при цьому зупинилась в діапазоні відхилень - 2...-5%, що відповідає дефіциту товару на автоматизованому СЗП.

Зв'язок між рівнем запасів продукції на складі та РО не лінійний, тому для досягнення цільового рівня обслуговування у 100% необхідно значно збільшувати кількість запасів продукції на автоматизованому СЗП. В результаті

такого збільшення різко зростає вартість зберігання продукції, а система стає економічно не вигідною.

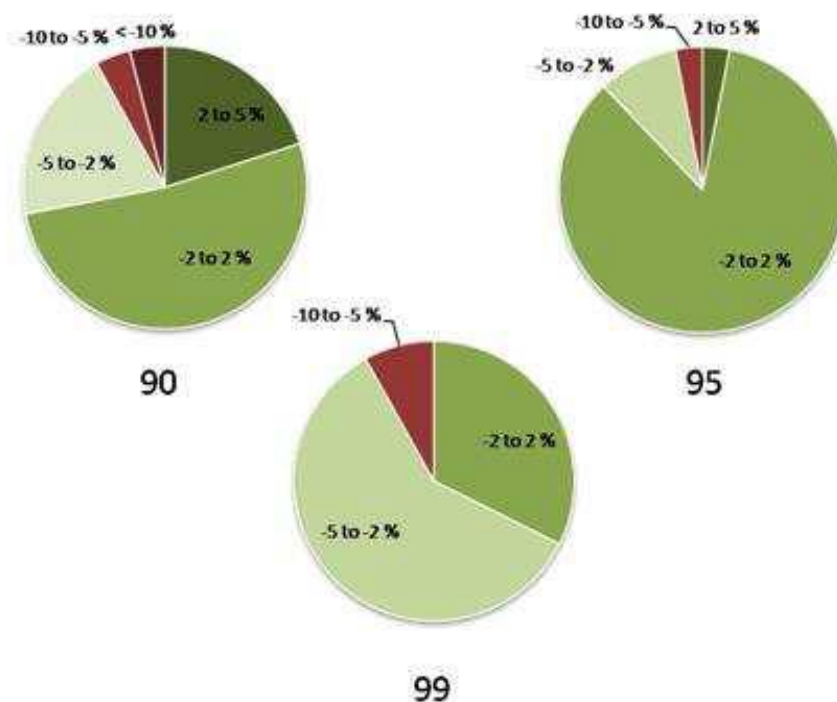


Рисунок 4.20 – Відхилення у рівні обслуговування клієнтів за результатами імітаційного моделювання для окремих цільових рівнів обслуговування

Застосування аналітичної моделі до автоматизованого СЗП з метою визначення РО дозволило отримати результати по РО для автоматизованого СЗП в цілому, із врахуванням роздрібних магазинів в системі. Результати для продукції, яка була згрупована за категоріями, наведені у табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Рівень обслуговування клієнтів на автоматизованому складі зберігання продукції

Група продукції	Рівень обслуговування при ІМ1, %	Рівень обслуговування при ІМ2, %
А	45,7	59,4
Б	82,7	49,3
В	90,3	52,5
Вся продукція	66	54

Як видно з табл. 4.5, рівень обслуговування клієнтів автоматизованим СЗП вищий при ІМ1, ніж при ІМ2. При чому вищий він для всієї продукції та для груп продукції.

4.4.2 Точки ймовірності повторного замовлення зі складу зберігання продукції

Для товарів із групи Б спостерігається тенденція, в якій точки повторного замовлення продукції із СЗП достатньо часто зменшувались дуже різко, а точки повторного замовлення для РМ зменшувались незначним чином. Це показано на рис. 4.21.

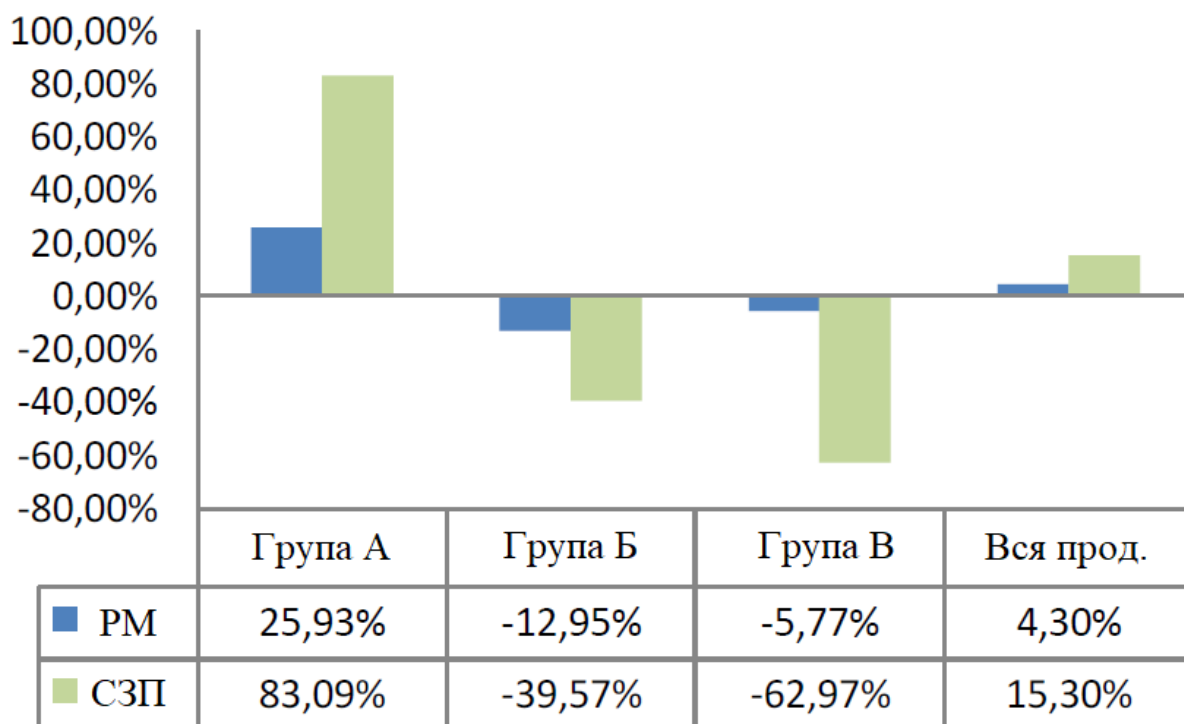


Рисунок 4.21 – Порівняння точок повторного замовлення при різних імітаційних моделях

При аналізі отриманих результатів було встановлено, що продукція, для якої при ІМ2 точки повторного замовлення були більші, ніж при ІМ1, належать до групи А, а навпаки – для груп Б і В. Для проведення порівняння найкращою вважається група Б.

4.4.3 Рівні інвентаризації

При зменшенні запасів продукції у РМ слід враховувати, що вони можуть знаходитись на автоматизованому СЗП. Рівень інвентаризації продукції на СЗП показаний на рис. 4.22.

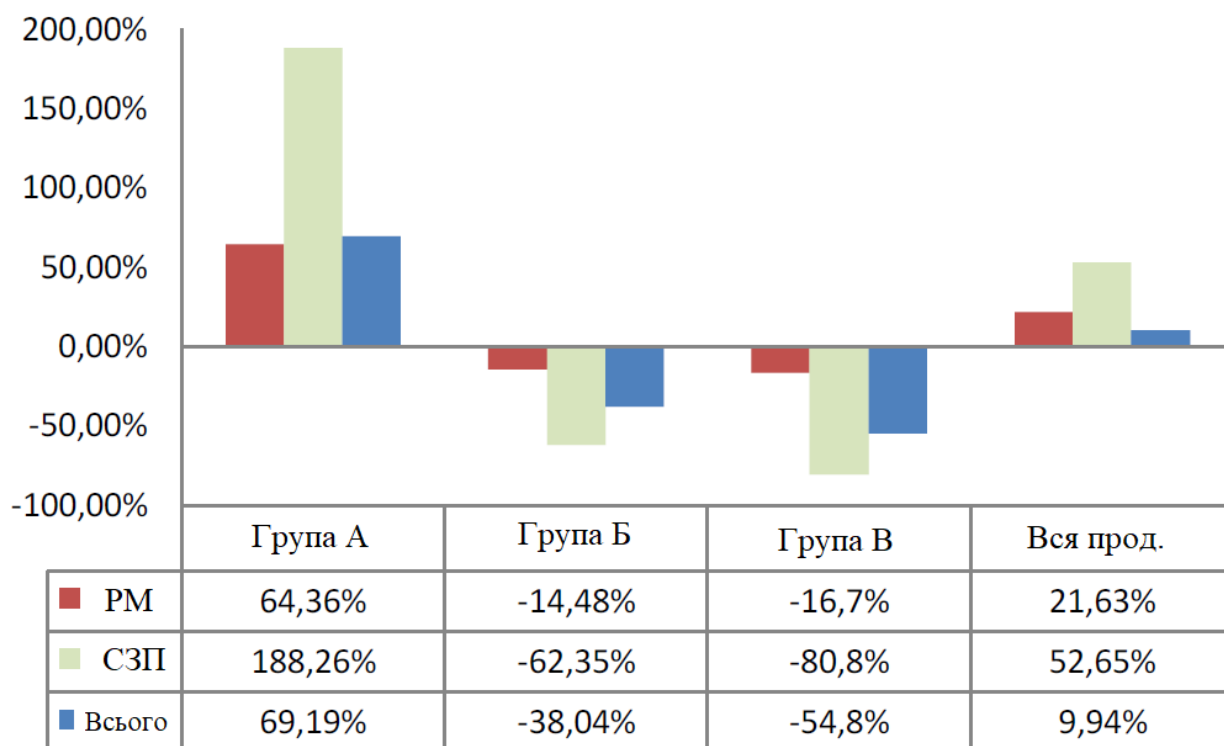


Рисунок 4.22 – Зміна в рівні інвентаризації системи

На рис. 4.22 видно, що найбільше скорочення запасів продукції спостерігається для групи В, тобто для групи із найвищим рівнем обслуговування.

При проведенні класифікації продукції за рівнем обслуговування клієнтів для різних груп продукції співвідношенням між РМ, СЗП та загальним зменшенням продукції на складі майже не змінюється. Загальний рівень запасів продукції для групи продукції із найвищим рівнем обслуговування становить майже 90%, а для класу із найнижчим рівнем – всього 20%.

4.4.4 Розподіл товарно-матеріальних запасів

При дослідженні розподілу загального обсягу запасів продукції між СЗП та РМ необхідно провести порівняння середнього рівня запасів для СЗП із середнім рівнем запасів продукції на розподільчих магазинах. За статистичними даними встановлено, що автоматизований СЗП в середньому зберігає в 3,14 разів більше запасів продукції, ніж РМ. Результати проведених досліджень наведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Відношення між рівнем запасів на автоматизованому складі зберігання продукції та у роздрібних магазинах

Рівень обслуговування	Відношення	Відносна дисперсія	Відношення	Середній попит протягом тижня	Відношення	Час поставки продукції на склад	Відношення
99	2,4	Висока	3,9	Висока	4,2	Висока	4,9
95	4,0	Середня	3,0	Середня	2,8	Середня	2,5
90	2,8	Низька	2,4	Низька	2,4	Низька	1,8

З табл. 4.6 видно, що на співвідношення запасів на складі клас цільового обслуговування не має систематичного впливу. Інші ж параметри впливають на це значення. На автоматизованому СЗП буде знаходитись більше запасів у наступних випадках:

- зростає дисперсія попиту по відношенню до її середнього значення;
- спостерігається зростання значення середнього попиту;
- час доставки продукції від постачальника на СЗП довший.

4.4.5 Витрати на зберігання продукції

Витрати на зберігання продукції напряду залежать від витрат, які пов'язані із дефіцитом товарів на автоматизованому СЗП в результаті відсутності продукції. Якщо відома лише вартість зберігання продукції, коефіцієнт заповнення СЗП може бути перетворений у вартість дефіциту за допомогою відповідного рівняння (див. розділ 2).

Для розрахунку витрат використовувалась формула розрахунку втрат від дефіциту продукції на складі. Витрати на утримання продукції встановлювались на рівні одиниці за одиницю часу та одиницю товару для кожного окремого виду продукції.

Реальна вартість продукції не використовувалась при розрахунку тому, що їй характерна велика кількість невизначених факторів, які впливають на вартість товару. Такими факторами можуть бути витрати на обробку продукції, об'єм упаковки, тощо. Тому скорочення витрат розраховувалось у відсотковому еквіваленті. Сумарні витрати для кожного товару розраховувались за формулою:

$$TC = HC \cdot MI + SC \cdot (1 - ЦРО2) \cdot MD, \quad (4.1)$$

де TC – загальна вартість;

HC – вартість утримання продукції на складі;

MI – середній запас продукції;

SC – вартість дефіциту;

MD – середній попит.

Наведена формула наближає вартість до реального значення, оскільки вона виводиться із використанням формули перетворення цільового рівня послуг у вартість дефіциту продукції. Таке перетворення передбачає використання системи зворотних замовлень, а симуляція передбачає втрату продажів. Для кожного виду продукції були підсумовані витрати, а результати наведені на рис. 4.23.

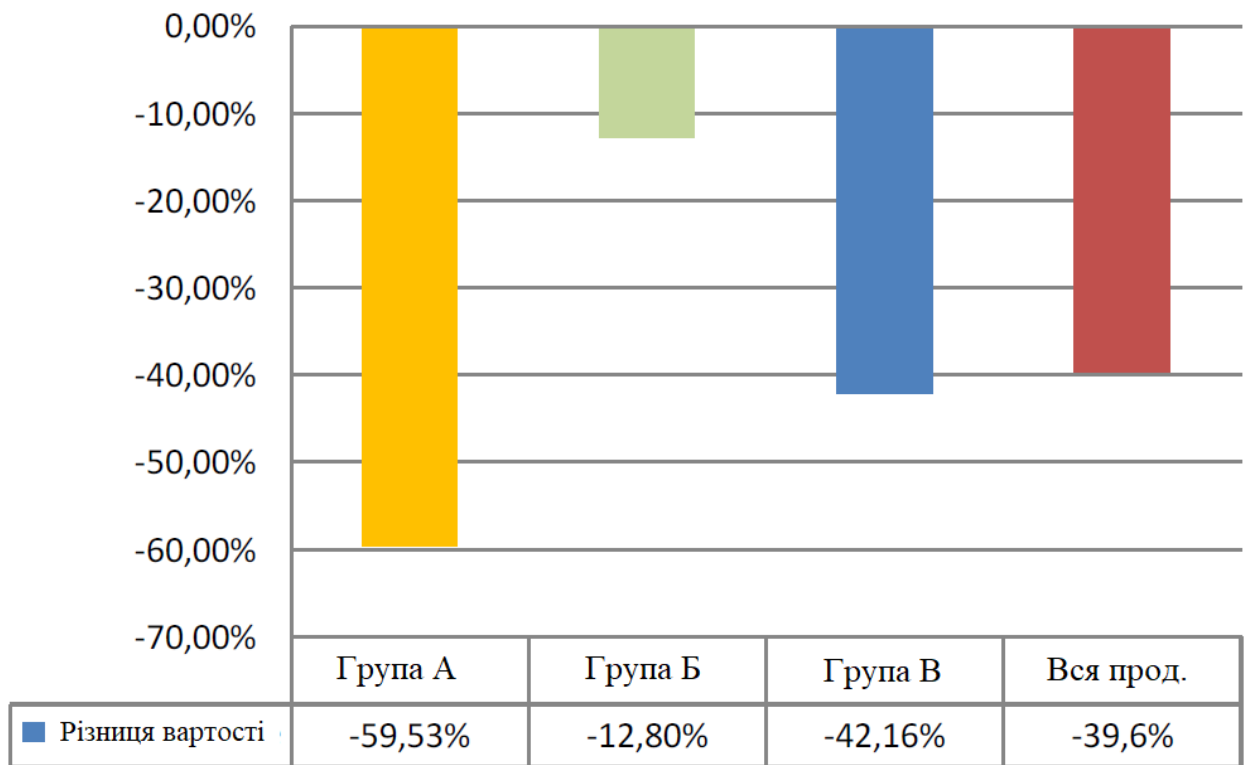


Рисунок 4.23 – Зміна вартості зберігання продукції для кожної групи продукції

За результатами імітаційного моделювання встановлено, що запровадження автоматизованого зберігання продукції на складі призведе до скорочення витрат на зберігання продукції на 39,6%. Якщо запроваджувати часткову автоматизацію зберігання продукції, то у випадку товарів групи Б можливо досягнути скорочення витрат на 12,8%, групи А – майже 60%, а групи В – 42,16%.

З отриманих результатів можна встановити залежність між низьким рівнем обслуговування клієнтів та більшими витратами на зберігання продукції. Тобто, чим вищий рівень обслуговування, тим менші витрати.

4.5 Порівняння результатів моделювання процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції

Після виконання імітаційного моделювання функціонування автоматизованого складу зберігання продукції для 95 видів продукції, було отримано результати основних показників. Ці результати наведені на рис. 4.24.

На рис. 4.24 використовується ряд скорочень, а саме:

- LT – час виконання замовлення між постачальником та СЗП;
- Fr – середній попит на продукцію;
- V/M – клас дисперсії (відношення між дисперсією попиту та середнім попитом);
- S – рівень обслуговування клієнтів;
- A – різниця в точках повторного замовлення між ІМ1 та ІМ2 на рівні роздрібно́ї торгівлі;
- B – різниця в точках повторного замовлення між ІМ1 та ІМ2 на рівні СЗП;
- C – середня різниця у запасах продукції у відсотках на рівні роздрібно́ї торгівлі;
- D – різниця у запасах продукції у відсотках на рівні СЗП;
- E – різниця у запасах продукції у відсотках в загальному на СЗП та РМ;
- F – середній запас в ІМ2 на СЗП;
- G – середній запас в ІМ2 на РМ;
- H – зв'язок між запасами на СЗП для ІМ2;
- I – різниця у вартості системи (у відсотках);
- J – різниця у ЦРО2 між ІМ1 та ІМ2;
- K – різниця у загальному рівні обслуговування між ІМ1 та ІМ2;
- L – відхилення ЦРО2 від цільового при ІМ1;
- M – відхилення ЦРО2 від цільового при ІМ2;
- N – рівень обслуговування на СЗП при ІМ1;
- O – рівень обслуговування на СЗП при ІМ2;
- P – різниця між ЦРО2 та загальним РО при ІМ1;
- Q – різниця між ЦРО2 та загальним РО при ІМ2;
- H, L, M – високий, низький та середній рівень обслуговування відповідно (для спрощення сприйняття подані у кольорі червоному, блакитному та зеленому відповідно).

Продукція №		LT		Fr	V/M	S	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
		L	M																				
XXXXXX	L	M	M	H	-85%	-93%	6%	-99%	-87%	13,96	8,72	1,60	-63%	0%	-1%	-5%	100%	56%	-4%	-3%			
XXXXXX	M	M	M	M	-20%	-25%	0%	-88%	-44%	30,17	14,61	2,07	-18%	-3%	-3%	2%	100%	52%	-1%	-1%			
XXXXXX	M	H	M	H	124%	186%	186%	52%	136%	158,81	29,40	5,40	-87%	45%	44%	-49%	66%	57%	-2%	-1%			
XXXXXX	L	L	M	M	-44%	-45%	-23%	-85%	-52%	13,10	4,46	2,94	-26%	-5%	-3%	0%	100%	74%	-3%	-5%			
XXXXXX	M	L	L	M	-44%	-40%	-24%	-86%	-45%	6,70	4,15	1,61	-32%	-4%	-4%	2%	99%	61%	-2%	-2%			
XXXXXX	M	M	L	L	63%	47%	18%	46%	18%	16,50	27,83	0,59	5%	9%	9%	-8%	22%	26%	0%	0%			
XXXXXX	L	L	L	M	-32%	-37%	-12%	-82%	-24%	5,65	8,23	0,69	-10%	-4%	-4%	3%	75%	35%	0%	0%			
XXXXXX	H	H	M	H	231%	219%	225%	267%	231%	129,96	34,81	3,73	-88%	48%	50%	-51%	44%	50%	2%	-1%			
XXXXXX	L	H	H	L	-53%	-66%	-27%	-76%	-35%	62,52	54,49	1,15	-23%	-7%	-7%	6%	79%	17%	0%	0%			
XXXXXX	H	H	H	M	92%	107%	92%	602%	154%	758,47	88,76	8,54	-79%	40%	40%	-40%	1%	46%	72%	-1%			
XXXXXX	H	H	H	H	95%	78%	29%	10%	28%	483,64	390,30	1,24	-54%	19%	18%	-21%	-3%	47%	-2%	-1%			
XXXXXX	M	L	L	H	-39%	-50%	-12%	-89%	-37%	5,45	5,27	1,03	-26%	-1%	-1%	-1%	98%	52%	-1%	-1%			
XXXXXX	H	M	M	H	9%	5%	22%	-32%	7%	61,12	17,00	3,59	-47%	6%	6%	-9%	70%	57%	-1%	0%			
XXXXXX	L	L	L	H	-53%	-55%	-29%	-92%	-49%	4,86	5,57	0,87	-25%	-3%	-2%	1%	98%	48%	0%	-1%			
XXXXXX	H	H	M	H	277%	295%	414%	412%	414%	126,53	25,01	5,06	-92%	60%	65%	-63%	52%	53%	5%	0%			
XXXXXX	M	M	H	H	15%	1%	41%	-41%	26%	32,40	20,15	1,61	-51%	6%	3%	-9%	78%	52%	-5%	-1%			
XXXXXX	M	M	H	H	-11%	-36%	41%	-66%	-20%	140,18	26,07	5,38	-40%	7%	0%	-14%	99%	73%	-12%	-4%			
XXXXXX	H	M	M	H	28%	27%	41%	76%	46%	49,29	13,27	3,72	-73%	16%	15%	-19%	45%	57%	-2%	-1%			
XXXXXX	H	L	M	L	-57%	-224%	-8%	-62%	-27%	55,53	14,28	3,89	-22%	-6%	-7%	1%	75%	62%	-1%	0%			
XXXXXX	M	L	L	H	1%	2%	1%	-30%	-2%	10,77	6,96	1,55	-26%	3%	3%	-5%	55%	53%	0%	0%			
XXXXXX	H	H	M	M	139%	173%	103%	313%	147%	677,75	73,99	9,16	-62%	43%	44%	-46%	60%	68%	0%	-1%			
XXXXXX	M	H	H	H	39%	81%	-31%	76%	-29%	37,62	47,44	0,79	-88%	33%	35%	-35%	23%	36%	1%	-1%			
XXXXXX	H	M	M	H	73%	88%	140%	738%	170%	39,68	12,52	3,17	-87%	34%	32%	-37%	26%	53%	-3%	-1%			
XXXXXX	M	L	L	M	-22%	-16%	-20%	-68%	-27%	11,48	9,87	1,16	-9%	-4%	-4%	4%	77%	47%	0%	-1%			
XXXXXX	L	H	H	M	-34%	-40%	-19%	-89%	-51%	61,94	32,58	1,90	-14%	-5%	-5%	3%	99%	44%	-1%	-1%			
XXXXXX	L	L	L	L	-63%	-66%	-31%	-86%	-50%	7,20	3,92	1,84	-33%	-8%	-7%	8%	100%	46%	-1%	-3%			
XXXXXX	M	L	L	H	-41%	-54%	-2%	-94%	-47%	6,40	6,74	0,95	-26%	-1%	-2%	-1%	99%	46%	-1%	-1%			
XXXXXX	L	M	M	H	-61%	-70%	-17%	-98%	-65%	6,02	10,40	0,58	-30%	-3%	-2%	0%	99%	39%	0%	-1%			
XXXXXX	H	H	H	H	150%	178%	87%	51%	83%	421,91	230,59	1,83	-86%	42%	40%	-44%	26%	49%	-2%	-1%			
XXXXXX	M	L	L	H	-20%	-21%	-15%	-76%	-28%	7,07	5,24	1,35	2%	-3%	-2%	-1%	92%	58%	-1%	-2%			
XXXXXX	H	L	L	M	93%	133%	75%	544%	105%	23,14	5,38	4,30	-58%	33%	33%	-33%	0%	72%	-1%	-1%			
XXXXXX	H	M	M	H	56%	51%	123%	179%	134%	72,56	14,89	4,87	-80%	25%	29%	-27%	52%	65%	3%	-1%			

6)

Продукція №	LT		Fr		V/M		S		A B C D E F G H I J K L M N O P Q																
	M	L	L	L	L	L	L	L	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
XXXXXX	M	L	L	L	L	L	L	L	-61%	-68%	-28%	-89%	-66%	17,46	4,01	4,35	-55%	-9%	-7%	8%	-1%	100%	63%	-1%	-3%
XXXXXX	L	M	H	L	L	L	L	L	-76%	-82%	-19%	-97%	-78%	31,00	14,16	2,19	-62%	-8%	-7%	5%	-2%	100%	51%	-2%	-3%
XXXXXX	M	L	L	L	M	L	L	L	-19%	-15%	-16%	-58%	-21%	11,56	10,39	1,11	-5%	-3%	-2%	3%	0%	65%	46%	-1%	-1%
XXXXXX	L	L	M	L	L	L	L	L	-95%	-117%	-32%	-91%	-72%	20,45	4,37	4,68	-58%	-13%	-10%	7%	-5%	100%	56%	-2%	-4%
XXXXXX	M	L	M	L	L	L	L	L	-39%	-25%	-15%	-51%	-16%	6,16	11,65	0,53	-12%	-5%	-4%	6%	1%	46%	32%	-1%	-1%
XXXXXX	L	M	M	H	L	L	L	L	27%	27%	36%	71%	38%	13,66	9,34	1,46	-69%	12%	10%	-16%	-3%	32%	50%	-3%	-1%
XXXXXX	L	L	L	M	L	L	L	L	-43%	-51%	-6%	-86%	-47%	13,63	5,34	2,55	-35%	-1%	-1%	-1%	-2%	100%	67%	-4%	-3%
XXXXXX	M	H	H	H	H	H	H	H	146%	354%	168%	-61%	135%	15,37	36,36	0,42	-91%	45%	50%	-47%	-3%	9%	34%	5%	-1%
XXXXXX	M	L	H	L	L	L	L	L	78%	139%	29%	336%	61%	66,32	9,80	6,76	-8%	22%	22%	-24%	-2%	49%	80%	-6%	-6%
XXXXXX	M	M	M	L	L	L	L	L	60%	87%	52%	164%	60%	25,38	11,34	2,24	-48%	25%	29%	-23%	2%	16%	58%	2%	-2%
XXXXXX	H	H	H	L	L	L	L	L	-20%	-20%	-16%	-81%	-46%	85,23	25,16	3,39	-33%	-5%	-4%	7%	2%	99%	61%	-2%	-2%
XXXXXX	L	L	M	L	L	L	L	L	-8%	51%	-24%	169%	-16%	10,29	4,12	2,50	-22%	5%	6%	-6%	-2%	24%	61%	-4%	-4%
XXXXXX	L	L	L	L	L	L	L	L	-60%	-69%	-11%	-92%	-54%	11,41	6,65	1,72	-39%	-5%	-4%	3%	-2%	100%	45%	-1%	-2%
XXXXXX	L	M	L	L	H	L	L	L	-11%	-9%	-15%	-66%	-19%	7,21	12,12	0,59	48%	-2%	-1%	0%	-2%	64%	39%	0%	-1%
XXXXXX	H	M	M	M	M	M	M	M	146%	169%	130%	311%	156%	56,60	11,15	5,08	-68%	40%	49%	-40%	0%	36%	68%	8%	-1%
XXXXXX	M	L	L	L	L	L	L	L	-11%	-14%	-4%	-59%	-12%	10,49	8,45	1,24	-2%	-1%	0%	-1%	-2%	70%	48%	0%	-1%
XXXXXX	H	M	M	M	M	M	M	M	38%	48%	25%	270%	61%	85,60	10,03	8,53	-60%	21%	21%	-21%	0%	42%	75%	-1%	-1%
XXXXXX	M	M	L	L	M	L	L	L	73%	93%	73%	627%	102%	22,04	5,51	4,00	-76%	35%	35%	-33%	1%	25%	70%	-1%	-1%
XXXXXX	H	H	H	L	L	L	L	L	-3%	4%	-20%	-10%	-19%	858,56	259,87	3,30	-21%	3%	2%	2%	5%	50%	51%	-1%	0%
XXXXXX	H	H	H	L	L	L	L	L	9%	14%	1%	0%	1%	1015,59	253,46	4,01	-11%	6%	7%	-3%	4%	48%	54%	-1%	-1%
XXXXXX	L	L	L	L	M	L	L	L	-89%	-109%	-41%	-84%	-66%	18,42	2,68	6,87	-50%	-8%	-4%	1%	-7%	100%	72%	-1%	-6%
XXXXXX	L	M	L	L	H	L	L	L	-73%	-76%	-50%	-98%	-85%	6,82	4,55	1,50	-80%	13%	14%	-16%	-3%	100%	57%	0%	-1%
XXXXXX	M	L	L	L	H	L	L	L	-39%	-46%	-13%	-93%	-51%	6,91	5,67	1,22	-15%	-2%	-2%	0%	-2%	100%	52%	-1%	-1%
XXXXXX	M	H	M	M	M	L	L	L	73%	100%	49%	112%	54%	40,32	19,79	2,04	-65%	28%	34%	-29%	-1%	16%	53%	5%	-1%
XXXXXX	M	L	L	L	L	L	L	L	22%	27%	10%	82%	14%	24,11	14,24	1,69	0%	7%	8%	-5%	3%	32%	46%	0%	-1%
XXXXXX	H	H	H	M	M	L	L	L	5%	12%	34%	227%	57%	1704,38	307,19	5,55	-9%	8%	8%	-5%	3%	44%	55%	-1%	-1%
XXXXXX	L	M	L	M	M	L	L	L	-19%	-21%	-13%	-82%	-24%	5,43	8,74	0,62	-5%	-3%	-3%	3%	0%	79%	35%	0%	0%
XXXXXX	L	L	H	L	L	L	L	L	-79%	-85%	-3%	-96%	-77%	23,37	7,94	2,94	-70%	-9%	-6%	5%	-3%	100%	62%	-3%	-5%
XXXXXX	L	L	L	L	L	L	L	L	-33%	-12%	-27%	-36%	-28%	5,37	6,49	0,83	-16%	-6%	-5%	7%	1%	52%	40%	-1%	-2%
XXXXXX	L	M	H	L	L	L	L	L	-52%	-51%	-35%	-91%	-64%	31,28	12,06	2,59	-50%	-8%	-4%	6%	-2%	100%	63%	-2%	-6%
XXXXXX	H	H	H	M	M	L	L	L	48%	55%	47%	431%	82%	171,42	27,51	6,23	-67%	25%	26%	-26%	0%	41%	70%	-1%	-2%
XXXXXX	M	H	H	H	H	H	H	H	-8%	-7%	-27%	-82%	-57%	704,97	148,40	4,75	-60%	4%	4%	-6%	-2%	95%	53%	0%	0%

В)

Рисунок 4.24 – Результати розрахованих показників для різних видів продукції

4.6 Висновки до четвертого розділу

В четвертому розділі була побудована імітаційна модель керування автоматизованим складом зберігання продукції в програмному середовищі Extend Simulation. В цій імітаційній моделі передбачена автоматична доставка продукції у мережу, яка складається із сімнадцяти роздрібних магазинів.

Крім того, було проведено імітаційне моделювання функціонування автоматизованого СЗП протягом 100 тижнів для 95 видів продукції на складі. Також проводилась перевірка адекватності розроблених імітаційних моделей, яка показала позитивний результат.

У розділі проведено моделювання процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції. Моделювання роботи складу було виконано у програмному забезпеченні Factory I/O із використанням CODESYS. В результаті моделювання було зібрано релейно-контактні схеми пересування продукції по стелажах, аварійну зупинку руху підйомника та конвеєра, тощо.

Також було проведено обробку результатів імітаційного моделювання та надання рекомендацій до процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції. За результатами було розраховано рівень обслуговування замовників, точки ймовірності повторного замовлення продукції, рівні інвентаризації складу, розподіл товарно-матеріальних запасів всередині автоматизованого складу зберігання продукції та витрати на зберігання продукції.

За результатами імітаційного моделювання встановлено, що запровадження автоматизованого зберігання продукції на складі призведе до скорочення витрат на зберігання продукції на 39,6%.

ВИСНОВКИ

В першому розділі проведено дослідження об'єкту автоматизації, а також виокремлено його основні характеристики. Також було сформульовано задачі автоматизації. Було проведено аналіз існуючих методів проведення дослідження та можливість їх застосування для вирішення поставлених задач. В результаті було обрано метод кількісного моделювання системи керування автоматизованим складом зберігання продукції.

У другому розділі було проведено математичне моделювання функціонування автоматизованого СЗП із врахуванням потреб кожного окремого роздрібного магазину ІКЕА, які відправляють на СЗП запити на постачання продукції. Оскільки замовлення від клієнтів представляє собою невизначену величину, то такі величини підпорядковуються законам теорії ймовірностей.

В розділі розглядаються функції нормального розподілу, Пуассонівського розподілу, експоненціального розподілу, гамма-розподілу та їх застосування для кожного окремого випадку функціонування автоматизованого складу зберігання продукції. Встановлено, що СЗП функціонує як багатоешелонна система.

У третьому розділі проведено аналітичне дослідження процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції. В результаті дослідження встановлено, яким законам підпорядковується попит на продукцію зі складу, що є основним вхідним параметром у роботі автоматизованого складу зберігання продукції при виконанні замовлення продукції клієнтами.

В четвертому розділі була побудована імітаційна модель керування автоматизованим складом зберігання продукції в програмному середовищі Extend Simulation. В цій імітаційній моделі передбачена автоматична доставка продукції у мережу, яка складається із сімнадцяти роздрібних магазинів.

Крім того, було проведено імітаційне моделювання функціонування автоматизованого СЗП протягом 100 тижнів для 95 видів продукції на складі. Також проводилась перевірка адекватності розроблених імітаційних моделей, яка показала позитивний результат.

У розділі проведено моделювання процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції. Моделювання роботи складу було виконано у програмному забезпеченні Factory I/O із використанням CODESYS. В результаті моделювання було зібрано релейно-контактні схеми пересування продукції по стелажах, аварійну зупинку руху підйомника та конвеєра, тощо.

Також було проведено обробку результатів імітаційного моделювання та надання рекомендацій до процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції. За результатами було розраховано рівень обслуговування замовників, точки ймовірності повторного замовлення продукції, рівні інвентаризації складу, розподіл товарно-матеріальних запасів всередині автоматизованого складу зберігання продукції та витрати на зберігання продукції.

За результатами імітаційного моделювання встановлено, що запровадження автоматизованого зберігання продукції на складі призведе до скорочення витрат на зберігання продукції на 39,6%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. About Factory I/O. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.factoryio.com/> (дата звернення 01.11.2023)
2. Balys P. The future of work in automated warehouse from the perspective of the employees / P. Balys, P. Bula, D. Dziedzic, M. Uznanska // Contemporary organisation and management. Challenges and trends. – 2020. – p. 267-281
3. Codesys. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.codesys.com/> (дата звернення 01.11.2023)
4. Extend Simulation. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://extendsim.com/solutions/simulation> (дата звернення 25.10.2023)
5. IKEA Statistics and Facts. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.statista.com/topics/1961/ikea/#editorsPicks> (дата звернення 11.09.2023)
6. IKEA в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ikea.com/ua/uk/this-is-ikea/about-us/ikea-v-ukrayini-pub3c09f721> (дата звернення 08.09.2023)
7. IKEA. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/IKEA> (дата звернення 08.09.2023)
8. IKEA. Про нас. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ikea.com/ua/uk/this-is-ikea/about-us/> (дата звернення 08.09.2023)
9. Steamline Operations with the Automated Warehouse. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.autostoresystem.com/insights/streamline-operations-with-an-automated-warehouse> (дата звернення 13.09.2023)
10. Yildirim A. Mobile Robot Automation in Warehouses: A Framework for Decision Making and Integration / A. Yildirim, H. Reefke, E. Aktas. – 2023. – 520 p.
11. Барало О.В. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
12. Бірта Г.О. Методологія і організація наукових досліджень. Навчальний посібник / Г.О. Бірта, Ю.Г. Бургу – К. : «Центр учбової літератури», 2014. – 142 с.

13. Бурау Н.І. Теорія автоматичного управління. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Н.І. Бурау, Д.О. Півторак; КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. - 57 с.

14. Васильків І.М. Основи теорії ймовірностей і математичної статистики : навч. посібник. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2020. – 184 с.

15. Від'ємний біноміальний розподіл. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%96%D0%B4%27%D1%94%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B1%D1%96%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D1%96%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%BB (дата звернення 08.10.2023)

16. Воронцов Б.С. Комп'ютерне моделювання технологічних процесів: навч. посіб. для студ. за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» за освітньо-науковою програмою магістерської підготовки – Технологія машинобудування / Б.С. Воронцов, Ю.М. Бецко, О.О Мельник. – КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 186 с.

17. Галкін П.В. Програмування ПЛК в CODESYS: навчальний посібник / П.В. Галкін, І.І, Ключник. – Харків: ФОП Панов А.М., 2019. – 92 с.

18. Гамма-розподіл. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0-%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%BB>

(дата звернення 08.10.2023)

19. Густина ймовірності. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%83%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%D0%B9%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%96 (дата звернення 07.10.2023)

20. Данильян О.Г. Методологія наукових досліджень : підручник / О. Г. Данильян,. О. П. Дзьобань. – Харків : Право, 2019. – 368 с.

21. Дикань В.Л. Товарознавство та комерційна діяльність: Підручник / В. Л. Дикань, А. О. Каграманян, Н. Є. Каличева та ін.; за ред. В. Л. Диканя. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – 362 с.

22. Довгань Л.Є. Управління проектами: навчальний посібник до вивчення дисципліни для магістрів галузі знань 07 «Управління та адміністрування» спеціальності 073 «Менеджмент» спеціалізації: «Менеджмент і бізнес-адміністрування», «Менеджмент міжнародних проектів», «Менеджмент інновацій», «Логістика»/ Уклад.: Л.Є. Довгань, Г.А. Мохонько, І.П. Малик. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 420 с.

23. Ельперін І.В. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І. В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. – Вид. 2-ге, виправлене – К.: Вид. Ліра-К, 2017. – 378 с.

24. Єфіменко С.В. Методичний посібник з курсу «Теорія ймовірностей» / С.В. Єфіменко, Д.О. Іваненко, О.В. Сугакова. – Київ, 2018. – 104 с.

25. Жерновий Ю.В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: Практикум. / Ю.В. Жерновий. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 307 с.

26. Загурський О.М. Управління ланцюгом постачань : навч. посіб. / О.М. Загурський. – Біла Церква : ТОВ «Білоцерківдрук», 2018. – 416 с.

27. Іваненко Ф.В. Технологія зберігання та переробки сільськогосподарської продукції: Навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисц. / Ф.В. Іваненко, В.М. Сінченко. — К.: КНЕУ, 2005. — 221 с.

28. ІКЕА відкрила новий транзитний склад в Польщі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://trademaster.ua/news/25078> (дата звернення 08.09.2023)

29. Каламбет С.В. Методолія наукових досліджень: Навч. посіб. / С.В. Каламбет, С.І. Іванов, Ю.В. Півняк Ю.В. – Дн-вськ: Вид-во Маковецький, 2015. – 191 с.

30. Карташов М.В. Імовірність, процеси, статистика / М.В. Карташов. – Київ: ВПЦ Київський університет, 2007. – 504 с.

31. Кветний Р.Н. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1 : навчальний посібник / Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. Р., Софіна О. Ю., Шушура О.М.; за заг. ред. Р.Н. Кветного. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 193 с.

32. Кислий М.В. Логістика: Теорія та практика: Навч. посіб. / М.В. Кислий, О.А. Біловодська, О.М. Олефіренко, О.М. Соляник. – К: Центр учбової літератури, 2010. – 360 с.

33. Колосов О.Є. Технологія пакування та зберігання пакованої продукції. Практикум: навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 35 с.

34. Кушлик-Дивульська О.І. Теорія ймовірностей та математична статистика: навч. посіб. / О.І. Кушлик-Дивульська, Н. В. Поліщук, Б. П. Орел, П.І. Штабальок. - К: НТУУ «КПІ», 2014. – 212 с.

35. Ладанюк А.П. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами. Навчальний. посібник / Ладанюк А.П., Архангельська К.С., Власенко Л.О. – К.:НУХТ, 2014. – 274 с.

36. Лазоренко Т.В. Основи менеджменту: Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів спеціальності 073 «Менеджмент» освітньо-професійної програми «Менеджмент і бізнес-адміністрування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; укладачі: Т.В. Лазоренко, С.О. Пермінова. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2021.166 с.

37. Лукінюк М.В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічний об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ют.-інтег. технології» / М. В. Лукінюк. - К.: НТУУ «КПІ», 2008. - 236 с.

38. Маркіна І.А. Операційний менеджмент: навчальний посібник / І.А. Маркіна, О.М. Помаз, Ю.В. Помаз. – Полтава: ПДАА, 2019. – 226 с.

39. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг Криворізький коледж НАУ, 2019 р. – 366 с.
40. Неруш В.Б. Імітаційне моделювання систем та процесів: Електронне навчальне видання. Конспект лекцій / В. Б. Неруш, В. В. Курдеча. – К.: НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. – 115 с.
41. Огірко О.І. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник / О. І. Огірко, Н. В. Галайко. – Львів: ЛьвДУВС, 2017. – 292 с.
42. Омельчук А.А. Моделювання технологічних процесів за допомогою програмного середовища Factory I/O / А.А. Омельчук, Д.О. Дмитрієв, С.А. Русанов, Ю.О. Лебеденко // Прикладні питання математичного моделювання. – Т.2, №2, 2019. – с. 58-64
43. Павленко А.Ф. Складське господарство : підручник / А. Ф. Павленко, В. В. Кривещенко ; ДВНЗ "Київ. нац. екон. ун-т ім. Вадима Гетьмана". - Київ : КНЕУ, 2016. - 395 с.
44. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
45. Проць Я.І., Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів./ Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 344с.
46. Савицький В. К. Технічні засоби автоматизації : навч. посіб. / Володимир Савицький, Роман Федоришин ; Національний університет "Львівська політехніка". – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2018. – 292 с.
47. Самсонов В.В. Методологія наукових досліджень та приклади їх використання: Навч. посібник. / В.В. Самсонов, А.М. Сільвестров, О.М. Тачиніна. К.: НУХТ, 2022. – 385 с.
48. Синеглазов В.М. Автоматизація технологічних процесів: Навчальний посібник / В.М. Синеглазов, І.Ю. Сергеев. - К.: НАУ, 2010. – 506 с.

49. Статистичні ряди розподілу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96_%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%B8_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%BB%D1%83#%D0%93%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B5_%D0%B7%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%85_%D1%80%D1%8F%D0%B4%D1%96%D0%B2_%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%96%D0%BB%D1%83 (дата звернення 28.09.2023)

50. Тичинська Л.М. Теорія ймовірностей: навчальний посібник / Л.М. Тичинська, А. А. Черепащук. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 112 с.

51. Уривський Л.О. Імітаційне моделювання систем і процесів у телекомунікаціях: навч. посіб. / Л.О. Уривський, А.В. Мошинська, С.О. Осипчук. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 202 с.

52. Фісун Ю.В. Товарознавство: практикум / уклад. : Ю. В. Фісун, О. С. Борисенко, А. В. Шевченко, О. М. Крапко. – К. : НАУ, 2022. – 48 с.

53. Штіфзон О.Й. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В.П. Бунь. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с.

54. Яланецький В.А. Моделювання процесів і систем: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. освітньої програми «Інтегровані інформаційні системи» спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В.А. Яланецький. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 134 с.

Додатки

Додаток А
Тези доповідей на конференції «Технічна творчість»

УДК 681.52

Технологічні процеси виробництва виробів

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИМ СКЛАДОМ
ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ**

Янчук В.О.,
Сельський А.А.
Соколан Ю.С.

Хмельницький національний університет

Автоматизований склад зберігання продукції – це склад, на якому всі операції, такі як приймання, видача, зберігання, пакування та сортування, автоматизовані завдяки запровадженню відповідної системи [1]. Станом на сьогоднішній день координаційне керування запасами явище не досить розповсюджене серед компаній, які займаються випуском продукції різного призначення.

Для моделювання процесу роботи автоматизованого складу зберігання продукції було обрано два програмні середовища - Factory I/O та CoDeSys. Для виконання моделювання технологічного процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції необхідно у Factory I/O створити новий проект та скористатись вбудованою бібліотекою, з якої використовуємо стандартизовані об'єкти (рис. 1).

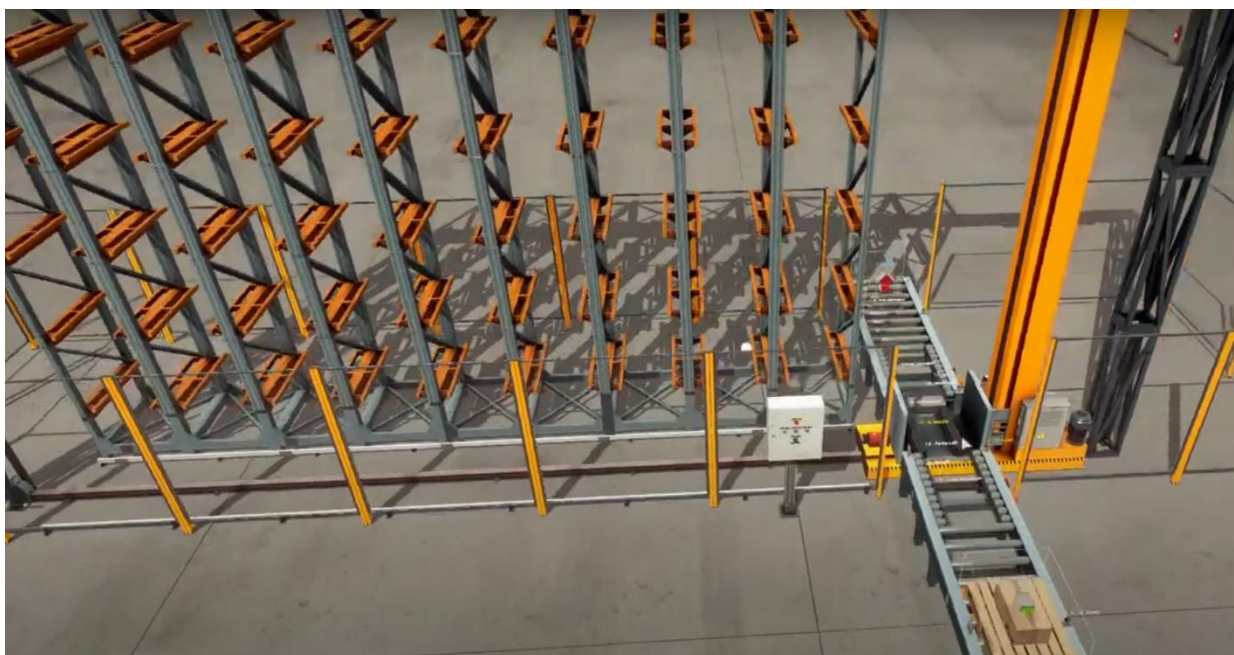
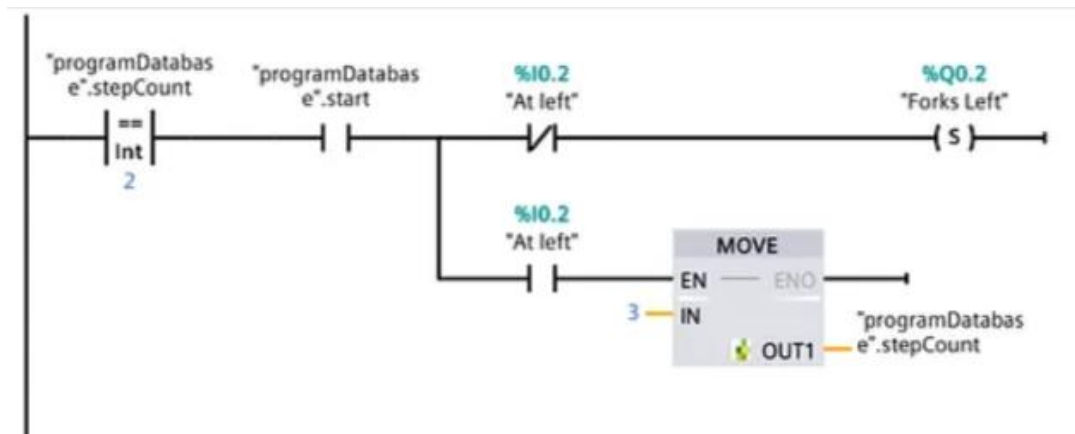


Рис. 1. Елементи функціонування складу, створені у Factory I/O

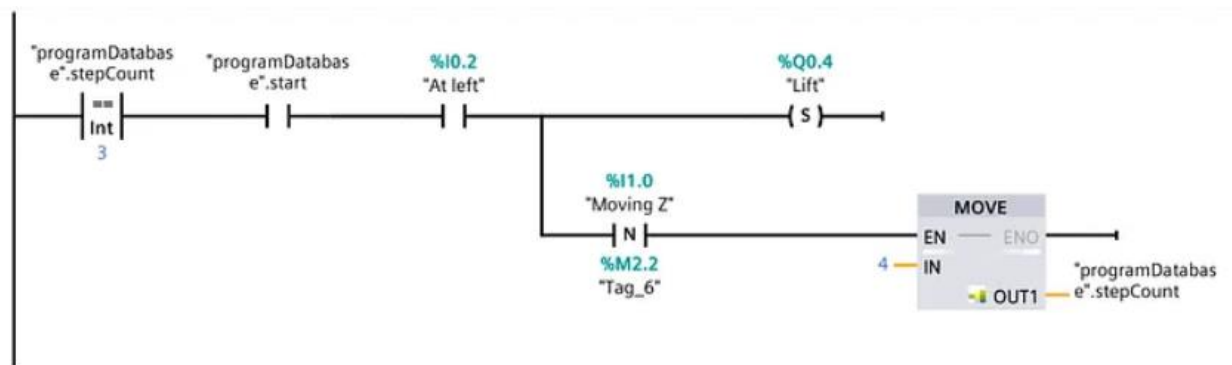
За допомогою програмного середовища Factory I/O ми зможемо наочно побачити перебіг технологічного процесу, відслідкувати помилки, які можуть виникати в процесі моделювання роботи автоматизованого складу зберігання продукції (СЗП) та не повторювати їх при фізичному виготовленні обладнання та його розташування в об'ємі СЗП. Для коректного функціонування автоматизованого СЗП було створено релейно-контактні схеми руху обладнання із коробкою (рис. 2).

В моделі функціонування автоматизованого СЗП на панелі керування використовуються такі елементи: кнопка аварійної зупинки, перемикач, кнопки із підсвітками. Об'єктами, які можуть переміщуватись в межах моделі складу можуть бути:

коробки для палетування, піддони, коробки, якщики, сировина, тощо. Для створення елементів стелажу та підйимального обладнання у Factory I/O використовувались штеблерний кран та стелаж, який містить 18 відсіків в одній секції.



a)



б)

Рис. 2. Релейно-контактна схема руху конвеєру із коробкою в сторону стелажів

Крім того, у програмному комплексі Extend Simulation [2] була побудована імітаційна модель [3, 4] функціонування автоматизованого СЗП, яка містить 95 видів продукції. В цій моделі автоматизованого СЗП він функціонував протягом 100 тижнів.

За результатами імітаційного моделювання встановлено, що запровадження автоматизованого зберігання продукції на складі призведе до скорочення витрат на зберігання продукції на 39,6%. Якщо запроваджувати часткову автоматизацію зберігання продукції, то можливо досягнути скорочення витрат на зберігання продукції на 12,8%.

Перелік посилань

1. Steamline Operations with the Automated Warehouse. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.autostoresystem.com/insights/streamline-operations-with-an-automated-warehouse>
2. Extend Simulation. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://extendsim.com/solutions/simulation>
3. Неруш В.Б. Імітаційне моделювання систем та процесів: Електронне навчальне видання. Конспект лекцій / В. Б. Неруш, В. В. Курдеча. – К.: НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. – 115 с.
4. Уривський Л.О. Імітаційне моделювання систем і процесів у телекомунікаціях: навч. посіб. / Л.О. Уривський, А.В. Мошинська, С.О. Осипчук. - Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 202 с.

ДИПЛОМНА РОБОТА
НА ТЕМУ
“МЕТОД КЕРУВАННЯ
АВТОМАТИЗОВАНОЮ ЛІНІЄЮ
ПАКУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ”

Виконав: ст. гр. АКІТм-22-1
Янчук В.О.

Керівник: доц., к.ф-м.н.
Сельський А.А.

ВСТУП

2

- Автоматизований склад зберігання продукції – це склад, на якому всі операції, такі як приймання, видача, зберігання, пакування та сортування, автоматизовані завдяки запровадженню відповідної системи. Завдяки заміні логістичних операцій із доставки продукції з однієї точки складу в іншу, можна підвищити ефективність функціонування складу та виконання складських операцій.
- В роботі розглядається більш ефективний метод автоматизованого керування складом зберігання продукції, який базується на інноваційному методу розрахунку страхового запасу. В результаті застосування такого методу на підприємстві можна досягнути вищої точності обслуговування та значного зменшення витрат на проведення інвентаризації.

МЕТА ПРЕДМЕТ, ОБ'ЄКТ ТА АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

- **Метою роботи** є автоматизація процесу керування складом зберігання продукції із врахуванням наявності у системі роздрібних магазинів, з яких поступають запити на поставку продукції із складу.
- **Об'єкт дослідження** – процес керування автоматизованим складом зберігання продукції компанії ІКЕА.
- **Предмет дослідження** – методи та алгоритми керування автоматизованим складом зберігання продукції.
- **Апробація результатів дослідження:** опубліковано тези у збірнику наукових праць «Технічна творчість» №7 2023 року.

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ



Відкриття магазину ІКЕА в Києві



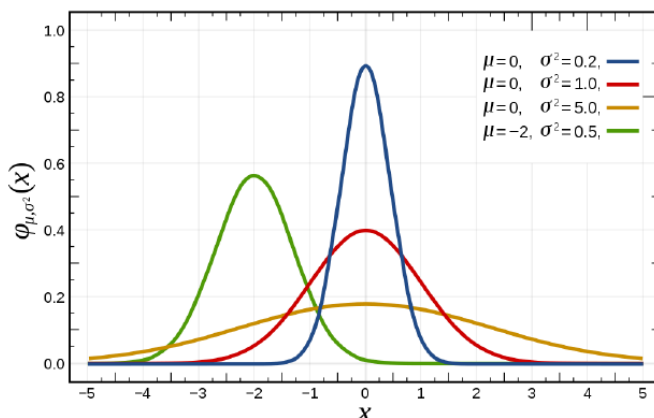
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5

- сформулювати функції статистичного розподілу продукції, а саме функцію нормального розподілу, функцію за експоненціальним законом, функцію розподілу Пуассона та функцію Гамма-розподілу;
- встановлення залежностей між попитом на продукцію та інтервалами постачання продукції для їх врахування в процесі автоматизації роботи складу;
- оптимізація роботи системи зберігання продукції;
- побудова моделі автоматизованого складу зберігання продукції та перевірка достовірності моделі;
- надання рекомендацій до процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ. НОРМАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ

6



- Випадкова величина ε вважається нормально розподіленою (або ж тою величиною, що підпорядковується закону Гаусса) в тому випадку, якщо її щільність розподілу має наступний вигляд

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}},$$

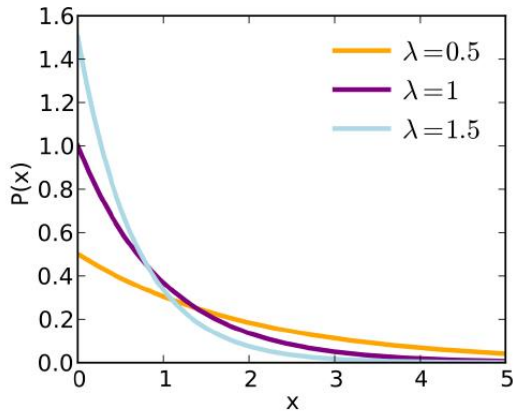
- Тоді кумулятивна функція нормального розподілу:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx$$

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ. ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ТА РОЗПОДІЛ ПУАССОНА

7

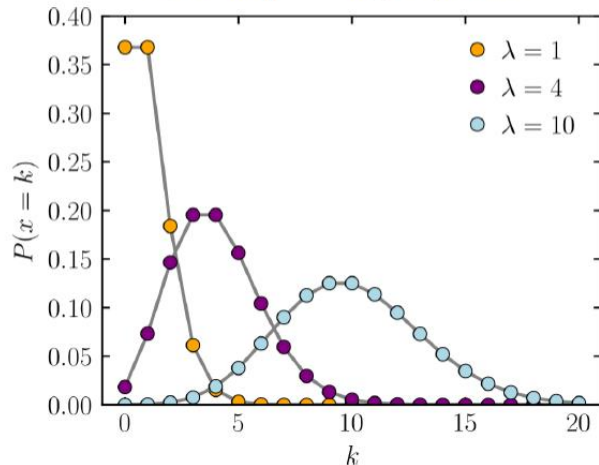
Експоненціальний розподіл випадкової величини



$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$$

$$F(x, \lambda) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & \text{при } x \geq 0 \\ 0, & \text{при } x < 0 \end{cases}$$

Функція розподілу Пуассона

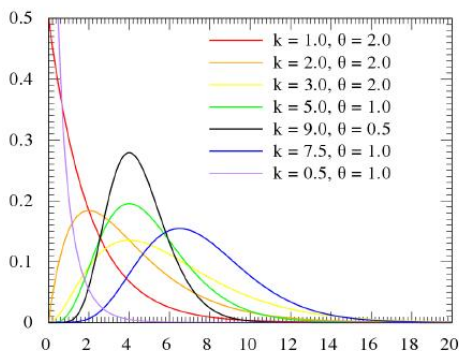


$$\Pr(X = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$$

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ. ГАММА-РОЗПОДІЛ

8

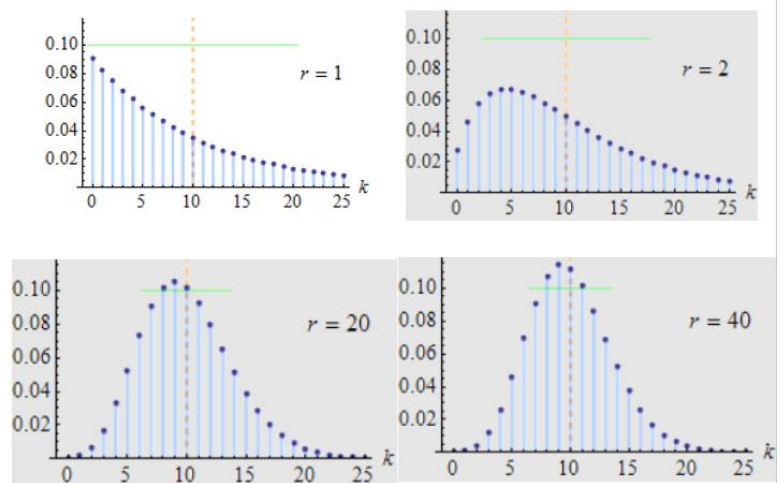
Гамма-розподіл



$$f(x) = \frac{e^{-x/\beta}}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} x^{\alpha-1}$$

$$F(x) = 1 - e^{-x/\beta} \sum_{j=0}^{\alpha-1} \frac{(x/\beta)^j}{j!}$$

Від'ємний біноміальний розподіл



$$P(X = k) = \binom{k-1+r}{k} p^r q^k, k = 0, 1, 2, \dots$$

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ. БАГАТОЕШЕЛОННА СИСТЕМА ІНТВЕНТАРИЗАЦІЇ

9

$$\bar{L}_i(R_0^*) = \left(\frac{(Q_i - Q) \cdot \mu_i - \frac{\eta_i}{N}}{\eta_i} + 1 \right) \cdot \frac{Q \cdot E(B_0)}{\mu_0} + l_i + \frac{(Q_i - Q) \cdot \mu_i}{\eta_i} \cdot \frac{Q \cdot E(B_0^*)}{\mu_0} \quad (1)$$

$$E(L_0) = \frac{1}{Q_0} \sum_{y_0=1+R_0}^{R_0+Q_0} E_{D_0(L_0)} \cdot (Q_0 \cdot y_0 - D_0(L_0)). \quad (2)$$

Кількість роздрібних магазинів	N		
Обсяг замовлення в роздрібному магазині	q_i, Q_i		
Найбільший спільний дільник всіх замовлень в СЗП	Q	Попит в роздрібному магазині протягом часу t	$D_0(t)$
Обсяг замовлень в СЗП	Q_0	Середньоквадратичне відхилення попиту в роздрібному магазині	σ_i
Витрати на утримання на СЗП одиниці продукції	h_0	Точки повторного замовлення в СЗП	R_0
Витрати на утримання в роздрібному магазині одиниці продукції	h_i	Точки повторного замовлення в роздрібному магазині	R_i
Вартість дефіциту на одиницю продукції (роздрібний магазин)	p_i	Очікувані витрати на СЗП на одиницю часу	C_0
Постійний ЧТ між СЗП та роздрібним магазином	l_i	Очікувані витрати в роздрібному магазині на одиницю часу	C_i
Постійний час доставки замовлення до СЗП	L_0	Очікувана кількість продукції в СЗП	$B_0(R_0)$
Очікуваний час поставки замовленої продукції до роздрібного магазину	\bar{L}_i	Очікувана кількість продукції в роздрібному магазині	$B_i(R_0)$
ЧТ замовлення до роздрібного магазину із врахуванням стохастичної змінної	L_i	Очікувана вартість системи на одиницю часу	TC
Очікуваний попит в роздрібному магазині	μ_i		
Очікуваний попит в роздрібному магазині на одиницю часу	μ_0		

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СКЛАДУ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ FACTORY I/O

10



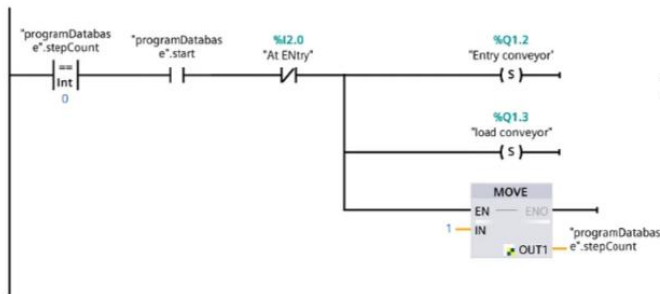
Кінцеве положення коробки на конвеєрі

Елементи функціонування складу, створені у Factory I/O



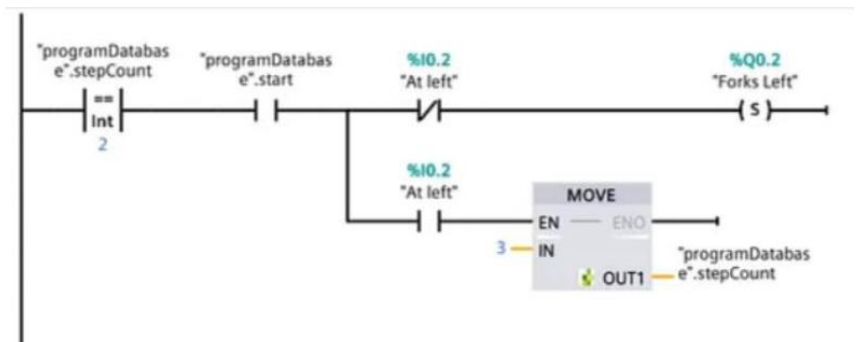
МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СКЛАДУ ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ CODESYS

11



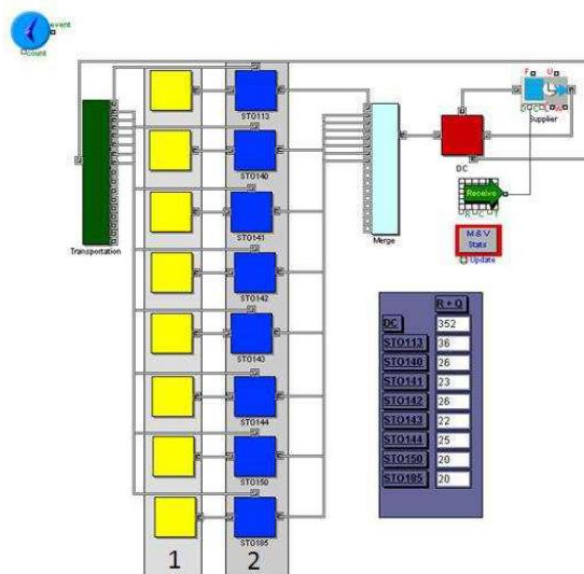
Релейно-контактна схема запуску конвеєра із коробкою

Релейно-контактна схема руху конвеєру із коробкою в сторону стелажів



СИМУЛЯЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДУ ТА РОЗДРІБНИХ МАГАЗИНІВ

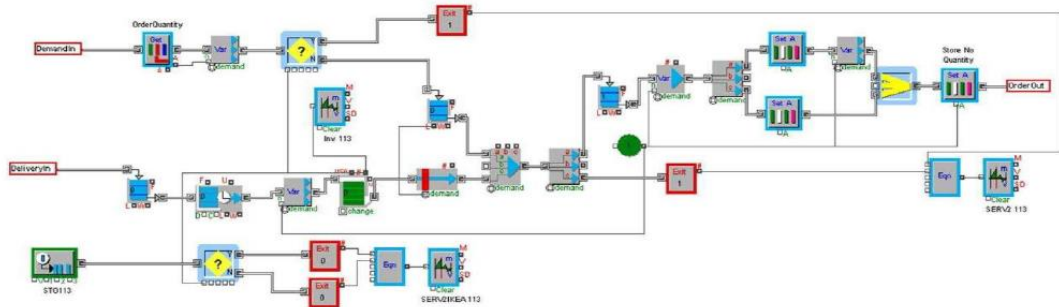
12



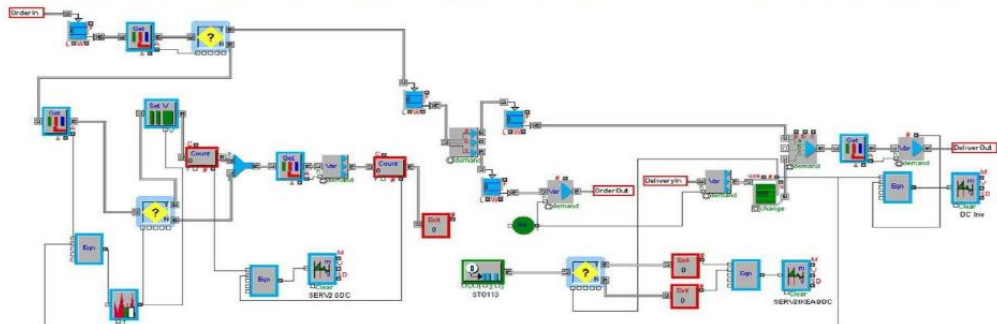
Основна схема СЗП, побудована в Extend Simulation

СИМУЛЯЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДУ ТА РОЗДРІБНИХ МАГАЗИНІВ

13



Імітаційна модель відправки запиту на продукцію із роздрібного магазину до СЗП



Імітаційна модель роботи автоматизованого складу зберігання продукції

ВИСНОВКИ

14

В результаті автоматизації функціонування складу зберігання продукції на прикладі складу ІКЕА було:

- сформовано математичні моделі розподілу попиту на продукцію та їх підпорядкування Гамма-розподілу, експоненціальному розподілу, розподілу Пуассона;
- Змодельовано роботу автоматизованого складу у Factory I/O та розроблено відповідні релейно-контактні схеми
- Проведено імітаційне моделювання роботи системи, яка складається із автоматизованого складу та 17 роздрібних магазинів. За результатами імітаційного моделювання встановлено, що запровадження автоматизованого зберігання продукції на складі призведе до скорочення витрат на зберігання продукції на 39,6%.

Дякую за увагу!

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод керування автоматизованим складом зберігання продукції
Автор: Янчук Володимир Олегович
Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Науковий керівник: Сельський Андрій Анатолійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;
- 2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

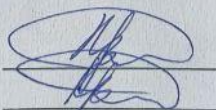


Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 2,58% і адресується до 184 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Дата 21.12.2023

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи

Валерій МАРТИНЮК

Валерій МАРТИНЮК

Андрій СЕЛЬСЬКИЙ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Янчук Володимир Олегович

Тема: Метод керування автоматизованим складом зберігання продукції

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень _____ Кількість сторінок записки 88

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: розроблено метод керування автоматизованою лінією пакування продукції

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі проведено дослідження об'єкту автоматизації, а також виокремлено його основні характеристики. Також було сформульовано задачі автоматизації. У другому розділі було проведено математичне моделювання функціонування автоматизованого СЗП із врахуванням потреб кожного окремого роздрібного магазину ІКЕА, які відправляють на СЗП запити на постачання продукції. У третьому розділі проведено аналітичне дослідження процесу керування автоматизованим складом зберігання продукції. В четвертому розділі була побудована імітаційна модель керування автоматизованим складом зберігання продукції в програмному середовищі Extend Simulation. В цій імітаційній моделі передбачена автоматична доставка продукції у мережу, яка складається із сімнадцяти роздрібних магазинів.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: в роботі розглядається система, яка складається із автоматизованого складу зберігання продукції та фіксованої кількості роздрібних магазинів. Нажаль не розглядається математична модель, яка б не залежала від кількості роздрібних магазинів в системі

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

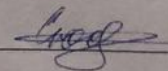
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,0/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Соколан Юлія Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри Будівництва та цивільної безпеки Хмельницького національного університету

"14" 12 2023 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Янчук В.О.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТм-22-1

ЗАЯВА

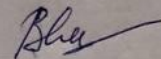
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.2023

дата



підпис

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 4.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 8%

ID: 123303 Назва: МКР Метод керування автоматизованим складом зберігання продукції Додано в БД: 2023-12-15 Автора: Володимир ЯНЧУК Керівники: Андрій СЕЛЬСЬКИЙ Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	72181	1017	4399 (6%)	65 (6%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

Ім'я користувача:
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:
1016007999

Дата перевірки:
15.12.2023 10:38:45 EET

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
15.12.2023 10:53:23 EET

ID користувача:
100005862

Назва документа: Янчук на плагиат

Кількість сторінок: 88 Кількість слів: 13196 Кількість символів: 101538 Розмір файлу: 3.43 MB ID файлу: 1015693242

2001 слово позначене як "вилучене" та не враховується у підрахунку слів

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

2.58% Схожість

Найбільша схожість: 1.19% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015649385)

1.91% Джерела з Інтернету

184

Сторінка 90

1.45% Джерела з Бібліотеки

18

Сторінка 91

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Не знайдено жодних посилань

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

10

Підозріле форматування

16
сторінок