

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем  
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ КОМПЛЕКТАЦІЇ  
ЗАМОВЛЕНЬ ТОВАРІВ НА СКЛАДАХ

ДРПМ.15/007.01.16.00

Галузь знань 11–Математика та статистика

Спеціальність 113–Прикладна математика

Виконала:

студентка 2 курсу, група ПМм-19-1

  
Підпис

О.І. Злотаренчук  
Ініціали, прізвище

Керівник:

канд.пед.наук, доцент

  
Підпис, дата

О.Я. Кучерук  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТМІТ д-р.техн.наук, доцент

  
Підпис, дата

С.К. Підченко  
Ініціали, прізвище

Хмельницький, 2020

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: ПРОГРАМУВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ І ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Кафедра: ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Освітній рівень: МАГІСТР

Галузь знань: 11 МАТЕМАТИКА ТА СТАТИСТИКА

Спеціальність: 113 ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

Освітня програма: ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)**

Злотаренчук Олені Іванівні

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Оптимізаційна модель процесу комплектації замовлень товарів на складах

Керівник проекту (роботи) Кучерук Оксана Ярославівна, к.п.н доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, місце роботи

Затверджена наказом ректора університету від 01.09.2020 р. № 118

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.12.2020 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи). Асортимент товарів, розташування стелажів, розміщення товарів на стелажах.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Проаналізувати основні проблеми, що виникають при організації процесу комплектації на підприємстві; обрати та застосувати існуючі методи для вирішення досліджуваних проблем підприємства; побудувати математичну модель комплектації замовлень з використанням таксономічної міри привабливості (TMAL) на основі ABC-розподілу розміщення деталей; розробити демонстративний веб-додаток для формування замовлень і побудови маршрутів; побудувати маршрути використовуючи евристичні методи; порівняти отримані результати та на їх основі вибрати найкращий маршрут.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень).

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1			
Розділ 2			
Розділ 3			

7. Дата видачі завдання « 03 » вересня 2020 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Затвердження теми науковим керівником	01.09.2020 – 02.09.2020	Виконано
2	Аналіз основних етапів і проблем комплектації замовлень на складі	03.09.2020 – 08.09.2020	Виконано
3	Розробка 1 розділу написання ДРМ	09.09.2020 – 20.09.2020	Виконано
4	Аналіз методів оптимізації процесу комплектації	21.09.2020 – 27.09.2020	Виконано
5	Розробка 2 розділу написання ДРМ	28.09.2020 – 7.10.2020	Виконано
6	Вибір найкращих методів для оптимізації	08.10.2020 – 13.10.2020	Виконано
7	Розробка 3 розділу написання ДРМ	14.10.2020 – 05.11.2020	Виконано
8	Написання вступу, висновків, формування переліку джерел посилання та додатків	06.11.2020 – 08.11.2020	Виконано
9	Попередній захист дипломної роботи	09.11.2020 – 10.11.2020	Виконано
10	Подача роботи на: кафедру, антиплагіат, рецензування, нормоконтроль	12.11.2020 – 03.12.2020	Виконано
11	Захист дипломної роботи	04.12.2020 – 15.12.2020	Виконано

Студент



О. І. Злотаренчук

Керівник проекту (роботи)



О. Я. Кучерук

## АНОТАЦІЯ

Тема дипломної роботи: Оптимізаційна модель процесу комплектації замовлень товарів на складах.

Автор роботи: Злотаренчук Олена Іванівна.

Керівник роботи: Кучерук Оксана Ярославівна.

Загальний обсяг роботи: 117 сторінок, 52 рисунка, 3 таблиці, 6 додатків, 35 посилань.

FLYING-V РОЗТАШУВАННЯ, ABC КЛАСИФІКАЦІЯ,  
ТАКСОНОМІЧНА МІРА ПРИВАБЛИВОСТІ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ,  
ЗАДАЧА МАРШРУТИЗАЦІЇ, ЕВРИСТИЧНІ МЕТОДИ МАРШРУТИЗАЦІЇ

Метою дипломної роботи є оптимізація процесу комплектації замовлень із визначенням найкоротшого можливого маршруту. Робота присвячена розробці веб-додатку для створення складських замовлень та побудови маршруту руху комплектувальника. Запропоновано підхід «Warehouse», що дає змогу оптимізувати основні процеси складської діяльності. Пропонований підхід ґрунтується на основі поєднання таксономічної міри привабливості місцеположення товарів та евристичних методів.

## ANNOTATION

a master's degree work of Olena Zlotarenchuk  
entitled «Optimization model of the process of completing orders for goods in warehouses».

Mentor: Kucheruk Oksana

Total volume of work: 117 pages, 52 figures, 3 tables, 6 appendices, 35 references.

FLYING-V LOCATION, ABC CLASSIFICATION, TAXONOMIC  
DETERMINATION OF LOCATION ATTRACTIVENESS, ORDER-PICKERS  
ROUTING PROBLEM, HEURISTIC METHODS

The aim of the thesis is to optimize completing orders with the definition of the shortest possible route. The work is devoted to developing a web application for creating warehouse orders and building the optimal route of the picker. We propose an approach called Warehouse, which allows optimizing the initial processes of warehousing. The proposed approach is based on a combination of heuristic methods and a taxonomic measure of the location's attractiveness.

2. 12.

Дата/Date

2020р.



Підпис/Signature

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
1 Теоретичні основи організації системи складування і комплектації замовлень на підприємстві .....	9
1.1 Комплектація замовлень як одна з основних операцій технологічного процесу складу .....	9
1.2 Аналіз останніх досліджень і публікацій в області складування .....	20
1.3 Методи оптимізації розміщення товарів і комплектації замовлень .....	23
1.3.1 Випадковий розподіл ( <i>random storage assignment</i> ) .....	23
1.3.2 Виділений розподіл ( <i>dedicated storage assignment</i> ) .....	24
1.3.3 Розподіл по класах ( <i>ABC storage assignment</i> ) .....	25
1.3.4 Розподіл в найближчу вільну комірку ( <i>closest-open-location storage assignment</i> ) .....	29
1.4 Аналіз складської діяльності державного підприємства «Красилівський агрегатний завод» .....	30
1.5 Постановка завдання .....	31
2 Методи оптимізації комплектації замовлень .....	33
2.1 Математична модель комплектації замовлень .....	33
2.2 Таксономічна міра привабливості місцеположення (TMAL) .....	35
2.3 Евристичні методи маршрутизації .....	39
2.3.1 Серединний метод (Midpoint) .....	40
2.3.2 S-подібний метод (S-Shape) .....	43
2.3.3 Метод з поверненнями (Return) .....	45
2.3.4 Комбінований метод (Combined) .....	47
3 Практичні результати реалізації інформаційної системи для комплектації замовлень на складі .....	53
3.1 Розташування стелажів складу Flying-V методом .....	55
3.2 Класифікація ABC для Flying-V розташування стелажів .....	58
3.3 Розробка веб-додатку для побудови маршрутів .....	65
3.3.1 Розрахунок таксономічної міри привабливості (TMAL) .....	65
3.3.2 Інструкція для користувача .....	68
3.3.3 Побудова маршрутів за евристичними методами .....	72

3.4 Розробка рекомендацій для оптимізації складської діяльності на підприємстві «КАЗ» .....	77
Висновки.....	79
Перелік джерел посилання .....	81
Додаток А .....	85
Додаток Б.....	91
Додаток В.....	95
Додаток Г .....	97
Додаток Д .....	101
Додаток Е.....	107

## ВСТУП

В даний час для того, щоб залишатися на ринку, необхідне постійне вдосконалення і впровадження процесів на підприємствах. Ефективність роботи підприємства залежить не тільки від роботи операційної діяльності, а й складського господарства. Складське господарство є найважливішою частиною будь-якого підприємства. Склади являють собою складний і невід'ємний елемент в системі функціонування будь-якого виробництва, так як саме він них залежить якість і ефективність забезпечення споживачів необхідними товарами.

Організація складського господарства впливає на пропускну здатність складів – чим раніше товар буде відпущений для подальшого транспортування на кожному етапі його обробки, тим швидше він буде доставлений у потрібне місце. Правильне зберігання деталей та їх передача на виробничу лінію є основою для функціонування всього підприємства. Складське господарство – матеріально-технічна база, яка забезпечує виробництво необхідними деталями та комплектуючими для безперебійного виробничого процесу. При цьому варто зазначити, що ефективне функціонування будь-якого підприємства також залежить від злагодженої діяльності всіх його підрозділів.

Актуальність обраної теми полягає в тому, що в сучасних умовах господарювання складська діяльність з кожним роком відіграє все більшу і більшу роль в успішному функціонуванні будь-якого господарюючого суб'єкта.

**Метою** є оптимізація процесу комплектації замовлень з визначенням найкоротшого можливого маршруту.

**Об'єктом** дослідження є процеси складської діяльності державного підприємства «Красилівський агрегатний завод» (ДП «КАЗ»).

**Предметом** дослідження є оптимізаційні моделі та евристичні методи побудови маршруту комплектувальника.

Дана мета досягається шляхом вирішення наступних завдань:

- 1) проаналізувати основні проблеми, що виникають при організації процесу комплектації на підприємстві «КАЗ»;

2) застосувати існуючі методи для вирішення досліджуваних проблем підприємства, а саме побудувати математичну модель комплектації замовлень з використанням таксономічної міри привабливості (TMAL) на основі ABC-розподілу розміщення деталей.

3) розробити веб-додаток для формування замовлень і побудови маршрутів;

4) побудувати маршрути, використовуючи евристичні методи маршрутизації, а саме: S-Shape, Combined, Midpoint, Return;

5) розробити практичні рекомендації вдосконалення складської діяльності підприємства.

В якості теоретичної бази роботи були використані праці вітчизняних та зарубіжних вчених, таких як Старікова Л.Н. [1], Кашнікова І.В. [2], Мішина Л.А. [3], Пензев В. [8], Ілесалієв Д. І. [12], Коровяковский С. К. [13], Щетиніна І.В.[14], Коробков Є.В. [16], Морковина С.С. [18], Tarczyński G. [19], Кулаковська І.В. [25], Sánchez González D. [26] та інші.

**Гіпотеза дослідження.** Вдосконалення організації процесів на складі, а саме: розташування стелажів, розподілу товарів за ABC методом з врахуванням таксономічної міри привабливості (TMAL) і застосуванням евристичних методів маршрутизації, забезпечать безперебійне і ритмічне виконання замовлень, що в свою чергу підвищить не тільки ефективність роботи всього складського комплексу, а й діяльність всього підприємства ДП «КАЗ» загалом.

**Науково-практична новизна** дипломної роботи полягає в поєднанні таксономічної міри привабливості місцеположення (TMAL) та евристичних підходів до побудови маршруту руху комплектувальника. Запропоновано підхід «Warehouse», застосування якого дозволяє оптимізувати основні процеси складської діяльності.

Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку джерел посилання і додатків.

В першому розділі розглянуто теоретичні основи та процеси складської діяльності на підприємствах. Проаналізовано останні публікації і дослідження в

результаті чого визначено основні проблеми організації процесу комплектації на складі підприємства. Обрано методи за якими буде здійснюватися розташування стелажів та розподіл товарів на складі.

У другому розділі розглянуто математичну модель комплектації замовлень. Проаналізовано існуючі методи оптимізації, а також запропоновано варіацію класичного вимірювача синтетичного підходу для вибору місця, яке необхідно відвідати. За підсумками другого розділу обрано методи, які найкращим чином відповідають діяльності підприємства і дозволяють вирішити виявлені недоліки на складі.

У третьому розділі обрані методи застосовуються для вирішення досліджуваних проблем підприємства, а саме запропоновано Flying-V розташування на основі якого розраховано ABC-метод. Побудовано евристичні маршрути на основі таксономічної міри привабливості (TMAL). Розроблено власну концепцію, застосування якої дозволяє оптимізувати один із найголовніших процесів - комплектацію замовлень. На основі результатів сформовані практичні рекомендації, щодо вдосконалення складської діяльності підприємства.

#### **Публікація та апробація результатів дослідження.**

За темою роботи опубліковано:

1) Статтю (Додаток А) – Кучерук О. Я. Таксономічна міра привабливості місцеположення в оптимізації процесу комплектації замовлень / О. Я. Кучерук, О. І. Злотаренчук // Проблеми системного підходу в економіці. – 2020. – № 5.

2) Тези (Додаток Б) – Злотаренчук О. І., Кучерук О. Я. Сучасні підходи до організації маршрутів комплектації замовлень на складі. Збірник наукових праць за матеріалами XI всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2020» – Хмельницький: ХНУ, 2020.

# 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ СКЛАДУВАННЯ І КОМПЛЕКТАЦІЇ ЗАМОВЛЕНЬ НА ПІДПРИЄМСТВІ

1.1 Комплектація замовлень як одна з основних операцій технологічного процесу складу

Господарську діяльність підприємства неможливо уявити без функції зберігання, а саме без складу. Така велика потреба в складах пояснюється тим, що вони слугують не тільки для зберігання товарних запасів, але і для подолання тимчасової і просторової різниці між виробництвом і споживанням продукції, для забезпечення безперервної роботи виробничих цехів на підприємстві [1].

Склади (*storages*) – це будівлі і споруди, призначені для приймання, розміщення і зберігання товарів, а також підготовки їх до споживання і відпуску споживачу [2].

Мішина Л.А. розглядає склад як технічно складну оснащену споруду, яка складається з взаємопов'язаних елементів, задіяних у формуванні, обробці і розподілі вантажів між споживачами [3].

Кашнікова І. В. дає наступне визначення складу – комплекс зі своєю інфраструктурою, до якої входять інженерні комунікації, транспортні шляхи всередині складу (бази), будівлі, відкриті майданчики, навіси, естакади для розміщення матеріалів, що зберігаються, під'їзні шляхи зовнішнього транспорту, адміністративні та побутові споруди [2].

Ложечник Є. А трактує більш сучасне поняття «склад» і розглядає складський комплекс не тільки як місце для зберігання запасів продукції, а як об'єкт інфраструктури, який забезпечує ефективну обробку і рух матеріальних ресурсів [4].

Виходячи з представлених визначень можна зробити висновок, що склад являє собою велику, складну, відкриту систему зі своїми взаємозв'язками і внутрішніми процесами. Основне та першочергове призначення складу – концентрація запасів, їх зберігання, а також своєчасне забезпечення виробництва

необхідними матеріалами та комплектуючими для здійснення безперервного і ритмічного виробничого циклу.

Графічно структуру складу промислового підприємства можна представити за допомогою топологічної схеми (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Графічна модель складу [5]

Основні операції технологічного процесу на складі представлені на рис. 1.2.

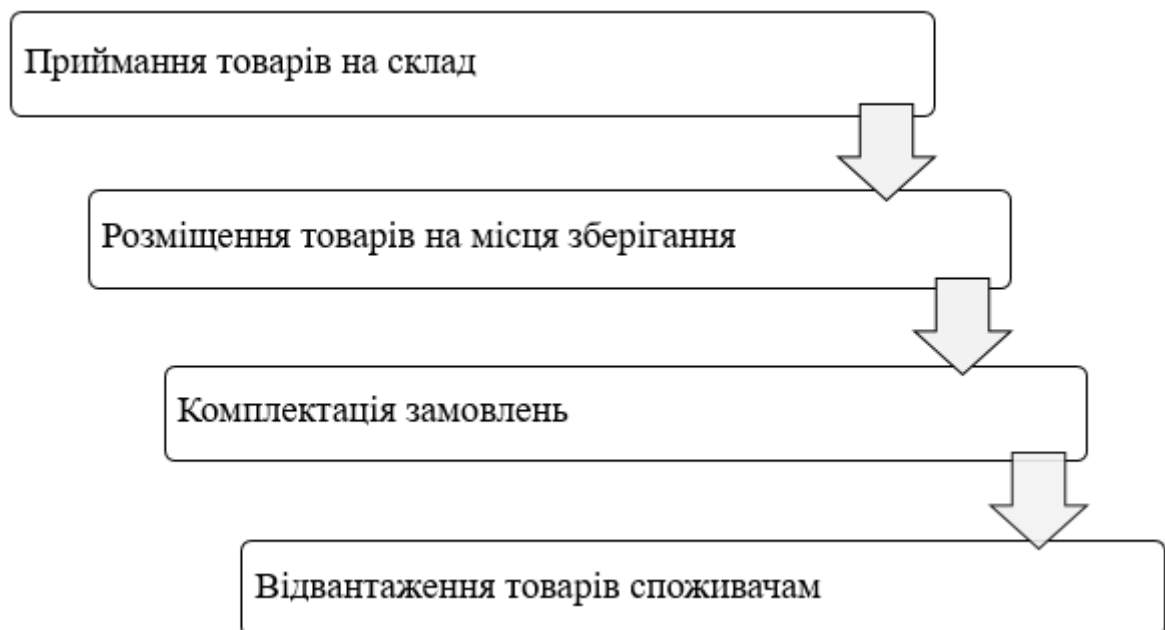


Рисунок 1.2 – Основні операції на складі [6]

Серед складських операцій можна виділити комплектування замовлень як найбільш важливий і трудомісткий процес, на який припадає близько 55% загальних експлуатаційних витрат на складі (рис. 1.3).

Комплектування замовлень (*order picking*) – це процес отримання товарів або одиниць складського зберігання (*Stock Keeping Unit, SKU*) зі складських місць зберігання для задоволення замовлень клієнтів [7].

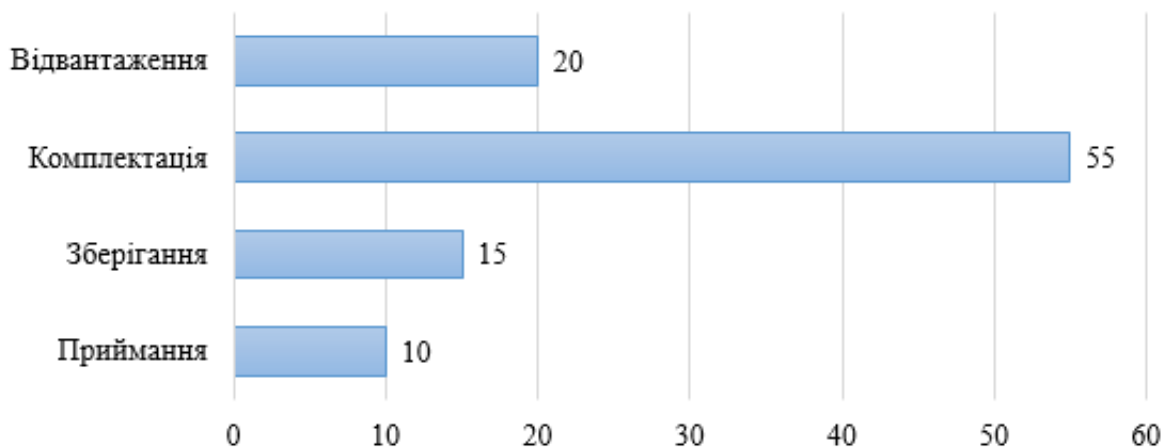


Рисунок 1.3 – Розподілення витрат на складі по операціях (% річних експлуатаційних витрат) на типовому підприємстві [8]

Саме комплектація замовлень визначає ефективність роботи всього складського комплексу, основним завданням якого є надання максимально широкого спектра послуг. Замовлення клієнта повинно бути виконано в мінімальний час і з максимальною точністю – саме два цих показника є найважливішими критеріями оцінки процесу комплектації на складі. Тому від того, наскільки добре організований процес комплектації замовлень, залежить рівень обслуговування клієнтів. Високий рівень сервісу сприяє підтримці лояльності існуючих і залучення нових клієнтів, збільшення числа замовлень, а отже, і зростання прибутку підприємства чи компанії [7].

Існує дві системи виконання технологічних операцій по комплектації: «людина до товару» (*Men-to-Goods*) і «товар до людини» (*Goods-to-Man*). Система «товар до людини» є повністю автоматизована, на відмінну від «людина

до товару», яка заснована на тому, що комплектувальник рухається по складу і на основі сформованого замовлення збирає необхідні позиції товару.

Якщо ж розглядати організацію процесу комплектації зсередини, то, як показує практика, на типовому підприємстві до 40% часу і зусиль комплектувальника йде на переміщення між стелажми для збору товару, а 30% – на роботу з складальними листами. Приклад розподілення часу комплектувальника протягом дня представлений на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Розподілення часу комплектувальника протягом дня, % [8]

На рис. 1.4 видно, що під час комплектації замовлення час переміщення по складу становить приблизно половину загального часу збору товарів, тому оптимізація цього процесу надзвичайно важлива.

Для оптимізації роботи складу розробляють ефективні алгоритми руху, та організують таким чином, щоб забезпечити мінімальну траєкторію руху при комплектуванні товарів, тому що зайві переміщення призводять до втрат часу і відповідно до збільшення тривалості виробничого циклу, що негативно позначається не тільки на конкурентоспроможності продукції, а й на репутацію безпосередньо самого підприємства. Плеханова Г.В. пропонує формувати маршрут комплектувальника використовуючи наступні загальні правила [9]:

1) маршрут комплектувальника повинен проходити по найкоротшому шляху та виключати зайві переміщення;

2) напрямок руху комплектувальника з підручними механічними засобами у вузьких проходах повинен бути паралельним;

3) напрямок руху комплектувальника і транспортних засобів повинен бути зустрічним згідно з правилами техніки безпеки. При інтенсивному русі навантажувача (більше 1 разу за 10 хвилин) ширина проїзду повинна дозволяти безперешкодний рух комплектувальника під час збору товару;

4) початок і закінчення маршруту комплектувальника повинні бути також оптимально зорієнтовані щодо місця розташування зони експедиції відвантаження;

5) інформаційна система управління складом повинна дозволяти будувати маршрут комплектувальника незалежно від позначення місць зберігання на складі. Якщо частина позицій замовлення підлягає комплектуванню з усіх ярусів зони відбору, в тому числі і важкодоступних, необхідно збір з важкодоступних ярусів виділити в окреме замовлення. Під важкодоступними маються на увазі верхні яруси стелажів, товар з яких комплектувальник може відібрати тільки за допомогою допоміжних засобів або механізмів. Таким чином, комплектувальник двічі проходить за маршрутом, спочатку відбираючи товари з нижніх ярусів, а потім відбирає товари з верхніх ярусів, наприклад, користуючись драбиною, в наслідок чого загальний час на відбір товару на замовлення збільшується;

б) маршрут комплектувальника слід виконувати відповідно до послідовності збору товару за одним замовленням в листі комплектації.

Звичайний процес комплектації замовлень відбувається наступним чином (рис.1.5):

1) процедура комплектації починається з отримання складального листа, в якому зазначаються товари, які необхідно зібрати. Обов'язковий пункт, який повинен бути зазначений в документі – розташування товарних позицій відповідно до розміщення продукції на складі;

2) складання маршрутної карти. В роботі більшості складів ця процедура не використовується зовсім, проте оптимально продуманий шлях руху

комплектувальника дозволяє істотно скоротити час на складання замовлення. Критерієм складання маршрутної карти буде не тільки знаходження розміщення товару відповідно до його розташування на складі, а й врахування принципу «товарного сусідства»;

- 3) збір товару з місця зберігання;
- 4) комплектація зібраного замовлення.

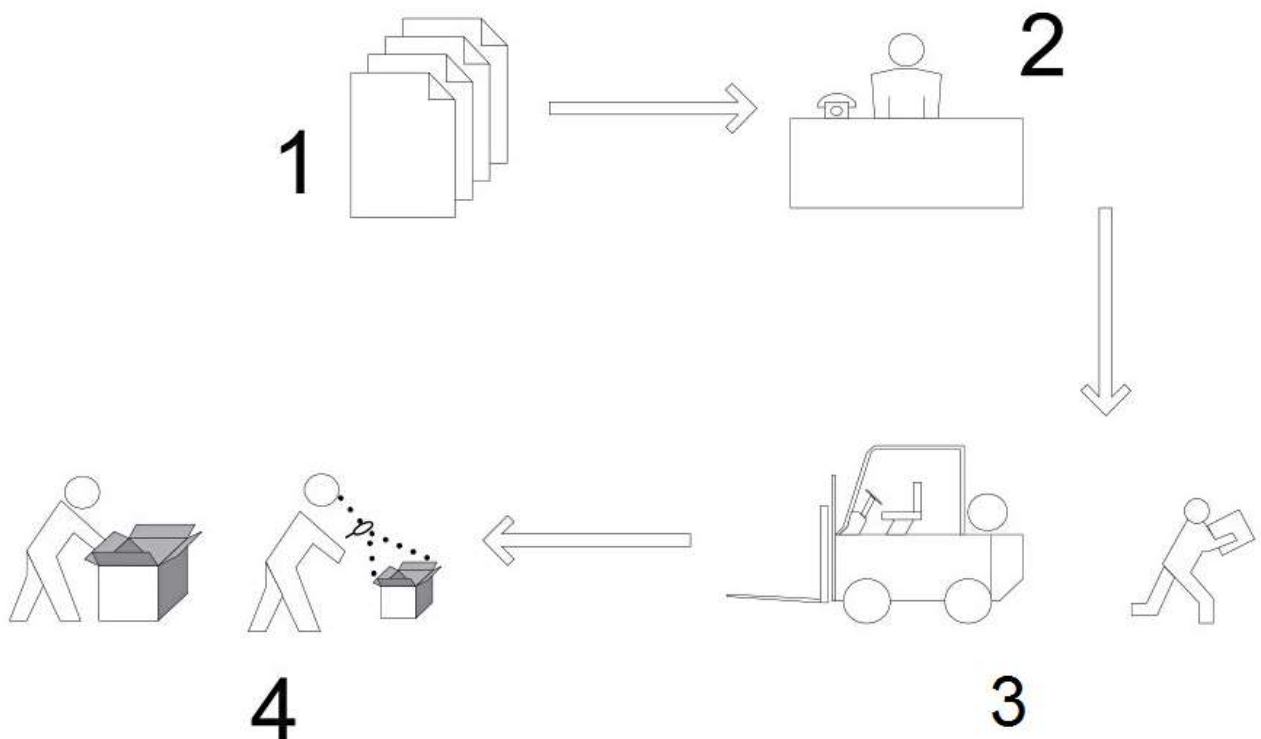


Рисунок 1.5 – Комплектація замовлень [8]

Також важливим фактором є те, яка система зберігання товарів використовується на складі. Для ефективного використання складської площі більшість підприємств використовує стелажну систему.

Стелаж – багатоярусна конструкція, яка призначена для зберігання різних товарів. Як правило використання стелажної конструкції збільшує площі вільного простору та дозволяє підібрати систему зберігання під будь які параметри.

Слот (*slot*) є загальним терміном для будь-якого з різних типів ідентифікованих місць зберігання, наприклад, стелажі (*racks*), ящики (*bins*).

Кожна комбінація «слот-товар» характеризується ємністю, тобто кількістю одиниць товару, які можуть зберігатися у відповідному слоті [10].

Приклад зберігання слотів у стелажі представлено на рис.1.6.

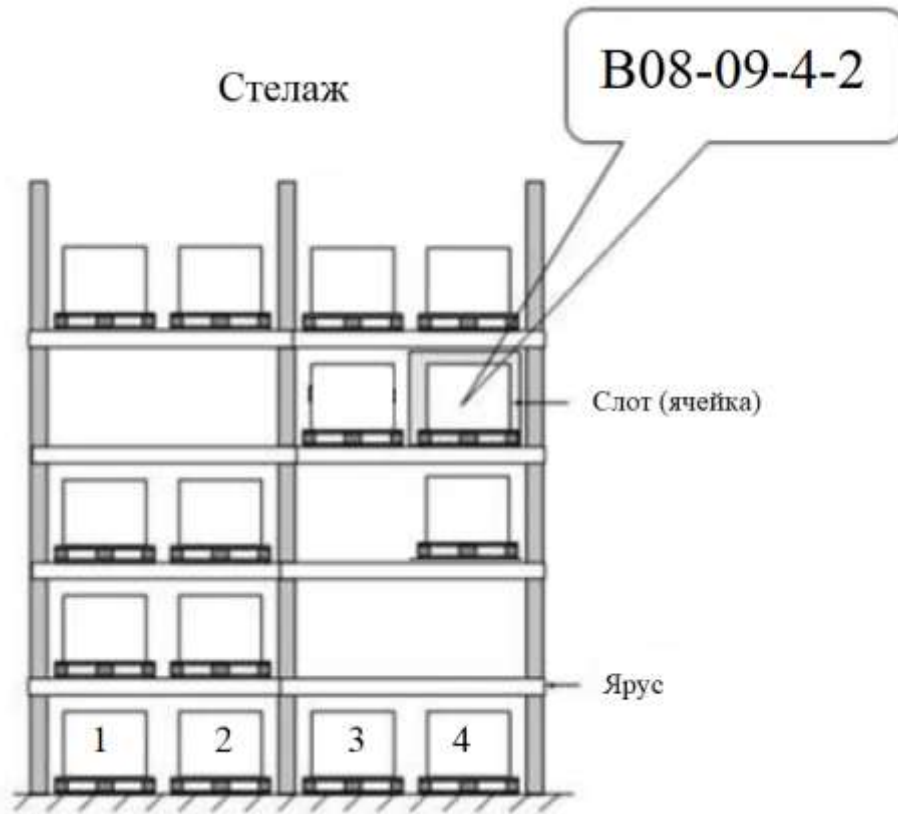


Рисунок 1.6 – Приклад стелажа з слотами [11]

Як правило, стелажі та поздовжні алеї на складах розташовані перпендикулярно один одному, як показано на рис. 1.7.

Алея (*aisle*) – це частина складального проходу всередині одного блоку [10].

Традиційне розташування стелажів має свої переваги в чисельності місць, призначених для зберігання товарів, але також має і недоліки внаслідок збільшення експлуатаційних витрат, пов'язаних з відстанню пересування вантажно-розвантажувальних машин від місць навантаження і розвантаження до місць зберігання [12].

Враховуючи недоліки традиційного розташування дослідники пропонують зробити радикальні зміни схеми розміщення алеї і стелажів.

Однією з нестандартних схем розташування є Flying-V схема розміщення проходів, яка має вигнутий поперечний прохід, що дозволяє зменшити відстань, яку проходить за повний цикл підйомне-транспортне обладнання від місць вантажно-розвантажувальної ділянки до місць зберігання вантажів. Flying-V схема представлена на рисунку 1.8, а. Одним з недоліків такої схеми є те, що підйомне-транспортне обладнання необхідно розвертати з крутим кутом повороту при вході в нижню частину складу. Для усунення цього недоліку варто розгорнути нижню частину поперечно щодо основної частини складу, як це показано на рис. 1.8, б [13].

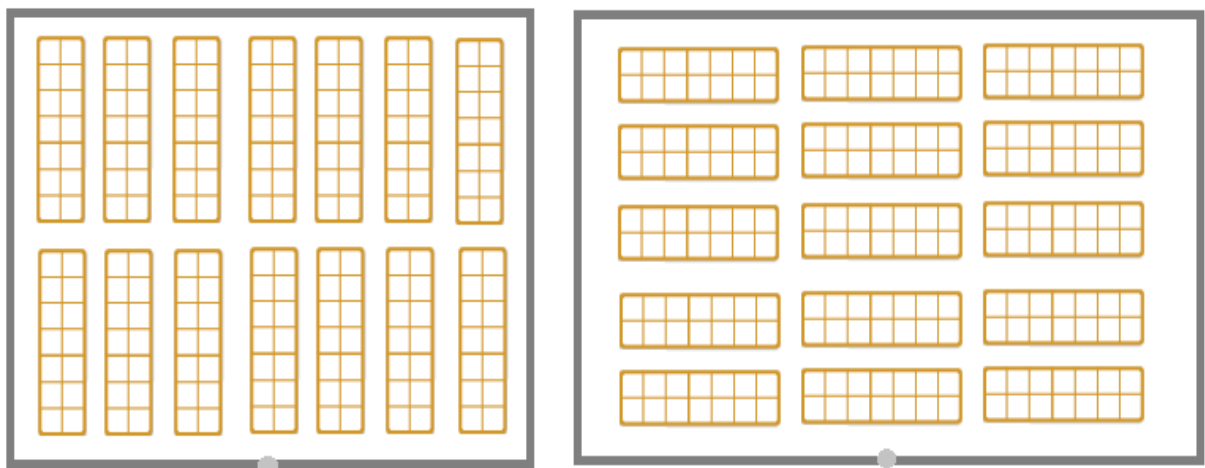


Рисунок 1.7 – Традиційне розташування складів [13]

Дослідження і практика доводять, що Flying-V розстановка економить 15% – 20% на транспортуванні [14].

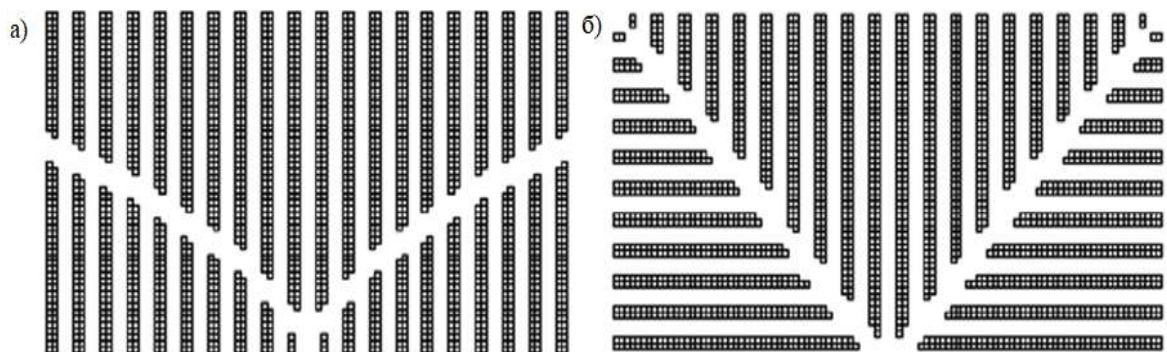


Рисунок 1.8 – Схеми розташування алей і стелажів [12]:

а – Flying-V розташування проходів; б – ялинковий тип розташування стелажів

Зазвичай при використанні Flying-V методу склад має прямокутну форму і єдину точку введення / виведення, розташовану в нижній середній частині складу, а проходи та стелажі мають однакову ширину.

Позначення, які використовуються при обрахунках (рис.1.9):  $S_1$  – площа нижньої половини;  $S_2$  – площа верхньої половини;  $l_1$  – ширина проходу;  $l_2$  – ширину слоту;  $\alpha$  – кут нахилу складу;  $\alpha_0$  – представляє праву половину діагонального кута складу;  $r$  – ефективне використання площі [15].

Якщо кути дорівнюють 0 або  $\pi/2$ , то макет V-типу – традиційний макет складу (рис.1.9).

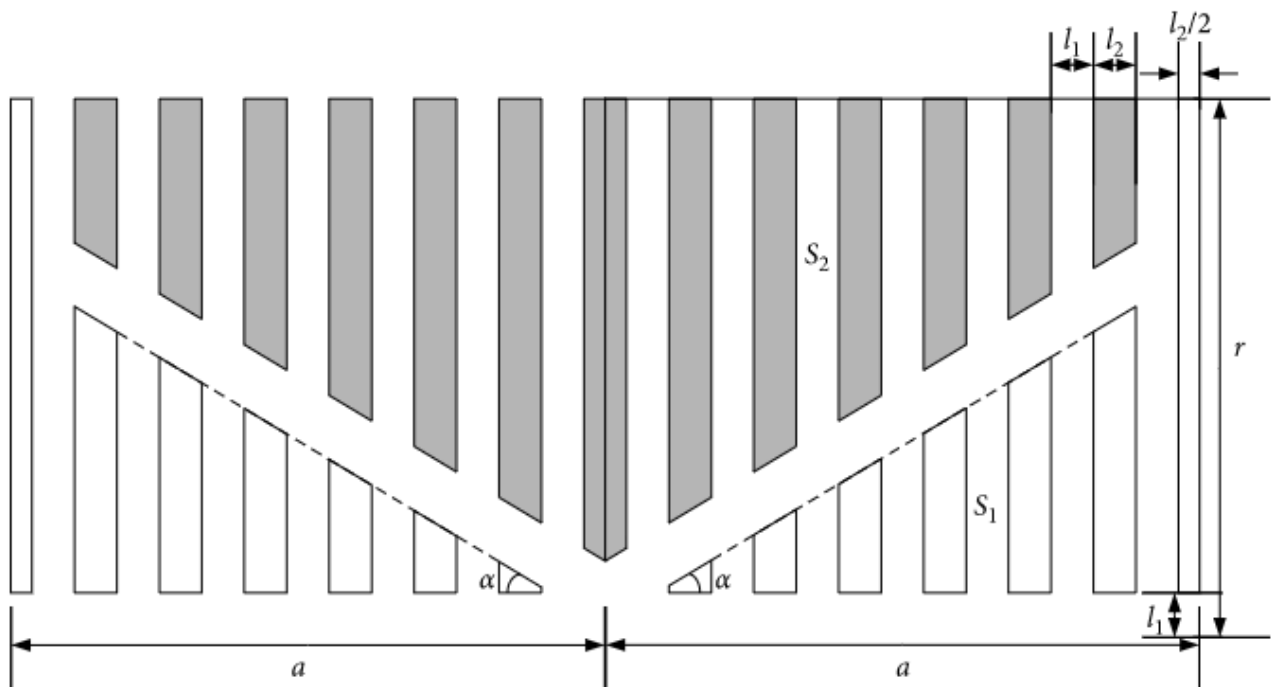


Рисунок 1.9 – Розташування за Flying-V методом [15]

Якщо  $\alpha_0 \leq \alpha \leq \pi/2$  (рис.1.10), то кількість проходів у правій половині області дорівнює (1.1):

$$n = \left[ \frac{a}{l_1 + l_2} \right] \quad (1.1)$$

Округлення кількості алей, що існують на довжині  $f_0$  (1.2):

$$n' = \left[ \frac{f_0 - (l_2/2)}{l_1 + l_2} \right] = \left[ \frac{2f_0 - l_2}{2(l_1 + l_2)} \right] \quad (1.2)$$

Довжина нижньої сторони першої трапеції становить (1.3):

$$r_0 = r - 2l_1 - l_1 = r - 3l_1. \quad (1.3)$$

Довжина верхньої сторони першої трапеції становить (1.3):

$$r_1 = r_0 - \frac{l_2}{2 \tan \left( \left( \frac{\pi}{2} \right) - \alpha \right)} = r_0 - \frac{l_2}{2 \cot \alpha} = r - 3l_1 - \frac{l_2}{2 \cot \alpha} \quad (1.4)$$

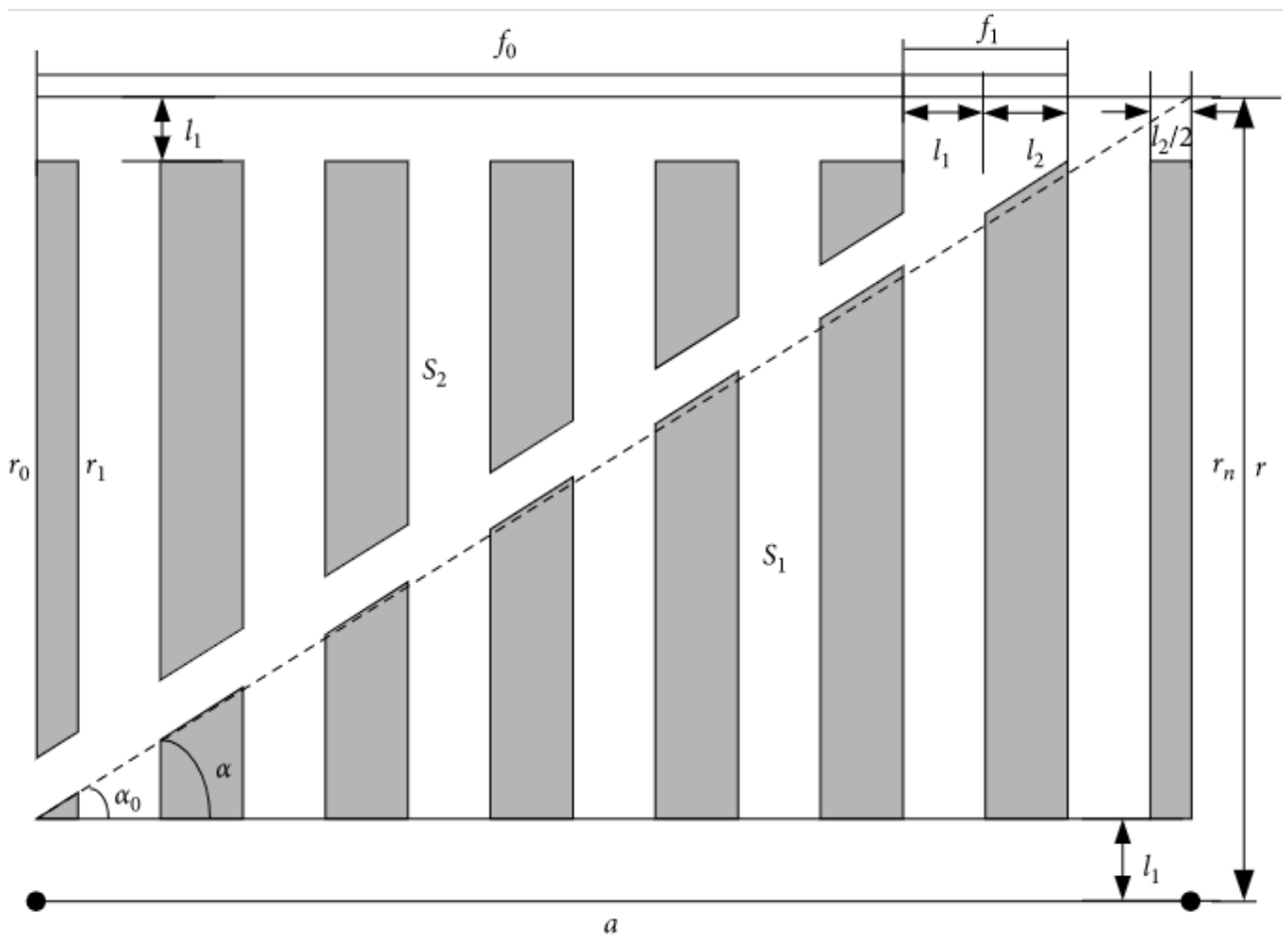


Рисунок 1.10 – Основні області для вимірювання [15]

Отже, площа першої трапеції розраховується за формулою (1.5):

$$S_f = \frac{1}{2}(r_0 + r_1) * \frac{l_2}{2} = \frac{1}{4} \left( 2r - 6l_1 - \frac{l_2}{2 \cot \alpha} \right) l_2 \quad (1.5)$$

Пройдена відстань розраховується за формулою (1.6):

$$S_f = n \cdot l_2 \frac{l_1}{\cos \alpha} \quad (1.6)$$

Площа решти трапецієподібної частини становить (1.7):

$$S_r = n \cdot (r - 2l_1)l_2 - n \cdot l_2 \frac{l_1}{\cos \alpha} = n'l_2 \left[ r - l_1 \left( 2 - \frac{1}{\cos \alpha} \right) \right] \quad (1.7)$$

Площа останнього прямокутника дорівнює (1.8):

$$S_b = \frac{(r - 2l_1)l_2}{2} \quad (1.8)$$

Нижня половина площі (1.9):

$$S = S_f + S_b + S_r = l_2 \left[ r(1 + n') - \left( \frac{5}{2} + 2n' - \frac{1}{\cos \alpha} n' \right) l_1 - \frac{l_2}{8 \cot \alpha} \right] \quad (1.9)$$

Отже, коефіцієнт використання площі розраховується за формулою (1.10):

$$R = \frac{S}{S_l} = \frac{l_2 \left[ r(1 + n') - \left( \left( \frac{5}{2} \right) + 2n' - \left( \frac{1}{\cos \alpha} \right) n' \right) l_1 - \left( \frac{l_2}{8 \cot \alpha} \right) \right]}{\text{ar}} \quad (1.10)$$

Схема розміщення стелажів при стандартній розстановці і при розстановці за допомогою методу «Flying-V» представлена на рисунку 1.11.

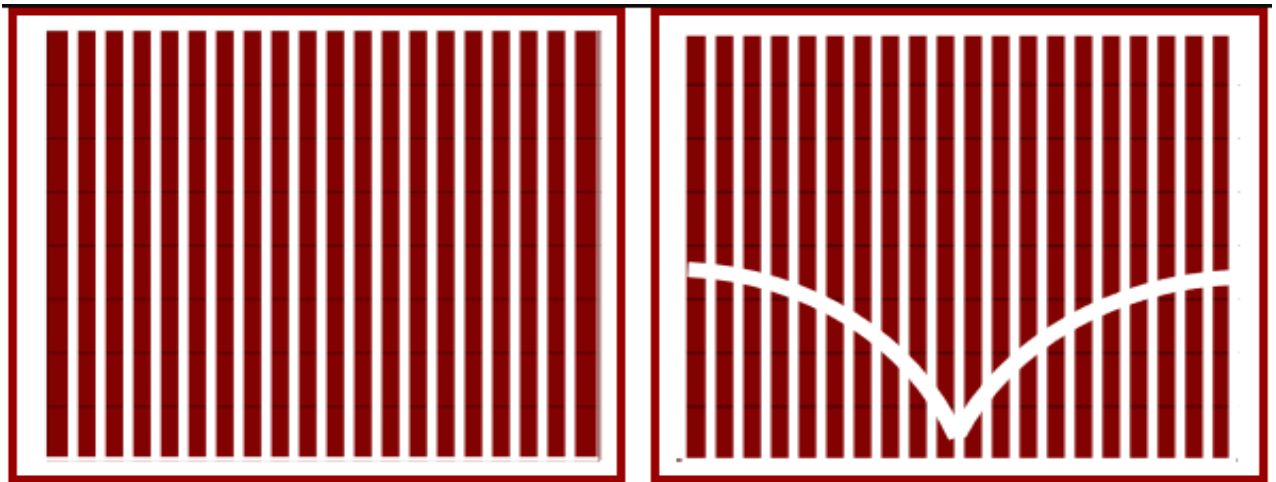


Рисунок 1.11 – Схема розміщення стелажів при стандартній розстановці і при розстановці за допомогою методу «Flying-V» [14]

Реалізацію даного нетрадиційного методу розташування проходів використовує розподільчий центр Generac Power Systems в м. Вайтвотер.

## 1.2 Аналіз останніх досліджень і публікацій в області складування

В даний час жодне підприємство не зможе повноцінно працювати без наявності одного із найважливіших елементів логістичної системи – складу. У зв'язку з цим аналіз останніх публікацій і досліджень в області складування необхідний для ефективної організації складу.

Вагомий внесок у дослідження теоретичних основ та проблем складської діяльності підприємств, зокрема функціонування складського господарства присвячено роботи багатьох зарубіжних і вітчизняних вчених, зокрема: Кашнікова І.В. [2], Мішина Л.А. [3], Коробков Є.В. [16], Морковина С.С. [18], Кулаковська І.В. [25], Старікова Л.Н. [1], Щетиніна І.В.[14], Пензев В. [8], Родіонова В.Н. [14], Ілесалієв Д. І. [12], Коровяковский Є. К. [13] , Sánchez González D. [26]. У їхніх працях описана важливість організації складських процесів на підприємстві.

Питанням оптимального зберігання товарів присвячена велика кількість робіт, проте «нестандартні» схеми розташування проходів між стелажимами в

науковій літературі розглядалися вкрай рідко. В останні роки експерти та науковці у всьому світі провели значну дослідницьку роботу з вивчення нових макетів складів. Ілесалієв Д. І. [12; 13] показав як розміщення стелажів на складах впливає на скорочення експлуатаційних витрат. Методи дослідження базуються на аналізі існуючих способів проектування складу тарно-штучних вантажів. Як правило, стелажі та поздовжні алеї розташовуються перпендикулярно один одному. Коровяковский Є. К. та Ілесалієв Д. І. [13] запропонували радикальну зміну схем розміщення стелажів на складі з евклідовою перевагою і вперше в науковій літературі виконали числові розрахунки подібного складу.

Висвітленню проблеми складської системи підприємства присвячена праця Коробкова Є. В. [16]. У праці увага приділяється розгляду комплектування замовлень з різних аспектів. Наприклад, наслідками помилок при комплектації замовлення є: невірне вилучення з складських комірок, які були підготовлені для комплектації інших замовлень; при відборі переплутані товари; відбір невірної кількості товару; комплектація замовлення була виконана з великим запізненням; низька якість обслуговування клієнтів. Автор констатує, що такі підзадачі комплектування замовлень як проектування планування складу, розподіл товарів по зоні зберігання, групування замовлень по партіях, сортування потребують подальшого вивчення.

Рудницька О. [17] у своїй праці детально розглянула принципи функціонування складського господарства. Авторка розкрила сутність методів ідентифікації товарів на складі, що є необхідним інструментом обліку товарних запасів на складі торговельних підприємств у процесах їх приймання та наступного руху. Висвітлила різні типи і види складських систем, які залежать від умов зберігання товарів, характеру праці тощо. Розглянула недоліки і переваги системи складування, а також приділила особливу увагу методам управлінського обліку товарів у місцях їх зберігання.

Авторами Морквиною С. С. [18] і Van Heerden [19] на основі ABC-аналізу продемонстровано як оптимізувати господарські процеси та організаційну

структуру на фоні виконання розробленої стратегії відповідно до потреб споживачів, враховуючи можливості торговельних підприємств.

Досліджуючи проблеми на складі вчені наводять аналогії завдання маршрутизації комплектування замовлень на складі з формулюванням задачі комівояжера, наводять причини, за якими на практиці використання точних оптимальних алгоритмів замінюється використанням евристики, а також представлені формулювання евристичних методів маршрутизації збирачів замовлень на складі. Дані евристичні методи маршрутизації розглядаються в роботах Коробкова Є. В. [20], Tarczyński G. [6], Sabo-Zielonka [21], Szada-Borzyszkowska [22].

Основними цілями багатьох публікацій [6; 19; 20] було визначення найкоротшої відстані маршруту на складах з двома або більше проходами, а також з підходом динамічного програмування.

Аналіз досліджень вчених Ілесалієва Д. І. та Коровяковського Є. К. показав, що недостатньо обґрунтовані теоретичні аспекти розташування стелажів на складі підприємства зумовлюють актуальність розкриття цього питання більш детально і потребують вдосконалення схем розташування стелажів на складі.

Віддаючи належне напрацюванням вчених, слід зазначити, що залишається ще чимало питань, які потребують подальших досліджень, одним із яких є організація складських процесів комплектування товарів на складах підприємств.

Провідні спеціалісти таких компанії як Amazon і Generac Power Systems й досі використовують і запроваджують на своїх складах різноманітні методи для вдосконалення складських процесів, що підтверджує актуальність і потребу в подальшому дослідженні даної сфери.

### 1.3 Методи оптимізації розміщення товарів і комплектації замовлень

Товар (або одиниця складського обліку, *Stock Keeping Unit, SKU*) повинен бути розміщений в місце зберігання перед тим, як він буде використаний для комплектування замовлення. Метод розподілу (*storage assignment method*) – це набір правил, які використовуються для розподілу товарів по слотах зберігання. Виділяють наступні методи розподілу [16]:

#### 1.3.1 Випадковий розподіл (*random storage assignment*)

Розміщення товарів, які надходять на склад, відбувається за принципом – товар розташовують на будь-яке вільне, пронумероване для зберігання місце. Всі численні операції приходу і витрат по нумерованих місцях зберігання враховуються в системі. Приклад розподілу товарів за випадковим розподілом представлений на рис.1.12.

A	C	C	B	B	C	A	C	C	B
B	A	C	B	A	C	B	A	C	C
A	C	C	B	B	C	A	C	C	C
C	C	C	B	C	C	C	B	C	A
B	B	C	C	A	C	A	C	B	C
C	B	A	B	C	C	C	C	C	B
B	C	B	C	C	B	C	A	B	C
A	B	C	A	A	C	C	B	C	B

Рисунок 1.12 – Розміщення товарів за випадковим розподілом [19]

Основні переваги такого методу зберігання полягають у тому, що він не вимагає трудовитрат і додаткового часу на постійне проведення асортиментного аналізу по оборотності і затребуваності товару при комплектації, а також дозволяє максимально ефективно використовувати складські площі. Крім того, один і той самий тип деталі може зберігатися в різних місцях.

До недоліків цього методу слід віднести складність пошуку товару на складі, особливо при великій кількості найменувань (від тисячі і більше), в разі виникнення помилок обліку (збоїв в інформаційній системі). Також недоліком є суттєва залежність від конкретного комплектувальника, який володіє інформацією про перебування товару.

### 1.3.2 Виділений розподіл (*dedicated storage assignment*)

При використанні даного методу, товар, який надходить на склад розміщують тільки в ті місця, які належать до області зберігання відповідної товарної групи. Для мінімізації пройденої відстані найбільш близькі до бази місця, як правило, резервуються для товарів з високим попитом і низьким зайнятим простором при зберіганні. Одним із видів даного розподілу є метод з використанням індексу COI (*Cube per order index*), який визначається відношенням між простором, що займає товар при зберіганні, і частотою замовлень, що містить даний товар.

Процес розподілу товарів згідно з методом COI ділиться на три етапи:

- 1) ранжування слотів на підставі їх відстані від точки відвантаження в порядку збільшення;
- 2) ранжування товарів за показником COI в порядку збільшення;
- 3) зв'язування відповідних слотів і товарів.

Якщо кількість локацій відведених для кожного товару однакова, то модель COI спрощується до звичайного переміщення найбільш популярних товарів ближче до точки відвантаження. Метод COI відмінно підходить для однозадачних маршрутів і мінімізує час виконання замовлення, так як комплектувальник починає свій маршрут із зони відвантаження, забирає необхідний товар і повертається назад. Основні переваги цього методу – «прозорість» розміщення товару на складі і можливість швидкого розподілу товару, що надходить.

### 1.3.3 Розподіл по класах (*ABC storage assignment*)

На сьогоднішній день ABC-аналіз є найбільш популярним інструментом для класифікації складських запасів за ступенем їх важливості. Метод заснований на принципі 80/20, який був виведений в 1906 році італійським економістом і соціологом Вільфредо Парето. На основі досліджень економічних процесів йому вдалося розробити математичну модель, яка формується наступним чином: лише 20% всіх товарів дають 80% обороту [18].

Товарні запаси поділяються на три категорії [3]:

A – найбільш цінні: 20% товарних запасів, 80% продажів;

B – проміжні: 30% товарних запасів, 15% продажів;

C – найменш цінні: 50% товарних запасів, 5% продажів.

За результатами ABC-аналізу будується графік залежності сукупного ефекту від кількості елементів (рис.1.13).

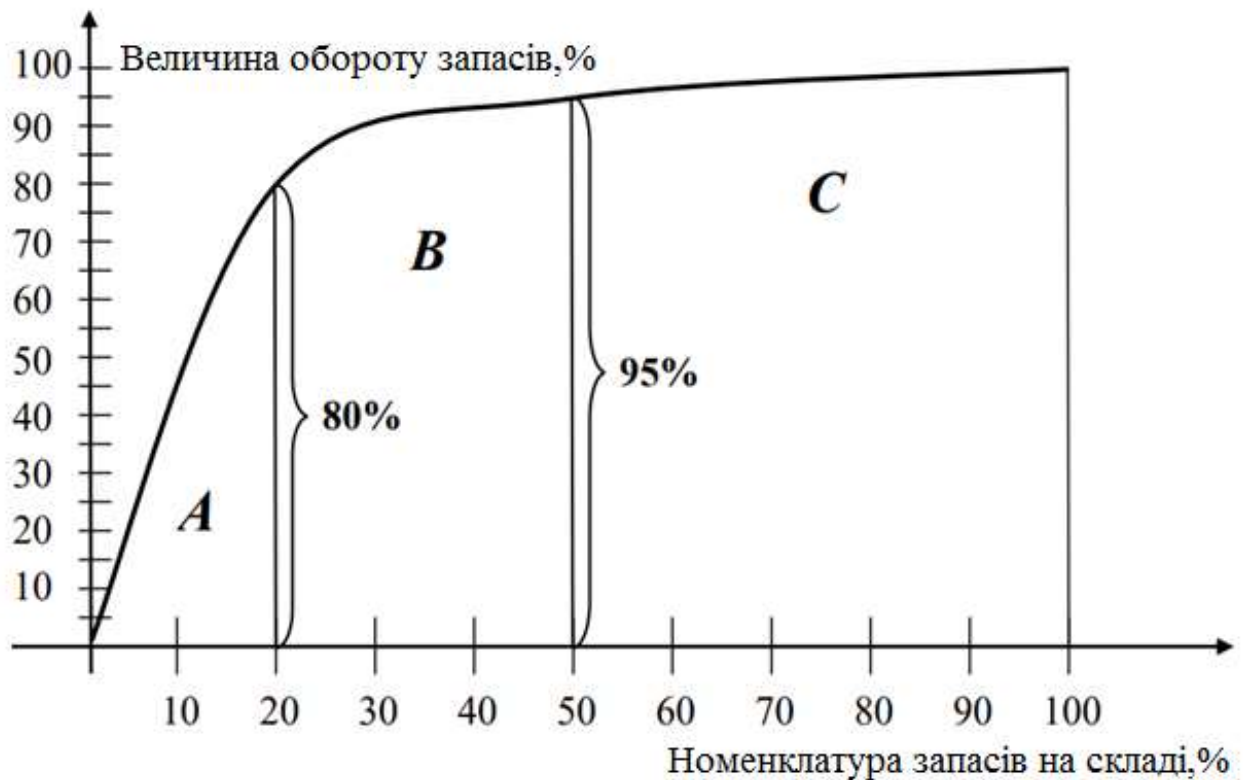


Рисунок 1.13 – Приклад розподілу товарів за класами [23]

Такий графік називається кривою Парето, кривою Лоренца або АВС-кривою. Ідея Парето полягає в тому, щоб згрупувати товари таким чином, щоб найбільш ходовий товар (А-класу) містив близько 20% товарів від загального числа, але становив близько 80% від усього обороту [16].

З рис. 1.13 можна зробити висновок, що товари груп А і В забезпечують основний товарообіг, тому дану продукцію рекомендується розташовувати поблизу «гарячих» ліній складу, щоб скоротити час на їх комплектацію. Товари, які використовуються не так часто, тобто товари групи С, необхідно розташовувати уздовж «холодних» зон. На рис. 1.14 представлено візуальне розташування товарів за відповідними групами, а на рис. 1.15 представлений приклад вертикального розташування з використанням транспортного засобу та з ручним керуванням.

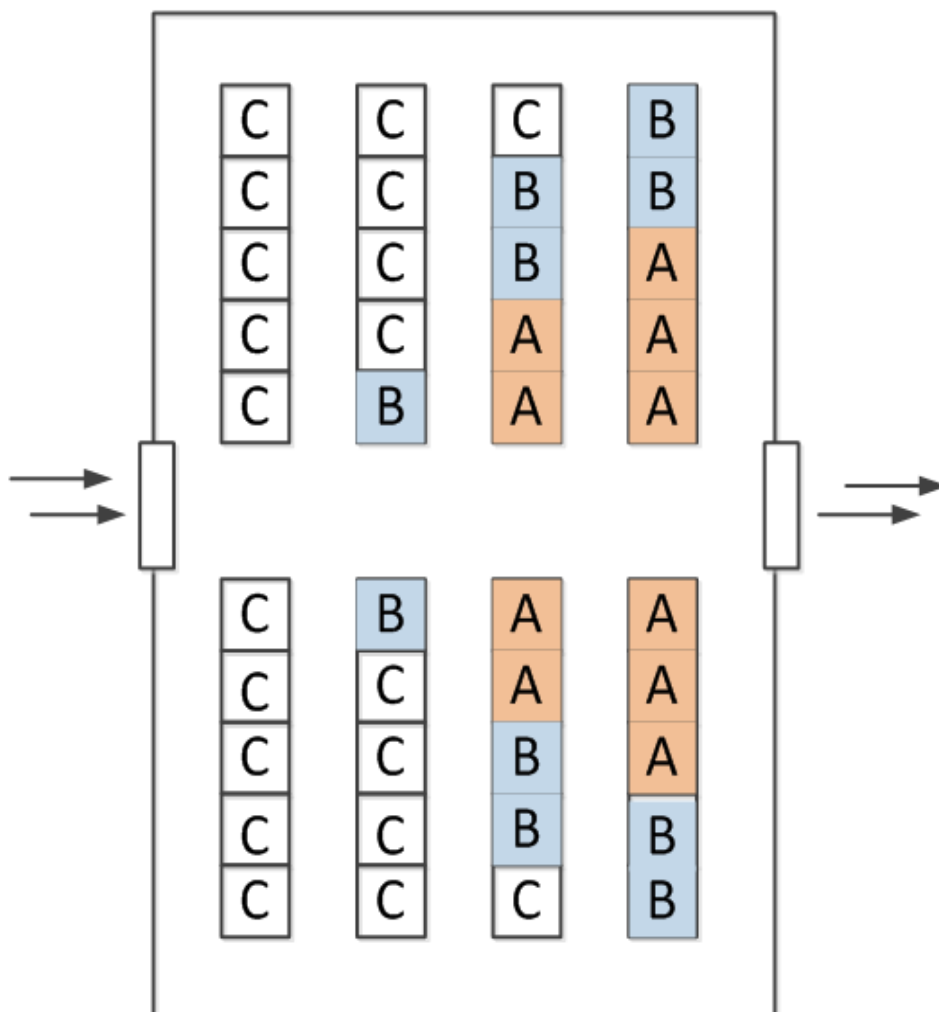


Рисунок 1.14 – Зразок розташування одиниць на складі методом АВС [24]

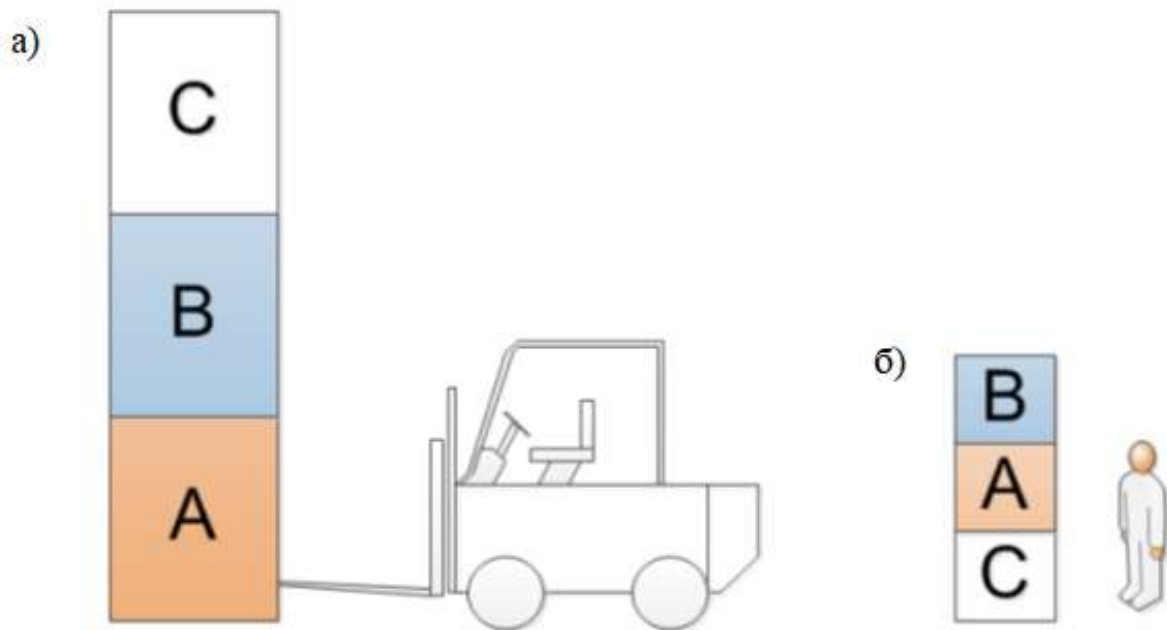


Рисунок 1.15 – Приклад вертикального розташування товарів [24]:

а) з використанням транспортного засобу, б) з ручним керуванням

Товари класу А – це нечисленні, але найважливіші товари, на які припадає більша частина грошових коштів, вкладених у запаси. Розміри запасів по позиціях групи А постійно контролюють, точно визначаючи витрати, пов’язані із закупівлею, доставкою та зберіганням [25].

Товари класу В середні за вартістю товари у формуванні запасів підприємства та порівняно з групою А вимагають до себе меншої уваги. Для даної групи товарів здійснюється звичайний контроль і збір інформації про запаси, який повинен дозволити своєчасно виявити основні зміни у використанні запасів.

Товари класу С складають, як правило, більшу частину асортименту, і належать до найдешевших. На частку цих товарів припадає найменша частина всіх фінансових коштів, вкладених у запаси. Точні оптимізаційні розрахунки розміру та періоду замовлення з товарами цієї групи не виконуються. Поповнення запасів реєструється, але поточний облік рівня запасів не ведеться. Перевірка наявних запасів проводиться лише періодично, наприклад, один раз на шість місяців [25]. Загальний алгоритм проведення аналізу АВС складається з декількох етапів, які представлені на рисунку 1.16.

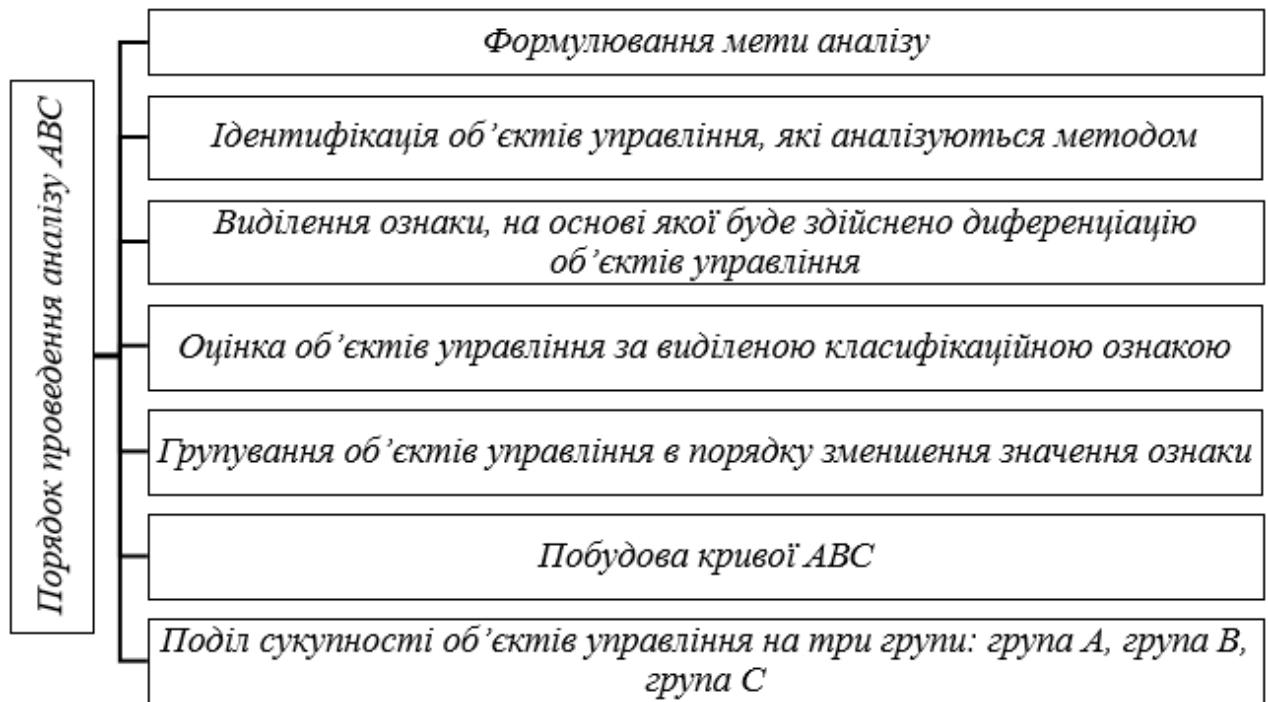


Рисунок 1.16 – Порядок проведення аналізу ABC [25]

Переваги ABC-аналізу [23]:

- 1) перша і головна перевага – це простота використання. Через простоту його легко пристосувати до різних ситуацій і навчання не вимагає багато часу.
- 2) прозорість. Будь етап аналізу можна простежити і, якщо потрібно, відкоригувати. Інтерпретація розрахунків не викликає труднощів.
- 3) універсальність. За допомогою ABC-методу можна аналізувати що завгодно, що можна розділити на складові елементи.
- 4) оптимізація ресурсів. Використання ABC-аналізу дозволяє скоротити і звільнити величезну кількість тимчасових і трудових ресурсів. Це досягається шляхом концентрації роботи над найважливішими елементами і, навпаки, економією ресурсів на менш пріоритетних складових.
- 5) автоматизація. Можна проводити розрахунки як в Excel, так і в спеціалізованих програмах, наприклад, Power BI, Deductor.

### 1.3.4 Розподіл в найближчу вільну комірку (*closest-open-location storage assignment*)

Відповідно до даного методу товар, який надходить, розподіляється в найближчий вільний слот. Близькість визначається відстанню від пункту прийому чи відвантаження товарів або бази (*input / output point, depot*) до місця зберігання. Даний метод легкий у використанні і співробітники складу мають можливість самі вибирати місце зберігання товару. В результаті чого, товари не прив'язані до певного місця розташування і в довгостроковій перспективі виявляються «розкиданими» по всій зоні зберігання.

Існують різні моделі розподілу в найближчу вільну комірку (рис. 1.17):

- по діагоналі (*diagonal*);
- в межах алеї (*within-aisle*);
- через алею (*across-aisle*);
- по периметру (*perimeter*).

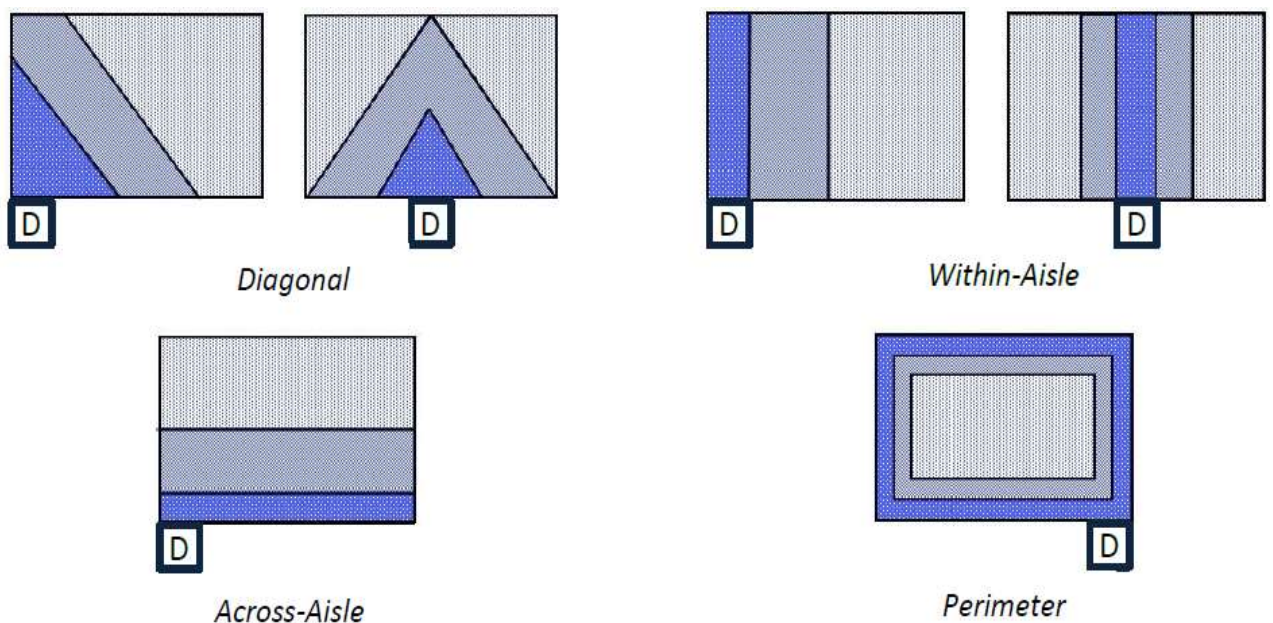


Рисунок 1.17 – Розподіл зберігання в залежності від ситуації на складі [26]

В довгостроковій перспективі розподіл в найближчу вільну комірку і випадковий розподіл сходяться один до одного.

#### 1.4 Аналіз складської діяльності державного підприємства «Красилівський агрегатний завод»

Красилівський агрегатний завод (ДП «КАЗ») – державне підприємство оборонно-промислового комплексу України, що входить до складу державного концерну «Укроборонпром» і входить до переліку підприємств, які мають стратегічне значення для економіки та безпеки України [27].

Основною спеціалізацією Підприємства є випуск агрегатів авіаційної техніки військового призначення. Проте, в зв'язку з різким зменшенням замовлень на авіаційну техніку, на Підприємстві за останні роки освоєно виробництво цивільної продукції, а саме: побутові газові опалювальні котли різних модифікацій, в тому числі, парпетні та напільні з автоматикою EVROSIT, з циркуляційним насосом та димососом; твердопаливні котли різних потужностей; твердопаливні котельні різних потужностей; побутові стелажі; конвектори нової конструкції; лампи паяльні; акумулятивні баки з утепленням; геліосистеми з акумулятивним баком під своїм брендом «КОРДІ», тощо.

Товари народного споживання реалізуються обслуговуються по всій території України. Значна частина виробленої продукції експортується до Грузії, Казахстану, Молдови, Румунії, Білорусії, Литви. Разом з тим, постійно розширюється асортимент продукції, вдосконалюються існуючі технології, застосовуються новітні розробки і матеріали, які відповідають світовим стандартам.

Для забезпечення господарської діяльності Підприємство використовує виробничі приміщення загальною площею 50,8 тис.м<sup>2</sup>., які розташовані на земельній ділянці площею 19,8279 га. На підприємстві функціонує два склади: з деталями для комплектації та з готовою продукцією.

Якісні та впізнавані котли твердопаливні українського виробництва стали затребуваними вітчизняними споживачами і зарубіжними покупцями. Продукція підприємства представлена побутовими і промисловими моделями. Завдяки

постійному удосконаленню технологій виготовлення моделі отримали своє визнання серед споживачів.

Цілі і завдання ДП «КАЗ», як підприємства, що має стратегічне значення для економіки і безпеки держави [27]:

- завоювання нових ринків збуду продукції;
- розширення асортименту продукції;
- підвищення кількості комплектацій замовлення;
- покращення фінансового та економічного стану підприємства;
- відповідність виробництва потребам ринку, що постійно змінюється;
- страхування підприємства від ризику вступу до стадії спаду життєвого циклу;
- підвищення конкурентоспроможності підприємства;
- оновлення науково-технічної бази підприємства;
- більш повне завантаження виробничих потужностей.

Отже, можна зробити висновок, що для підтримання відповідної конкурентоспроможності підприємства, існує потреба в модернізації та покращенні основних його процесів.

### 1.5 Постановка завдання

Складське господарство займає одне з важливих місць на будь якому підприємстві, оскільки безпосередньо впливає на виробничий процес. Через склади проходять більшість матеріальних цінностей, тому на них виділяється значна частина заводської території. ДП «КАЗ» реалізує товари цивільної продукції, які експортуються в різні куточки світу, тому діяльність підприємства безпосередньо залежить від ефективності функціонування складу.

Незважаючи на позитивну динаміку розвитку ДП «КАЗ» процес складування на підприємстві не можна назвати ідеальним і необхідно виділити проблемні місця в його діяльності, а саме:

- 1) неефективно використовується складська площа розташування стелажів;

2) розміщення деталей відбувається з нерівномірним навантаженням на технологічні зони;

3) витрачається багато часу на обробку замовлення;

4) використовуються застарілі методи маршрутизації збору деталей, що призводять до збільшення тривалості виробничого циклу.

Вирішення цих проблем є особливо актуальними в умовах експлуатації власного складу підприємства, оскільки правильний вибір методів оптимізації дозволяє досягти максимального використання складських потужностей, що робить функціонування складу рентабельним.

Виявлені проблеми можна вирішити за допомогою застосування Flying-V методу розташування стелажів, ABC-методу розміщення деталей, таксономічної міри привабливості місцеположення товару та з використанням методів оптимізації комплектації замовлень. Алгоритми маршрутів, які використовує підприємство є неактуальні через складність в застосуванні, тому використання евристичних методів маршрутизації, забезпечить безперебійне і ритмічне виконання замовлень споживачів, що в свою чергу підвищить не тільки ефективність роботи всього складського комплексу, а й діяльність всього підприємства загалом.

## 2 МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМПЛЕКТАЦІЇ ЗАМОВЛЕНЬ

### 2.1 Математична модель комплектації замовлень

Сучасні дослідники [20; 28; 29] пропонують різні шляхи оптимізації системи складування і комплектації замовлень. Завдання маршрутизації комплектування замовлень (*order-pickers routing problem*) є окремим випадком завдання комівояжера (*traveling salesman problem*). Завдання комівояжера – відвідати певне число міст тільки один раз і повернутися назад на місце старту. Маршрут комплектувальника дещо схожий на маршрут комівояжера, так як він стартує з місця отримання замовлення, де отримує складальний лист, відвідує певну кількість місць з необхідним товаром і повертається назад на базу. Між стандартним формулюванням завдання комівояжера і ситуацією з комплектувальником замовлень на складі існує кілька відмінностей. По-перше, деякі «вершини-міста» можуть залишитися не відвіданими і працівник складу може, але не зобов'язаний їх відвідувати. «Вершини-міста» представляють собою стелажі і базу, які необхідно відвідати, а також дозволяється відвідувати більш ніж один раз. Тому для складів доцільніше використати існуючий алгоритм, що дозволяє знайти рішення задачі за лінійний час в залежності від числа алей і складальних лотів [20].

Відстань між місцями запасів – це прямолінійна відстань. Припустимо,  $D_{ij}$  означає відстань від місця  $i(x_i, y_i, z_i)$  до місця  $j(x_j, y_j, z_j)$ .  $A_i$  і  $A_j$  позначають номер проходу двох окремих місць відповідно. Таким чином, прямолінійна відстань  $D_{ij}$  дорівнює:

$$D_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| + (z_i - z_j), \quad \text{якщо } A_i = A_j, \text{ інакше}$$

$$D_{ij} = |x_i - x_j| + \min\{|2Y - y_i - y_j|, |y_i + y_j|\} + (z_i + z_j). \quad (2.1)$$

де  $y$  – загальна довжина проходу.

Математична модель збору замовлень така [24]:

$$\text{мінімізувати } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n D_{ij} X_{ijk}, \quad (2.2)$$

за умови

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n X_{ijk} = 1, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n X_{ijk} = 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ijk} = 1, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n X_{ijk} = \sum_{r=1, r \neq j}^n X_{jr(k+1)}, \quad (2.6)$$

$$\sum_j^n X_{0j0} + \sum_j^n X_{(n+1)j0} = 1, \quad (2.7)$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ або } 1. \quad (2.8)$$

де  $X_{ijk}$  означає послідовність вибору від місця  $i$  до розташування  $j$  послідовності  $k$ .

Цільова функція (2.2) підсумовує всю відстань від місця  $i$  до місця  $j$ , в напрямку  $k$ . Рівняння 2.3 дозволяє вибрати послідовність виходу з місця  $i$  лише один раз, а рівняння 2.4 зумовлює введення з інших місць лише один раз. Оскільки кількість дуг напряму становить від 0 до  $n$ , рівняння 2.5 вносить послідовність у цю форму. Метод показаний у рівнянні 2.6 для того, щоб з'єднати ці напрямні дуги від місця  $i$  до місця  $j$  і розташування  $j$  до місця  $r$ . Рівняння 2.7 надає вхідній точці унікальності, в той час коли дуга  $k$  дорівнює нулю [24].

Для застосування даного алгоритму необхідно визначити місця, які потрібно відвідати для збору товарів. Тому вибір місця для комплектування певного товару буде здійснено за допомогою Таксономічної міри привабливості місцеположення (TMAL).

## 2.2 Таксономічна міра привабливості місцеположення (TMAL)

На складах при комплектуванні замовлень для працівників складу часто доводиться вирішувати з якого місця брати товар, якщо він зберігається більш ніж в одному місці. Для визначення найбільш вдалого розташування товару використовується таксономічна міра привабливості місцеположення (TMAL).

Таксономічна міра привабливості місцеположення (TMAL) – варіація класичного синтетичного показника, який буде використовуватися для вибору місця, яке необхідно відвідати [28].

Привабливість місця розташування товару залежить як від віддаленості старту так і від того, яку частину деталей ми можемо зібрати неподалік від місця розташування зібраного товару.

Для побудови коефіцієнта TMAL використовуються наступні змінні, які можна позначити наступним чином:

$x_1$  – відстань від старту,

$x_2$  – ступінь задоволення попиту,

$x_3$  – кількість інших виробів, які можна зібрати поблизу даного місця.

Відстань від старту ( $x_1$ ) – одна з найважливіших змінних, яка описує місце розташування, оскільки в процесі комплектування замовлення рух працівника по складу складає понад 50% всього процесу збирання. Слід зазначити, що одиниці вимірювання точної відстані від одного місця до іншого можна вимірювати, наприклад, в метрах чи по ширині стелажів, тобто це можуть бути умовні одиниці. Наприклад, Krzysztof Dmytrów у своїй роботі [29] використовує манхетинську відстань.

Ступінь задоволення попиту на готовий продукт ( $x_2$ ) розраховується за формулою (2.9):

$$x_2 = \begin{cases} \frac{l}{z}, & \text{якщо } z > l \\ 1, & \text{якщо } l \geq z \end{cases} \quad (2.9)$$

де  $l$  – кількість одиниць певного виду деталей в заданому слоті;

$z$  – попит на даний вид деталей в замовленні (скільки деталей даного виду зазначено в замовленні).

Слот, який має найбільший ступінь задоволення попиту відповідає найбільшому значенню  $x_2$ . Наприклад, потрібно скомплектувати 50 одиниць продукту. Якщо один із слотів містить 120 одиниць, інший – 70 одиниць, то з точки зору замовлення обидва місця однаково привабливі, оскільки в обох випадках попит на товар буде виконаний.

З точки зору маршруту, який проходить комплектувальник у процесі збирання, важливо, щоб відвідані місця були максимально наближені один до одного. Тому ще одним показником є кількість інших деталей у замовленні, які знаходяться в деякому околі заданого слоту ( $x_3$ ). Окіл може визначатися як слоти, що знаходяться в тій же алеї, де і розташований заданий слот.

З трьох вибраних змінних відстань від старту ( $x_1$ ) є дестимулятором, тоді як ступінь задоволення попиту та кількість інших продуктів для комплектації є стимуляторами.

Тому відстань від старту перетворюють на стимулятор за формулою 2.10:

$$x_1^* = \frac{1}{x_1} \quad (2.10)$$

Простий приклад групування відвіданих місць показано на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Приклад групування відвіданих місць [29]

Як видно з рис. 2.1, продукт *A* доступний у двох місцях під №18 і №46. Товар *B* доступний лише в одному і позначений під № 48. Припустимо, що продукт *A* можна взяти в повному обсязі, відвідавши одне з двох місць, незалежно від того, яке саме. Якщо ми враховуємо лише відстань між початковим та відвіданим місцем, то нам слід вибрати місце № 18 (для комплектації продукту *A*) та 48 (для комплектації продукту *B*). Маршрут руху комплектувальника в даному випадку позначений суцільною лінією.

Однак якщо ми розглянемо групування місцеположення, то краще вибрати місце № 46 замість № 18 (для продукту *A*). Незважаючи на те, що місце № 46 знаходиться далі, загальний маршрут, який пройшов комплектувальник (позначений пунктирними лініями), буде коротшим [29].

Алгоритм визначення інтегрального показника таксономічної міри привабливості місцеположення представлений на рисунку 2.2 [30].

Вибір значення ваги  $w_i$  для кожної змінної відіграє важливу роль при обрахуванні показника  $M$ . Ваги присвоюються суб'єктивно. Перелік можливих комбінацій ваг представлений в таблиці 2.1.

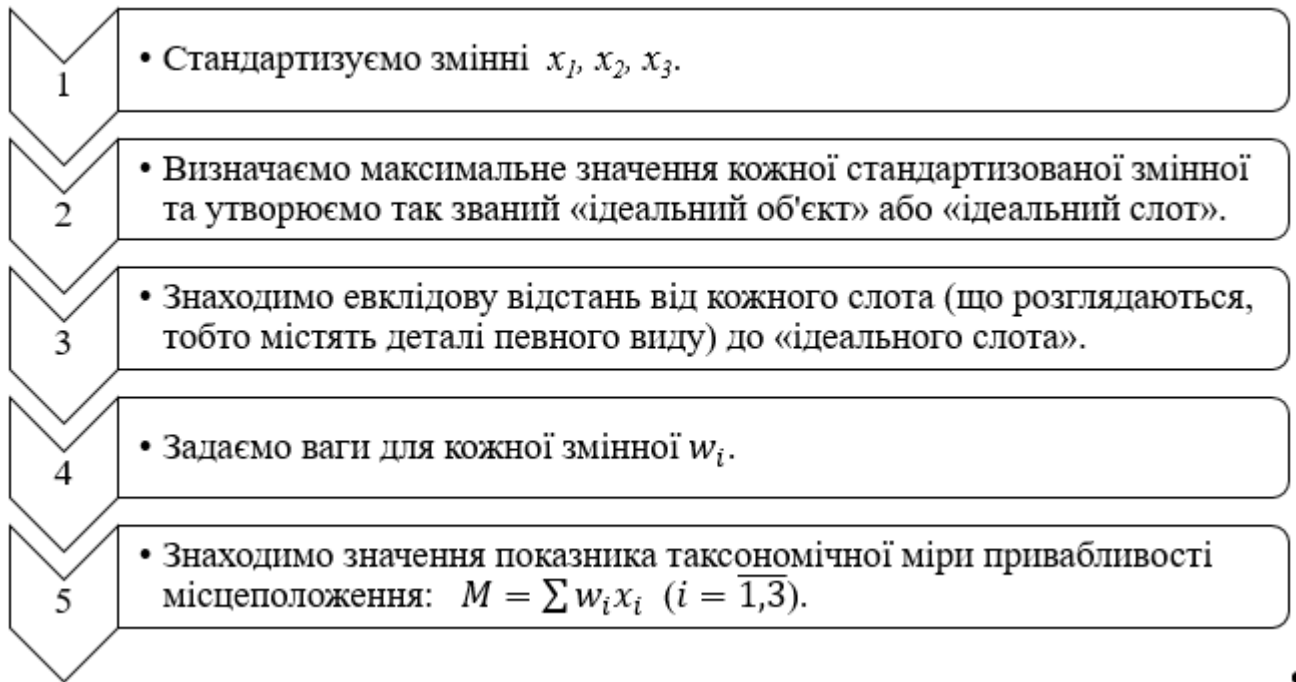


Рисунок 2.2 – Алгоритм визначення інтегрального показника TMAI

Таблиця 2.1 – Комбінації ваг, присвоєних змінним [28].

Комбінації	Відстань від старту, $x_1$	Ступінь задоволення попиту, $x_2$	Кількість інших деталей, що можна зібрати неподалік від даного слоту, $x_3$
1	0,333	0,333	0,333
2	0,500	0,250	0,250
3	0,250	0,500	0,250
4	0,250	0,250	0,500
5	0,400	0,400	0,200
6	0,400	0,200	0,400
7	0,200	0,400	0,400

Перший варіант передбачає рівні ваги для всіх змінних. У комбінаціях 2, 3 і 4 передбачається, що одна змінна вдвічі важливіша за інші, а в 5, 6 і 7, що дві змінні мають вдвічі більшу вагу, ніж інша змінна [28]. Після обрахування всіх показників  $M$ , місця розташування необхідно впорядкувати від найбільш привабливої до найменш привабливої точки досліджуваного замовлення. Більш детальну процедуру визначення коефіцієнта TMAI описав в своїй роботі Krzysztof D. [30].

Слід зазначити, що на етапі розрахунку показника таксономічної міри привабливості не визначається маршрут, який повинен пройти працівник складу, а лише місця, які він повинен відвідати. Маршрут розраховується лише після вибору всіх місць для відвідування, які потрібні для збору всіх продуктів, використовуючи евристичні методи маршрутизації, такі як S-Shape, Midpoint, Largest gap, Return або Combined.

### 2.3 Евристичні методи маршрутизації

Термін «евристика» зустрічається в предметних методиках, в задачах на логіку, теорії штучного інтелекту, причому в різних варіантах свого розуміння. Евристика – це розробка методів машинного і математичного моделювання людського способу вирішення проблемних завдань, заснована на аналізі та експериментальному вивченні цього способу. У методиці навчання математики під евристикою, як правило, розуміється теорія і практика організації відшукування дієвого методу розв’язання задачі або доведення теореми [31].

Вибір правильного маршруту на складі впливає на мінімізацію часу та швидке виконання дій. Існує декілька евристичних методів, за допомогою яких можна визначити маршрут на складі під час комплектування замовлення. Це методи: S-Shape, Midpoint, Return, Combined, Largest gap.

На рис. 2.3 і 2.4 представлені найпопулярніші схеми переміщення на складі.

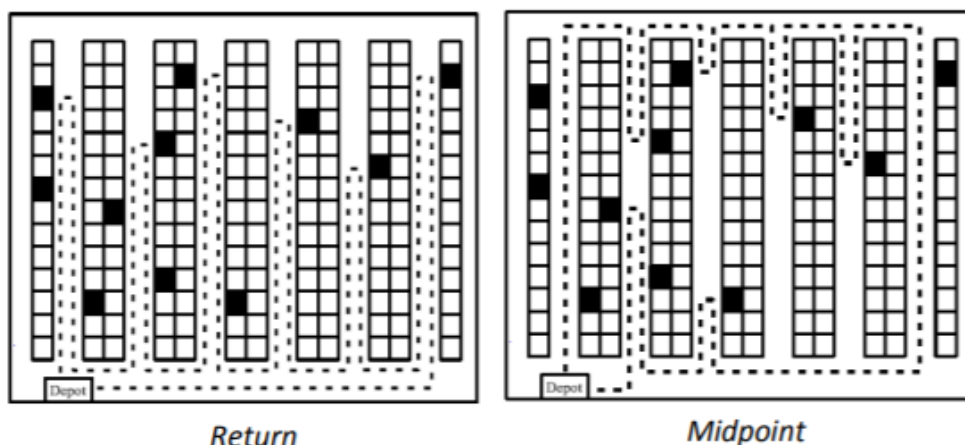


Рисунок 2.3 – Приклад схем Return і Midpoint методів маршрутизації [20; 26]



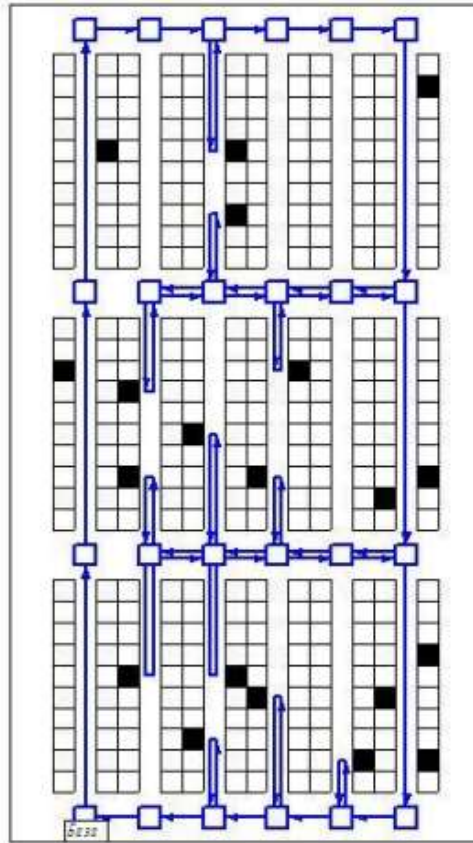


Рисунок 2.5 – Приклад маршруту, отриманого з використанням серединної (Midpoint) евристики маршрутизації [20]

Алгоритм серединної евристики (рис.2.5) складається з наступних кроків:

1) Визначаємо крайній лівий під-прохід з невідвідуваними складальними лотами і найбільш віддалений блок від бази, який містить як мінімум одну складальну комірку.

2) Маршрут починається з бази у напрямку до ближнього кінця крайнього лівого під-проходу з невідвідуваними складальними лотами.

3) Перетинаємо крайній лівий під-прохід і рухаємося до ближнього поперечного проходу найбільш віддаленого від бази блоку, збираючи товари з пересічних складальних слотів.

4) Далі необхідно рухатися направо по ближньому поперечному проході найбільш віддаленого від бази блоку до першого під-проходу з невідвідуваними складальними лотами. Якщо це єдиний під-прохід в даному блоці, то збираємо всі необхідні товари і повертаємося на ближній поперечний прохід даного блоку,

не змінюючи під-прохід. Якщо в даному блоці більше одного під-проходу з невідвідуваними складальними лотами, то повністю перетинаємо під-прохід.

5) На даному етапі, комплектувальник замовлень знаходиться на далекому поперечному проході блоку. Можливі наступні два варіанти.

а) Якщо в поточному блоці ще залишаються під-проходи з невідвідуваними складальними лотами. Визначаємо найбільш віддалений від поточної позиції під-прохід з складальними лотами, які ще на були відвідані в поточному блоці. Йдемо на крок 6.

б) Якщо в поточному блоці більше немає під-проходів з складальними лотами, які ще на були відвідані, то в даному випадку, продовжуємо рух в поточному складальному проході до наступного поперечного проходу і йдемо на крок 9.

6) Прямуюємо найбільш коротким шляхом по дальньому поперечному проході, починаючи з поточної позиції, заходячи в усі під-проходи з невідвідуваними складальними лотами на відстань, що не перевищує половини довжини під-проходу, збираємо всі необхідні товари, повертаємося на дальній поперечний прохід поточного блоку.

7) Повністю перетинаємо останній під-прохід поточного блоку до ближнього поперечного проходу даного блоку.

8) На даному етапі, комплектувальник замовлень знаходиться на ближньому поперечному проході блоку. Можливі наступні два варіанти.

а) Якщо в поточному блоці ще залишаються під-проходи з складальними лотами, які необхідно зібрати, то визначаємо найбільш віддалений від поточної позиції під-прохід з невідвідуваними складальними лотами поточного блоку. Йдемо на крок 9.

б) Якщо в поточному блоці більше немає під-проходів з невідвідуваними складальними лотами, то в даному випадку, визначаємо найбільш віддалений від поточної позиції під-прохід наступного блоку та йдемо у напрямку до найближчого з них, переходимо на крок 10.

9) Прямуюємо найбільш коротким шляхом по ближньому поперечному проходу, починаючи з поточної позиції, заходячи в усі під-проходи з складальними лотами, які потрібно відвідати на відстань, що не перевищує половини довжини під-проходу, збираємо всі необхідні товари, повертаємося на ближній поперечний прохід поточного блоку.

10) Якщо ближній до бази блок ще не був пройдений, то повертаємося на крок 5, беручи до уваги, що ближній поперечний прохід  $n$ -го блоку є далеким поперечним проходом  $(n - 1)$ -го блоку.

11) Повертаємося на базу.

### 2.3.2 S-подібний метод (S-Shape)

Найбільш простою і найпопулярнішою евристикою є S-подібний (S-Shape) метод маршрутизації. Його логіка полягає в тому, що під час комплектування замовлення працівник складу переміщається між стелажима по маршруту, що нагадує букву S [32].

Приклад застосування S-подібної евристики представлений на рисунку 2.6.

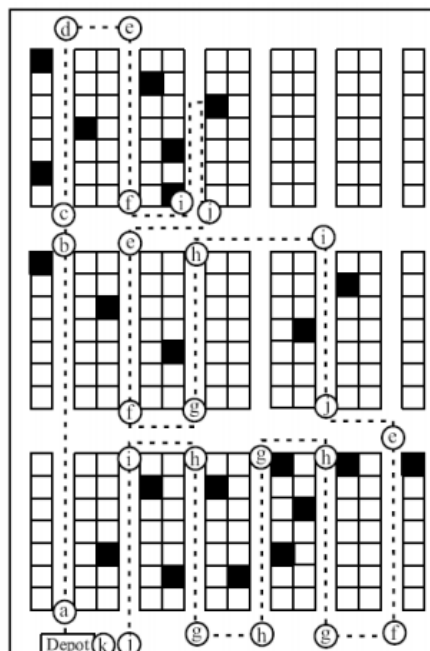


Рисунок 2.6 – Приклад маршруту, отриманого з використанням S-подібної (S-Shape) евристики маршрутизації [26]

Алгоритм S-подібної евристики складається з наступних кроків [26]:

1. маршрут починається з бази (*Depot*) в напрямку початку найбільш використовуваного крайнього лівого проходу, який містить принаймні одну точку збору товару (a);

2. перетинаємо крайній лівий обраний прохід і виходимо до початку перехрестя дальнього блоку (b);

3. рухаємося прямо, поки не досягнемо обраний під-прохід (c). Якщо це єдиний під-прохід у цьому блоці з точками збору, то забираємо всі елементи й повертаємося до початку перехрестя цього блоку. Якщо в цьому блоці є два або більше під-проходів із точками збору, то повністю перетинаємо під-прохід (d);

4. на цьому кроці можливі два варіанти розвитку подій:

а) поточний блок усе ще містить точки збору елементів. Потрібно визначити відстань від поточного положення до лівого та правого під-проходів цього блоку з точками збору. Далі треба перейти до ближчого з помір цих двох (e). Повністю пройдіть цей під-прохід (f) і перейдіть до кроку 5;

б) у поточному блоці не залишилося елементів, які необхідно забрати. Продовжуйте рух в тому ж під-проході, щоб дістатися до наступного перехрестя, і перейдіть до кроку 7;

5. якщо в поточному блоці залишилися елементи, які необхідно зібрати, пройдіть через перехрестя до наступного під-проходу з точкою збору (g) і повністю пройдіть через цей під-прохід (h). Повторюємо цей крок допоки не залишиться рівно один під-прохід із точками збору елементів у поточному блоці;

6. далі потрібно пройти до останнього під-проходу з точками збору елементів поточного блоку (i) та зібрати елементи з попереднього під-проходу й перейдіть до початку перехрестя поточного блоку (j). Цей крок може спричинити два варіанти проходження шляху: через під-прохід (a) повністю рухаючись під-проходом або (b) увійти та вийти з під-проходу з тієї ж сторони;

7. якщо найближчий до складу блок ще не був пройдений, потрібно повернутися до кроку 5;

8. зрештою, повертаємося до *Depot* (k).

### 2.3.3 Метод з поверненнями (Return)

Ще одним простим евристичним методом маршрутизації є метод з поверненнями (Return), при використанні якого комплектувальник замовлень відвідує кожен із проходів, де є товари, які необхідно зібрати. Працівник складу, виходячи на алею, збирає весь товар, а потім повертається в основний прохід [21]. Приклад застосування евристики з представлений на рисунку 2.7.

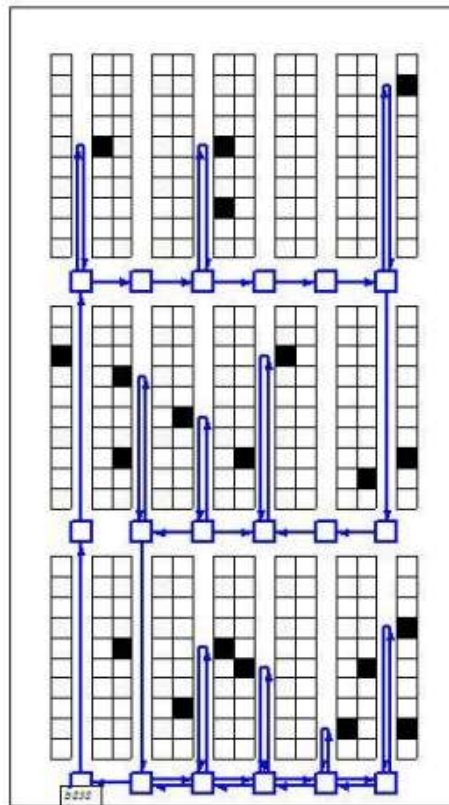


Рисунок 2.7 – Приклад маршруту, отриманого з використанням евристики маршрутизації з поверненнями (Return) [20]

Алгоритм евристики з поверненнями (Return) складається з наступних кроків [20]:

- 1) визначаємо крайній лівий під-прохід з лотами, які потрібно відвідати і найбільш віддалений блок від бази, що містить як мінімум один товар для комплектації;

2) маршрут починається з бази у напрямку до ближнього кінця крайнього лівого під-проходу з невідвідуваними складальними лотами;

3) перетинаємо крайній лівий під-прохід виконуючи збір товарів і рухаємось до ближнього поперечного проходу найбільш віддаленого від бази блоку, збираючи товари з пересічних складальних слотів;

4) йдемо направо по ближньому поперечному проходу найбільш віддаленого від бази блоку до першого під-проходу з невідвідуваними складальними лотами. Збираємо всі необхідні товари в під-проході і повертаємось на ближній поперечний прохід даного блоку, не змінюючи під-прохід;

5) на даному етапі, комплектувальник замовлень знаходиться на ближньому поперечному проході блоку. Можливі наступні два варіанти:

а) якщо в поточному блоці ще залишаються під-проходи з невідвідуваними складальними лотами. Визначаємо найбільш віддалений від поточної позиції під-прохід з невідвідуваними складальними лотами поточного блоку. Йдемо на крок 6;

б) якщо в поточному блоці більше немає під-проходів з невідвідуваними складальними лотами. В даному випадку, визначаємо найбільш віддалений від поточної позиції під-прохід з лотами для відвідування наступного блоку, йдемо по напрямку до ближнього з них, перетинаємо його повністю, зібравши в ньому необхідні товари, йдемо на крок 7;

б) прямуємо найбільш коротким шляхом по ближньому поперечному проходу, починаючи з поточної позиції, заходячи в усі під-проходи з товарними позиціями, збираємо всі необхідні товари і повертаємось на ближній поперечний прохід блоку. Повторюємо даний крок для всіх під-проходів, які потрібно пройти в поточному блоці;

7) якщо ближній до бази блок ще не був пройдений, то повертаємось на крок 5;

8) повертаємось на базу.

### 2.3.4 Комбінований метод (Combined)

Метод Combined – це комбінація евристики S-Shape та Return. Комплектувальник заходить лише в ті проходи, в яких знаходяться необхідні товари, збирає їх і виходить з проходу через найближчий вихід [6]. Рішення, перетинати прохід цілком або зробити візит з поверненням без зміни поперечного проходу приймається на основі динамічного програмування. Кожен під-прохід з складальними лотами, які необхідно зібрати, відвідується тільки один раз. Приклад застосування комбінованої евристики на типовому замовленні представлений на рисунку 2.8.

Введемо наступні позначення:

$k$  – число блоків;

$n$  – число складальних проходів;

$a_{ij}$  – координата далекого (від бази) кінця  $j$ -го блоку під-проходу  $i$ -го блоку ( $i = 1, \dots, k; j = 1, \dots, n$ );

$b_{ij}$  – координата ближнього (від бази) кінця  $j$ -го блоку під-проходу  $i$ -го блоку ( $i = 1, \dots, k; j = 1, \dots, n$ );

$d$  – база.

Зауважимо, що для  $i = 1, 2, \dots, k - 1$  справедливо рівність  $b_{ij} = a_{i+1,j}$ , так як ми допускаємо, що комплектувальник замовлень переміщається по середині поперечних проходів. Відстань між кінцями під-проходів і серединою поперечних проходів включається в відстань під-проходів. Для кожного блока використовується метод динамічного програмування.

Метод динамічного програмування використовується для маршрутизації комплектувальників замовлень всередині  $i$ -го блоку ( $i = 1, \dots, k$ ). Маршрут починається з крайнього лівого під-проходу з невідвідуваними складальними лотами  $l$  і закінчується в крайньому правому під-проході з невідвідуваними складальними лотами  $r$ . Нехай  $L_j$  визначає часткові маршрутні підграфи (далі, ЧМП), за допомогою якого можна обійти всі складальні лоти починаючи з під-проходу  $l$  до під-проходу  $j$ .



$t_3$  – входження в під-прохід і вихід з нього здійснюється через ближній поперечний прохід блоку;

$t_4$  – входження в під-прохід і вихід з нього здійснюється через дальній поперечний прохід блоку.

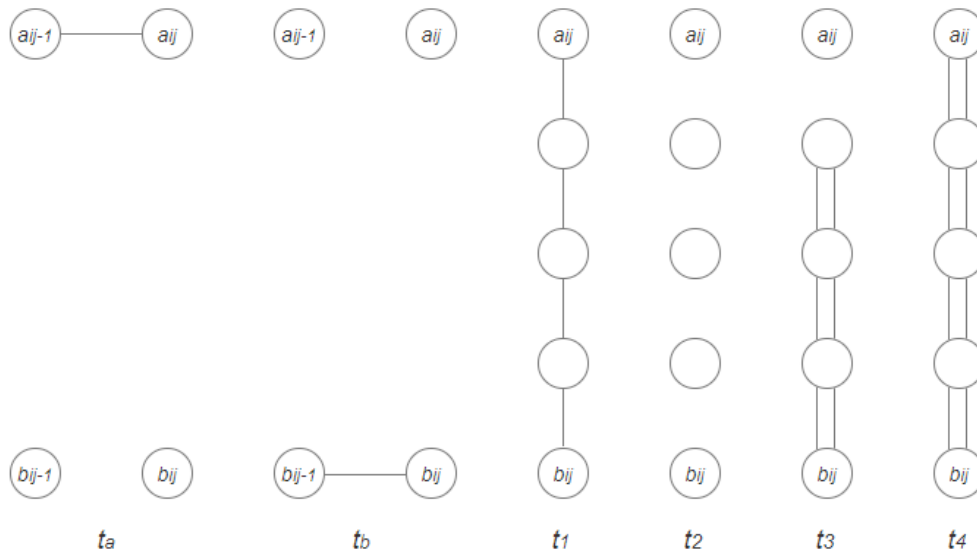


Рисунок 2.9 – Переміщення, які використовуються в методі динамічного програмування [20]

Очевидно, що переміщення  $t_2$  застосовується тільки в разі відсутності в даному під-проході складальних лотів.

За допомогою  $L_j + t_w$  визначимо, що ЧМП  $L_j$  доповнений переміщенням  $t_w$   $w = (1,2,3,4, a, b)$ . Функція  $c(\cdot)$  повертає час пересування, відповідне аргументу функції, наприклад,  $c(L_j^b + t_1)$  повертає час, необхідний для проходу по частковому маршруту  $L_j^b$ , плюс час, необхідний для здійснення переміщення  $t_1$ . Зауважимо, що переміщення містять інформацію тільки про те, яким чином відбувається відвідування під-проходів або вихід з них. Точний шлях всередині під-проходу, і, таким чином, відповідний час пересування, залежить від розташування слотів всередині розглянутого під-проходу.

З використанням потенційних станів, можливих переміщень між станами і вартостей (часу пересування) даних переміщень, можна описати метод

динамічного програмування. Даний метод буде визначати ЧМП пересування через один блок.

Розглянемо  $i$ -ий блок. Якщо  $i$ -ий блок – найбільш віддалений блок від бази, що містить хоча б один під-прохід з товарними позиціями, які необхідно зібрати, то починаємо з двох ЧМП:

–  $L_j^a$ , який починається в вузлі  $b_{il}$ , закінчується в вузлі  $i$  і складається з переміщення  $t_1$ ;

–  $L_j^b$ , який починається і закінчується в вузлі  $b_{il}$ , і складається з переміщення  $t_3$ .

В іншому випадку, починаємо з двох ЧМП:

–  $L_l^a$ , який починається і закінчується в вузлі  $a_{il}$  і складається з переміщення  $t_4$ ;

–  $L_l^b$ , який починається в вузлі  $a_{il}$ , закінчується в вузлі  $b_{il}$ , і складається з переміщення  $t_1$ .

Для кожного наступного  $j$ -го під-проходу ( $l < j < r$ ) визначимо  $L_j^a$  і  $L_j^b$  наступним чином. Якщо  $j$ -ий під-прохід – під-прохід з невідвідуваними складальними лотами, то за формулою (2.11) і (2.12):

$$L_j^a = \begin{cases} L_{j-1}^a + t_a + t_4, & \text{якщо } c(L_{j-1}^a + t_a + t_4) < c(L_{j-1}^b + t_b + t_1), \\ L_{j-1}^b + t_b + t_1, & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \quad (2.11)$$

$$L_j^b = \begin{cases} L_{j-1}^b + t_b + t_3, & \text{якщо } c(L_{j-1}^b + t_b + t_3) < c(L_{j-1}^a + t_a + t_1), \\ L_{j-1}^a + t_a + t_1, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (2.12)$$

Якщо  $j$ -ий під-прохід – не під-прохід з складальними лотами, які не були відвідані, то використовуються формули (2.13) і (2.14):

$$L_{j-1}^a + t_a, \quad (2.13)$$

$$L_{j-1}^b + t_b. \quad (2.14)$$

Для останнього під-проходу блоку (під-проходу  $r$ ) необхідно обчислити тільки величину  $L_r^b$  за формулою (2.15):

$$L_r^b = \begin{cases} L_{r-1}^b + t_b + t_3, & \text{якщо } c(L_{r-1}^b + t_b + t_3) < c(L_{r-1}^a + t_a + t_1), \\ L_{r-1}^a + t_a + t_1, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (2.15)$$

Одержаний в результаті ЧМП  $L_r^b$  буде використаний для формування повного складального маршруту. На даному етапі  $L_r^a$  не потрібно, так як по завершенні збирання всіх елементів в блоці, необхідно перейти на найближчий (до бази) поперечний прохід блоку для можливості продовження маршруту на наступному блоці.

Алгоритм побудови маршруту:

1) визначаємо крайній лівий під-прохід з слотами найбільш віддаленого від бази блоку, що містить хоча б один комплектувальний слот;

2) маршрут починається з бази у напрямку до початку крайнього лівого під-проходу до комплектуючих товарів;

3) перетинаємо крайній лівий під-прохід з невідвіданими слотами до ближнього поперечного проходу найбільш віддаленого від бази блоку (блок  $i_{min}$ ), збираючи товари з відвідуваних складальних лотів;

4) встановлюємо  $i = i_{min}$ ;

5) визначаємо, чи містить  $i$ -ий блок під-прохід з слотами, які не були відвідані на кроці 3:

а) якщо в  $i$ -му блоці немає жодного під-проходу з незібраними товарами, то перетинаємо найближчий під-прохід  $i$ -го блоку до наступного блоку. Йдемо на крок 7;

б) якщо в  $i$ -му блоці є під-прохід з некомплектованими товарами, то визначаємо крайній лівий під-прохід і крайній правий під-прохід (під-прохід  $l$  і під-прохід  $r$ , відповідно), виключаючи всі під-проходи, які вже були відвідані на кроці 3. З поточної позиції переходимо в найближчий з даних двох під-проходів ( $j_{min}$ );

б) застосовуємо для  $i$ -го блоку описаний вище метод динамічного програмування. Якщо на кроці 5 величина  $j_{min} = l$ , то додаємо отриманий ЧМП до маршруту комплектувальника замовлень. Якщо  $j_{min} = r$ , то «перевертаємо» отриманий ЧМП (таким чином, щоб маршрут починався в під-проході  $r$  і завершувався в під-проході  $l$ ). Додаємо «перевернутий» ЧМП до маршруту комплектувальника замовлень. «Перевертання» маршруту означає, що комплектувальник замовлень відвідуватиме під-проходи справа наліво, в той час як обчислення були зроблені зліва направо;

7) коли був обчислений  $k$ -ий (найближчий до бази) блок, комплектувальник замовлень повертається на базу. В іншому випадку, збільшуємо  $i$  на одиницю і повертаємося до кроку 5;

Описаний алгоритм евристики використовує компанія Amazon для оптимізації прийняття рішень про мінімальну траєкторію руху в процесі формування відправок вантажу. На рисунку 2.9 представлені маршрути до та після оптимізації [33].

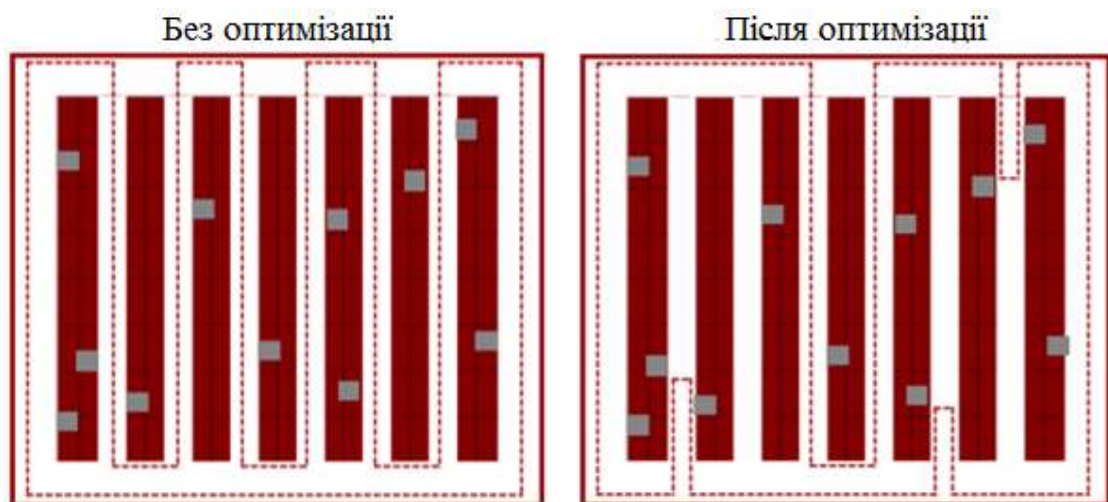


Рисунок 2.9 – Маршрут комплектувальника до та після оптимізації [33]

Можна зробити висновок, що існуючі точні алгоритми отримання оптимальних маршрутів стають неактуальні через складність в застосуванні, внаслідок чого широко використовуються евристичні методи маршрутизації.

### 3 ПРАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ КОМПЛЕКТАЦІЇ ЗАМОВЛЕНЬ НА СКЛАДІ

Ефективне ведення бізнесу виробничої або торгової компанії в багатьох випадках залежить від рівня організації логістичної діяльності. Склади є важливим елементом у діяльності виробничих підприємств, оскільки призначені для зберігання товарно-матеріальних цінностей до випуску їх у виробництво, що дозволяє у свою чергу здійснювати безперервне виробництво.

Робота складу – це складний процес, який складається з різних за своєю суттю операцій. Сучасний процес складування, незважаючи на існування різних технологій і систем для його оптимізації, не можна назвати ефективним. Збереження експлуатаційних характеристик товару, простота розміщення та пошуку продукції для швидкої комплектації – це далеко не повний перелік задач, які постають перед спеціалістами на складі кожного дня. Тому частими є ситуації виникнення проблем такого характеру:

- через великий асортимент номенклатури (більше 1000 одиниць) працівникам складу важко знайти потрібний товар;
- при обробці замовлення швидкість роботи працівників сповільнюється, так як працівники складу не завжди правильно визначають з якого слоту комплектувати необхідну кількість одної одиниці товару, яка може лежати в різних місцях і в різних кількостях,
- при зборі замовлення комплектувальник рухається по довільному маршруту, в результаті чого цей маршрут не можна назвати оптимальним.

Раціональна технологія комплектації замовлень і зниження витрат на цю складську операцію – пріоритетне завдання для багатьох компаній. Процес комплектації замовлень є одним з дорогих на складі. Саме він визначає ефективність роботи всього складського комплексу, основним завданням якого є надання потрібного товару в потрібній кількості, відповідної якості і в потрібний час.

На прикладі ДП «КАЗ», яке спеціалізується на виготовленні котлів різних модифікацій, розглянуто оптимізацію процесу комплектації замовлень на одному із функціонуючих складів де зберігаються деталі, необхідні підприємству для складання та виробництва кінцевого продукту.

Процес просування матеріального потоку (рис. 3.1) від цеху до складу нескладний, але тривалий і потребує координації та взаємодії працівників і належної організації. Етапи логістичного процесу на складі:

- 1) виготовлення деталей та комплектуючих відбувається в цеху №1, після чого вони знаходяться і розподіляються по слотах на складі №1;
- 2) далі в цеху №2 формується і надсилається складальний лист на склад №1 з переліком необхідних деталей та комплектуючих для виготовлення кінцевого продукту;
- 3) готова одиниця товару надходить на склад №2, на якому знаходиться продукція, яку можна відправляти споживачам;
- 4) як тільки надходить замовлення, це фіксується в системі та формується відповідні завдання для працівників складу.

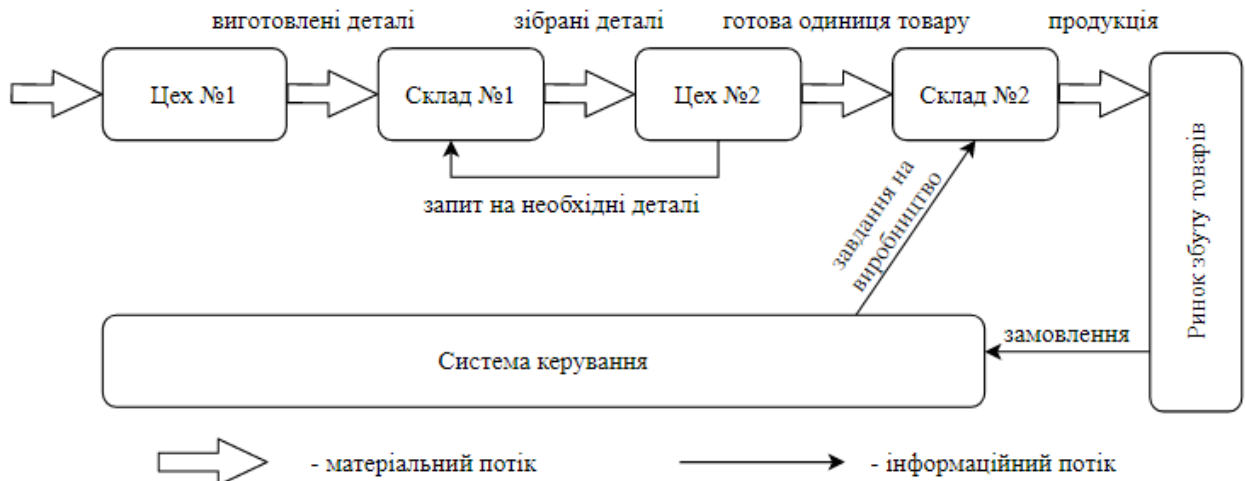


Рисунок 3.1 – Концептуальна модель логістичного процесу

При аналізі робочого процесу комплектувальників на складі №1 «КАЗ» були отримані наступні усереднені результати (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Результати аналізу робочого процесу комплектувальника

З рис. 3.2 можна зробити висновок, що найбільш слабкою ланкою в процесі складування є операція з пошуку і комплектації замовлення. Дана операція, як правило, виконується з використанням ручної праці, відповідно вимагає значних витрат часу, а також супроводжується помилками персоналу.

Для вдосконалення роботи складу виникає потреба у впровадженні відповідного веб-застосунку. Перш ніж розробляти веб-додаток було визначено такі основні напрямки оптимізації складських процесів:

- 1) застосування Flying-V методу;
- 2) розподіл за ABC методом;
- 3) обрахування TMAP;
- 4) побудова маршрутів за евристичними методами.

### 3.1 Розташування стелажів складу Flying-V методом

На підприємстві «КАЗ» функціонує два склади, тому основне завдання, яке стоїть перед підприємством – ефективно використання наявних складських площ.

Стелажі на складі підприємства розташовані традиційним методом і представлені на рис. 3.3. Кожному слоту, полиці, стелажу, присвоюється цифра,

що становить код розташування товару. Таким чином, у кожного місця зберігання з'являється свій ідентифікатор. Розташування слотів на досліджуваному підприємстві має наступний вигляд: 2 – номер стелажа, 4 – порядковий вертикальної секції, 12 – номер слоту.

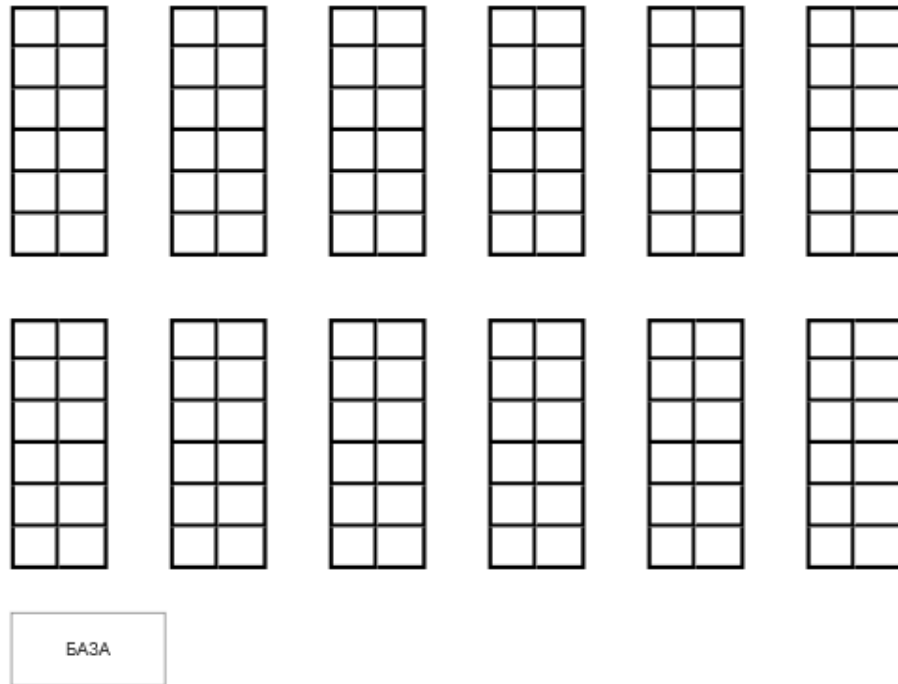


Рисунок 3.3 – Стандартне розташування стелажів на складі

Розташування стелажів в системі координат можна представити в наступному вигляді (рис. 3.4).

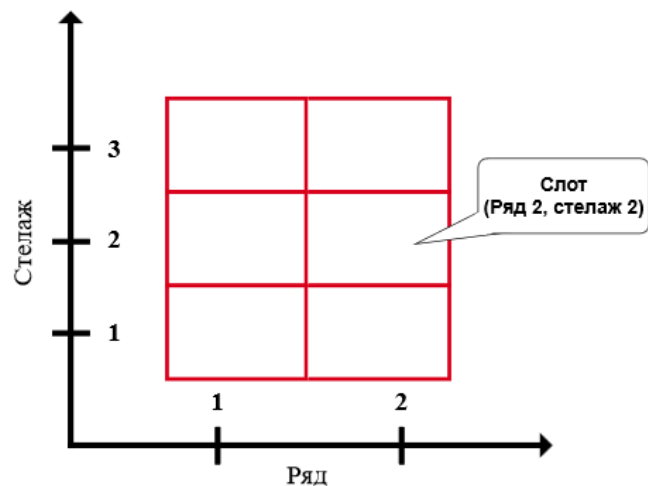


Рисунок 3.4 – Розташування стелажів

Розташування слотів в стелажі представлено на рис. 3.5.

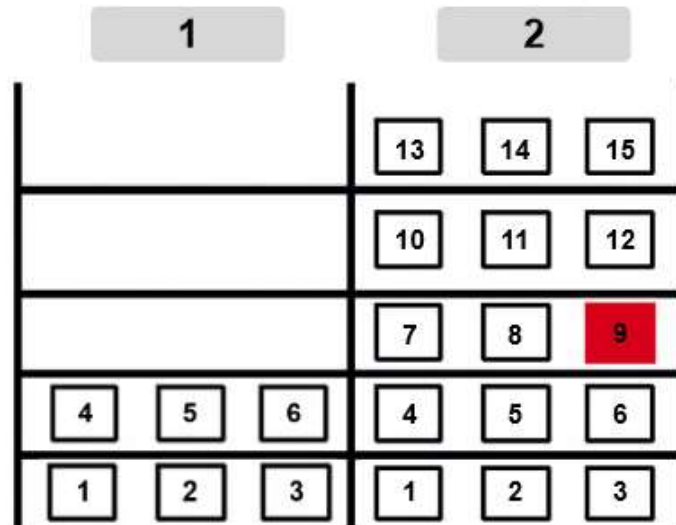


Рисунок 3.5 – Розташування стелажів і слотів

Планування складу є важливим фактором, який визначає операційну ефективність підприємства, і впливає на вибір замовлення та відстань комплектування. Склад повинен бути спроектований і організований таким чином, щоб він відповідав потребам підприємства. Тому для досліджуваного складу, запропоновано виконати розташування стелажів за Flying-V методом.

Нетрадиційне розташування стелажів на складі підприємства ДП «КАЗ» за Flying-V представлено в прямокутній формі та має єдину точку вводу / виводу (базу), яка розташована по середині в нижній частині складу (рис.3.6).

Деталі, які зберігаються на складі, розміщуються за законом випадкового розподілу і співробітникам важко самостійно врахувати всі фактори зберігання товарів, наприклад, в який слот розмістити товар, тому наступний етап, який необхідно оптимізувати – розподіл деталей і комплектуючих. Правильне зберігання деталей та їх передача на виробничу лінію є основою для функціонування всього підприємства. При прийманні деталей на зберігання, важливо знати як розмістити товари для прискорення процесу їх комплектації при відвантаженні. ABC розміщення асортименту, на відмінну від випадкового,

спрямоване на таке їх розташування по відношенню до стелажів, щоб мінімізувати відстань їх руху при видачі. Очевидно, що чим ближче розташований товар, тим менше часу буде потрібно на переміщення.

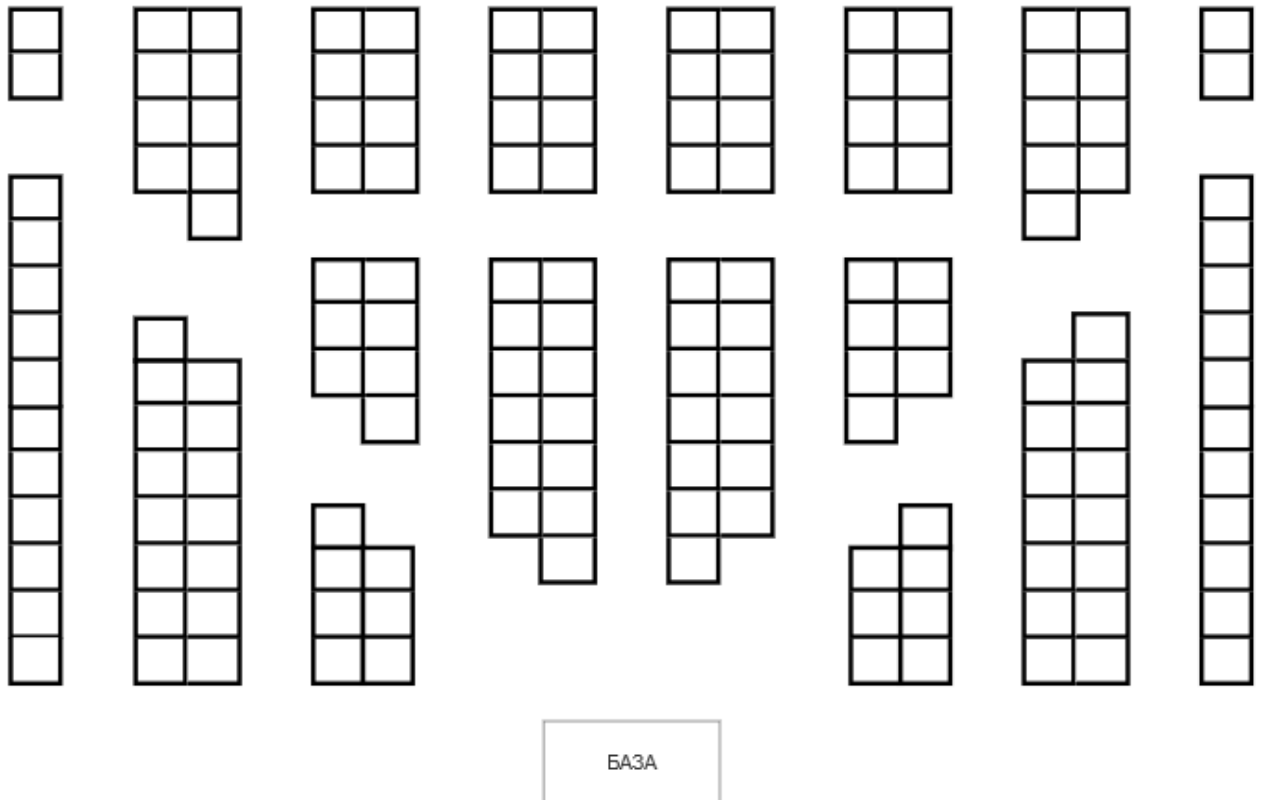


Рисунок 3.6 – Розташування стелажів за Flying-V методом

Для класифікації товару за Flying-V розташуванням стелажів використано ABC-метод, який покращує ефективність відбору відповідно до частоти надходження та виходу товару зі складу.

### 3.2 Класифікація ABC для Flying-V розташування стелажів

Правильне розташування деталей та їх комплектація на виробничу лінію є основою для функціонування всього підприємства. Розташування товарів на складі є актуальною проблемою на багатьох підприємствах, зокрема і на ДП «КАЗ, так як рішення приймаються в умовах ризику та невизначеності. Попит на окремі товари невідомий, що впливає на вибір замовлення. З одного боку,

нестабільна ситуація становить загрозу для підприємства, з іншого – дає шанс досягти конкурентної переваги. Розподілення деталей на місця зберігання є елементом, що впливає на ефективність зберігання, а в більш широкій перспективі – на ефективність всього процесу комплектації.

У складській діяльності використання методу Парето, іншими словами сортування товару за методом ABC перед безпосереднім використанням дозволяє мінімізувати кількість пересувань шляхом розподілу всього асортименту на групи товарів, які потребують великої кількості пересування, і групи товарів, які використовуються достатньо рідко. ABC-аналіз полягає у виявленні та оцінці незначного числа кількісних величин, які є найціннішими та мають найбільшу питому вагу в загальній сукупності вартісних показників. Згідно з цим методом досліджувана сукупність (табл. В.1) ділиться на три частини:

- 1) група А – асортимент деталей, які є найціннішими з погляду їх попиту;
- 2) група В – асортимент з середньою частотою видання;
- 3) група С – запаси з найбільшою часткою, однак незначні з погляду їхнього попиту.

При використанні даного методу, товар, який надходить на склад буде розміщуватися відповідно в ті місця зберігання, які належать до області відповідної товарної групи, тобто А, В або С.

Основна увага в процесі управління товарно-матеріальними запасами приділяється запасам, віднесеним до групи А, меншою мірою — групи В та С. Концентрація уваги на пріоритетних напрямках управління запасами дозволяє підвищити ефективність управління фінансами підприємства в цілому. Перевага, яку дає даний метод – можливість швидкого розподілу при надходженні товару, а також мінімальна кількість помилок при комплектації, так як комплектувальнику заздалегідь відома область розміщення деталі. Це означає, що підприємству доцільно проводити ABC-аналіз існуючого асортименту товарів.

У спеціалізованій літературі представлено безліч методів по розподілу продукції на зберігання. Однак метод ABC класифікації найбільш підходить для вирішення існуючих проблем на складі підприємства, в наслідок чого був проведений ABC-аналіз для досліджуваного підприємства. Асортимент складу достатньо великий, тому для демонстрації як працює метод Парето було використано 160 позицій деталей, які представлені у таблиці Г.1.

Використовуючи мову функцій та формул – DAX і дані таблиці В.1 виконаємо ABC класифікацію асортименту товарів, яка базується на таких розрахункових стовпцях:

- попит товару (Demand for product): загальна кількість зібраної одиниці товару за певний період (місяць, квартал, рік);
- накопичення попиту (Cumulated Demand): загальна кількість всіх одиниць деталей класифікується від найбільшого до найменшого;
- накопичення (Cumulated Pct): відсоток накопичених деталей одного виду до загальної суми деталей;
- клас ABC (ABC Class): клас товару, який може бути А, В або С.

На першому етапі (рис.3.7) відбувається сортування асортименту товару за допомогою функції FILTER та визначається сума всіх значень стовпця «Demand for product» за допомогою функції SUMX.

На другому етапі (рис. 3.8) визначається частка товару від загальної кількості товарів за допомогою функції DIVIDE і розраховується відсоток накопичення за яким формується розподіл на класи.

Клас продукту визначається значенням сукупного відсотка і в залежності від значення стовпця «Cumulated Pct» відображається клас (рис. 3.9). В даному випадку до класу А входять деталі, в яких відсоток накопичення становить  $A \leq 70\%$ ; до класу В –  $70\% < B < 90\%$ , інші деталі належать до класу С (рис.3.10).

```

1 Cumulated Demand =
2 VAR CurrentProductDemand = 'Product'[Demand for product]
3 VAR BetterProducts =
4     FILTER (
5         'Product',
6         'Product'[Demand for product] >= CurrentProductDemand
7     )
8 VAR Result =
9     SUMX (
10        BetterProducts,
11        'Product'[Product Demand for product]
12    )
13 RETURN
14    Result

```

Рисунок 3.7 – Перший етап ABC-аналізу

```

1 Cumulated Pct =
2 DIVIDE (
3     'Product'[Cumulated Demand],
4     SUM ( 'Product'[Demand for product] )
5 )

```

Рисунок 3.8 – Другий етап ABC-аналізу

```

1 ABC Class =
2 SWITCH (
3     TRUE,
4     'Product'[Cumulated Pct] <= 0.7, "A",
5     'Product'[Cumulated Pct] <= 0.9, "B",
6     "C"
7 )

```

Рисунок 3.9 – Розподіл асортименту товарів на класи

Product Name	Demand for product	Cumulated demand	Cumulated Pct	ABC Class
Упаковка	263	3%	55,92%	A
Заглушка	261	3%	58,82%	A
Етикетка-4	257	3%	61,67%	A
Димохід	257	3%	64,53%	A
Заклепка	241	3%	67,20%	A
Гвинт	180	2%	69,20%	A
Корпус	100	1%	70,00%	A
Заглушка	59	1%	70,97%	B
Брусок	59	1%	71,62%	B
Зольник	59	1%	72,28%	B
Болт 4	58	1%	72,92%	B

Рисунок 3.10 – Розподіл асортименту товарів на класи

Як видно на рис. 3.10, коли значення нижче 70%, клас продукту – «А», якщо значення перевищує 70%, клас продукту стає «В». Більш детальні обрахунки ABC-аналізу представлені у таблиці Г.1.

За результатами проведеного аналізу побудовано графік залежності сукупного ефекту від кількості елементів, тобто криву Парето (рис. 3.11).

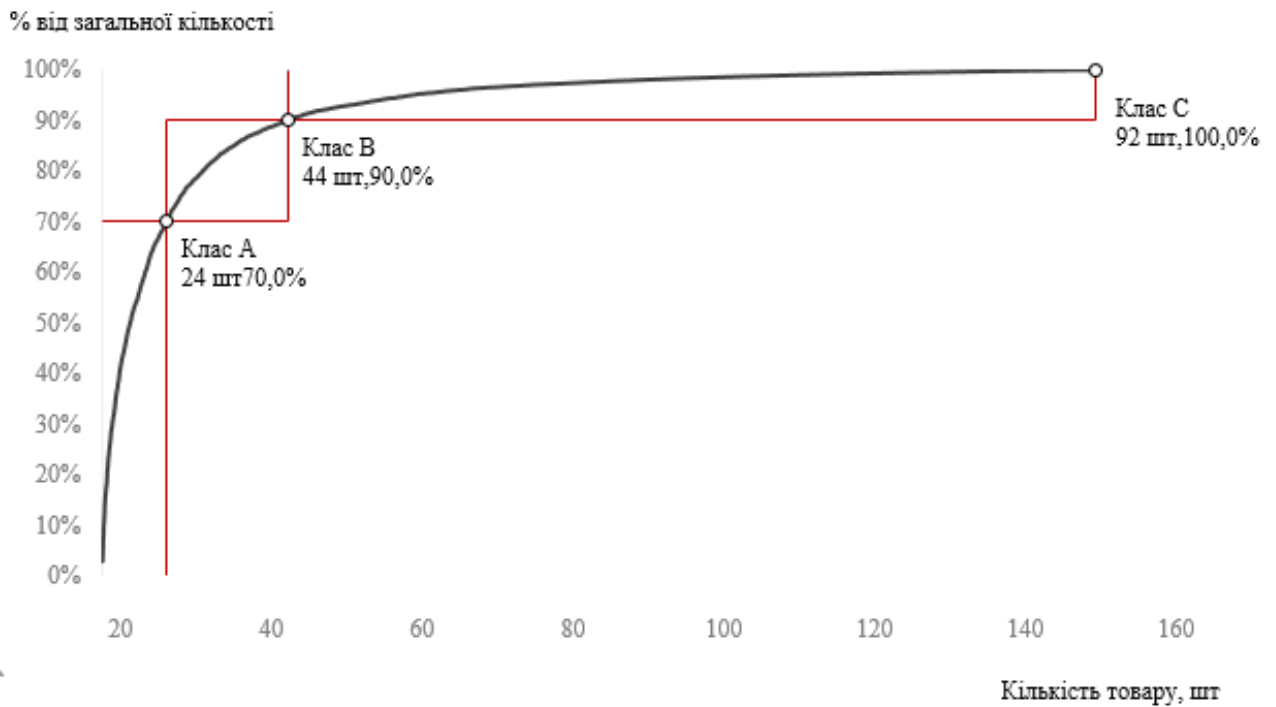


Рисунок 3.11 – Графічне представлення ABC-методу

Як правило, відвантажуванні деталі складають лише невелику частину асортименту, і розміщувати їх необхідно уздовж так званих «гарячих» зон, адже з великою вірогідністю ці деталі будуть потрібні для поточного замовлення. Уздовж «гарячих» зон можуть розміщуватися також великогабаритні товари. Продукцію, яка використовується не так часто, рекомендується розташовувати уздовж «холодних» зон.

Візуально ABC розподіл на складі з Flying-V розташуванням можна представити наступним чином (рис.3.12). Розташування слотів на складі буде має наступний вигляд: А – зона зберігання, 2 – номер стелажа, 4 – порядковий вертикальної секції, 12 – номер слоту.

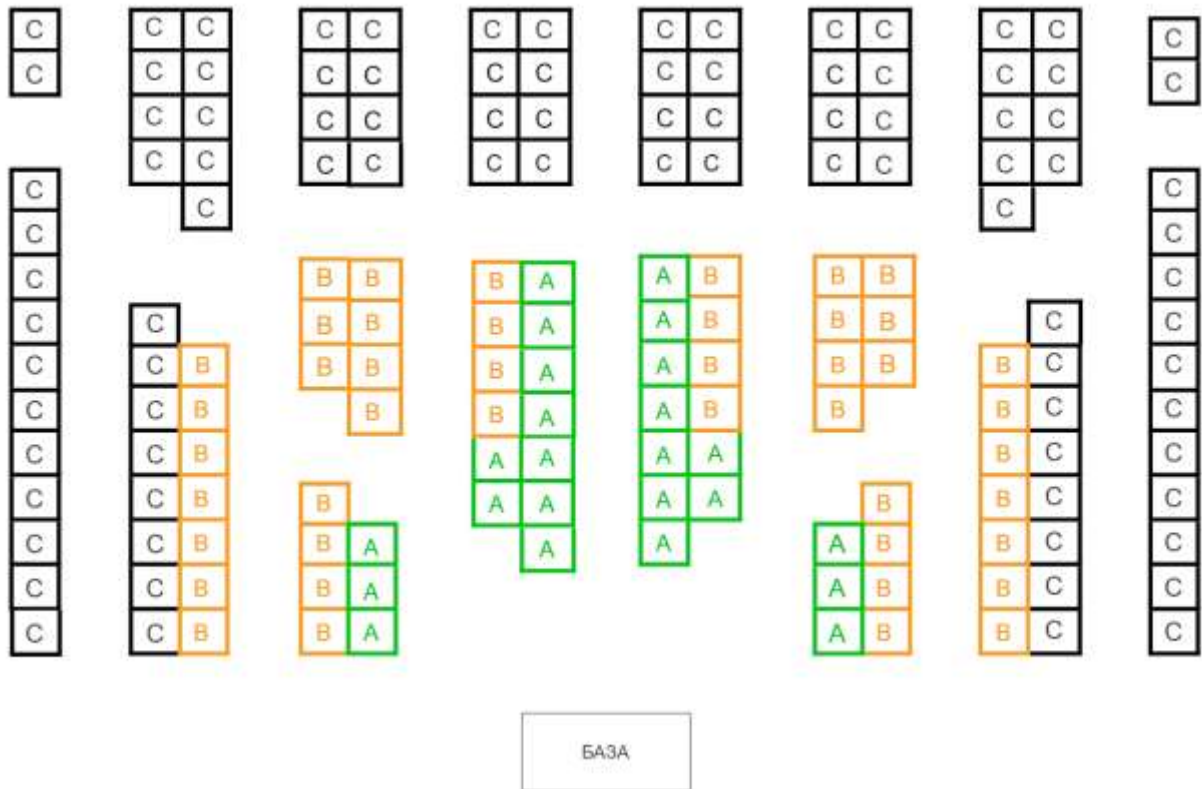


Рисунок 3.12 – Розподіл складу на ABC зони

Таким чином, застосування ABC-аналізу дає можливість підприємству:

- 1) контролювати запас товарів на складі;
- 2) визначити найпопулярніші товари і такі, що користуються найменшим попитом, що в перспективі дає змогу керівництву чи відповідним працівникам (аналітикам, маркетологам, тощо) зробити висновок про необхідність і напрями в змінах асортиментної та виробничої політики, або подальшої оптимізації виробництва загалом.
- 3) оптимізацію роботи з виробничим відділенням підприємства, тобто товари швидше потрапляють на склад та завдяки вдалому розташуванню – швидко комплектуються.

Найбільшу частину робочого часу комплектувальника займає процес переміщення між місцями збору продукції, що не дивно, адже комплектувальник не має чітких інструкцій щодо оптимальної схеми переміщення. Якщо порівнювати процес комплектування і роботу з складальним листом, то дана операція займає всього 25% часу. Процес збору замовлення відбувається

наступним чином: перш за все комплектувальник отримує список відповідної продукції (табл.3.1), яку необхідно зібрати.

Таблиця 3.1 – Заовлення №1

№	Назва товару	Кількість
1	Гайка	20
2	Датчик температури	15
3	Теплоізолятор	12
4	Кронштейн	7
5	Екран	3
6	Етикетка-4	19
7	Шайба М5	2
8	Турбулізатор	23
9	Зольник	6
10	Камера згорання	14

Вся інформація, яка доступна комплектувальнику, це назва товару та кількість, що складає проблему для орієнтування де розміщений товар і, відповідно, втрачається час на пошук потрібної точки збору, адже слотів з потрібним товаром може бути декілька. Також варто зауважити, що знайшовши потрібний слот, в ньому може бути недостатня кількість деталей, тому необхідно визначити, який слот для відповідного продукту є найбільш привабливим при комплектуванні замовлення, тобто використати таксономічну міру привабливості місцеположення (TMAL). Варто зазначити, що на етапі розрахунку показника таксономічної міри привабливості обираються тільки місця, які повинен відвідати комплектувальник, тому наступним етапом було необхідно розробити алгоритм пошуку оптимального маршруту для того чи іншого замовлення.

Цей процес можна поділити на декілька етапів, а саме:

- 1) знаходження найбільш оптимальних точок збору (слоту) продукції на основі всього замовлення;
- 2) обрахування оптимального маршруту між цими точками.
- 3) графічне представлення цього маршруту для комплектувальника.

### 3.3 Розробка веб-додатку для побудови маршрутів

Для застосування та впровадження результатів проведеного аналізу та розрахунків з метою виведення практичних рекомендацій, виникла потреба створення відповідного веб-додатку для комплектувальників, який дозволить побудувати найкращий маршрут після сформованого замовлення.

Для створення веб-застосунку була обрана мова розробки «Typescript» та фреймворк «Angular», тому що вони виконуються в середовищі браузера та не потребують встановлення на пристрій, тому створений веб-додаток може бути доступний майже з будь якого пристрою, який має доступ до мережі.

При розробці демонстративного веб додатку було враховано основні параметри відповідно до специфіки роботи комплектувальника, а саме:

- роботу із замовленнями (редагування, видалення, створення, тощо);
- візуальне представлення схеми складу;
- відображення всіх можливих розміщень товару;
- побудову найкращого маршруту для замовлення.

В подальших розробках можлива реалізація додаткового функціоналу, наприклад, розклад роботи, графік виконання плану, тощо.

#### 3.3.1 Розрахунок таксономічної міри привабливості (TMAL)

Для визначення коефіцієнта TMAL були використанні наступні змінні:

- відстань від бази (старту) до слоту;
- ступінь задоволення попиту, тобто в даному слоті міститься потрібна кількість для збору деталей;
- кількість сусідніх слотів з товарами, які входять в дане замовлення.

Як відомо показники можуть по-різному впливати на результат. Якщо вищому значенню показника відповідає вище значення результату, то даний показник є стимулятором. Якщо нижчому значенню показника відповідає вище значення результату, то даний показник є дестимулятором [34]. В нашому

випадку відстань від старту «distanceFromBase» є дестимулятором, а інші дві змінні є стимуляторами. Отже, отримавши відповідні значення можна виконувати обчислення TMAŁ для відповідного товару, тобто отримати найпривабливіше місце розташування слоту з масиву відповідних слотів для збору товару.

Обрахунок TMAŁ в програмному коді відбувається наступним чином:

1) перетворення відстані «distanceFromBase» на стимулятор (рис. 3.13):

```
storagesArray.forEach((storage) => {
    storage.distanceFromBase = 1/storage.distanceFromBase;
})
```

Рисунок 3.13 – Перетворення відстані на стимулятор

2) далі за результатами опитування експертів було визначено вагові коефіцієнти, що характеризують вагу для кожної змінної  $w_i$ . Оголошення змінних і присвоєння вагових коефіцієнтів представлено на рис. 3.14:

```
var weightForDistanceFromBase = 0.3;
var weightDetailsRequestRatio = 0.4;
var weightNearStoragesAmount = 0.3;
```

Рисунок 3.14 – Оголошення змінних з присвоєнням коефіцієнтів

3) обрахування (рис. 3.15) та запис в зміні відповідних мінімальних та максимальних значень (рис. 3.16) для обрахування евклідової відстані (рис. 3.17):

```
function returnArrayMinMaxByObjectKey(storagesArray, key){
    var arr = storagesArray.slice()
    arr.sort((a,b) => a[key]-b[key]);
    return { min: arr[0][key], max: arr[arr.length-1][key] }
}
```

Рисунок 3.15 – Знаходження мінімальних та максимальних значень

```
var distanceFromBaseMin = returnArrayMinMaxByObjectKey(storagesArray, 'distanceFromBase').min;
var distanceFromBaseMax = returnArrayMinMaxByObjectKey(storagesArray, 'distanceFromBase').max;

var detailsRequestRatioMin = returnArrayMinMaxByObjectKey(storagesArray, 'detailsRequestRatio').min;
var detailsRequestRatioMax = returnArrayMinMaxByObjectKey(storagesArray, 'detailsRequestRatio').max;

var nearStoragesAmountMin = returnArrayMinMaxByObjectKey(storagesArray, 'nearStoragesAmount').min;
var nearStoragesAmountMax = returnArrayMinMaxByObjectKey(storagesArray, 'nearStoragesAmount').max;;
```

Рисунок 3.16 – Запис мінімальних та максимальних значень

```
function findValue(value, min, max){
    return (value - min)/(max - min);
}
```

Рисунок 3.17 – Обчислення евклідової відстані

4) обрахування значення показника таксономічної міри привабливості та запис в відповідну зміну (рис. 3.18):

```
var modifiedStorages = [];

storagesArray.forEach(storage => {
    var x1 = findValue(storage.distanceFromBase,
        distanceFromBaseMin,
        distanceFromBaseMax) * weightForDistanceFromBase;

    var x2 = findValue(storage.detailsRequestRatio,
        detailsRequestRatioMin,
        detailsRequestRatioMax) * weightDetailsRequestRatio;

    var x3 = findValue(storage.nearStoragesAmount,
        nearStoragesAmountMin,
        nearStoragesAmountMax) * weightNearStoragesAmount;

    var tmal = x1 + x2 + x3;

    modifiedStorages.push({ name: storage.name, value: tmal })
});
```

Рисунок 3.18 – Розрахунок TMAL

На даному етапі інтерфейс кожного слоту у веб-додатку представлено наступним чином (рис. 3.19):

```
{
    name: string,
    routeLengthFromStart: number,
    productType: string,
    productCapacity: number,
    coordinates: { x: number, y: number }
}
```

Рисунок 3.19 – Інтерфейс слоту

де «name» це – кодова назва слоту;

«routeLengthFromStart» – відстань від старту до слоту;

«productType» – це тип продукту, який зберігається в даному слоті;

«productCapacity» – загальна кількість продукту;

«coordinates» – координати для схематичного відображення.

З представленого інтерфейсу для обрахунку TMAI використовується значення полів «routeLengthFromStart» та «productCapacity».

Відповідно для товару інтерфейс буде мати наступний вигляд (рис. 3.20)

```
{
    name: string,
    fillStyle: string,
    bestStorage: Storage,
    amount: number,
    storages: Storage[]
}
```

Рисунок 3.20 – Інтерфейс деталей

де «name» це – назва товару;

«fillStyle» – колір для підсвічування відповідних деталей, якщо вони знаходяться більше ніж в одному місці;

«bestStorage» – найкращий слот за результатами TMAI обчислень;

«amount» – кількість одиниць товару;

«storages» – це масив слотів, де зберігається продукт даного типу.

### 3.3.2 Інструкція для користувача

Інформаційна система головної сторінки демонстративного веб-додатку має наступний вигляд (рис. 3.21) і містить такі структурні елементи:

- 1) бокове меню, з такими сторінками як: головна, замовлення, календар, довідка;
- 2) кількість поточних замовлень, які необхідно виконати;
- 3) кількість виконаних замовлень;
- 4) макет складу розташований за Flying-V методом та розподілений на зони ABC;
- 5) список поточних замовлень.

Для створення замовлення необхідно перейти на екран «Замовлення» та натиснути на кнопку «Сформувати нове замовлення» (1) (рис 3.22).

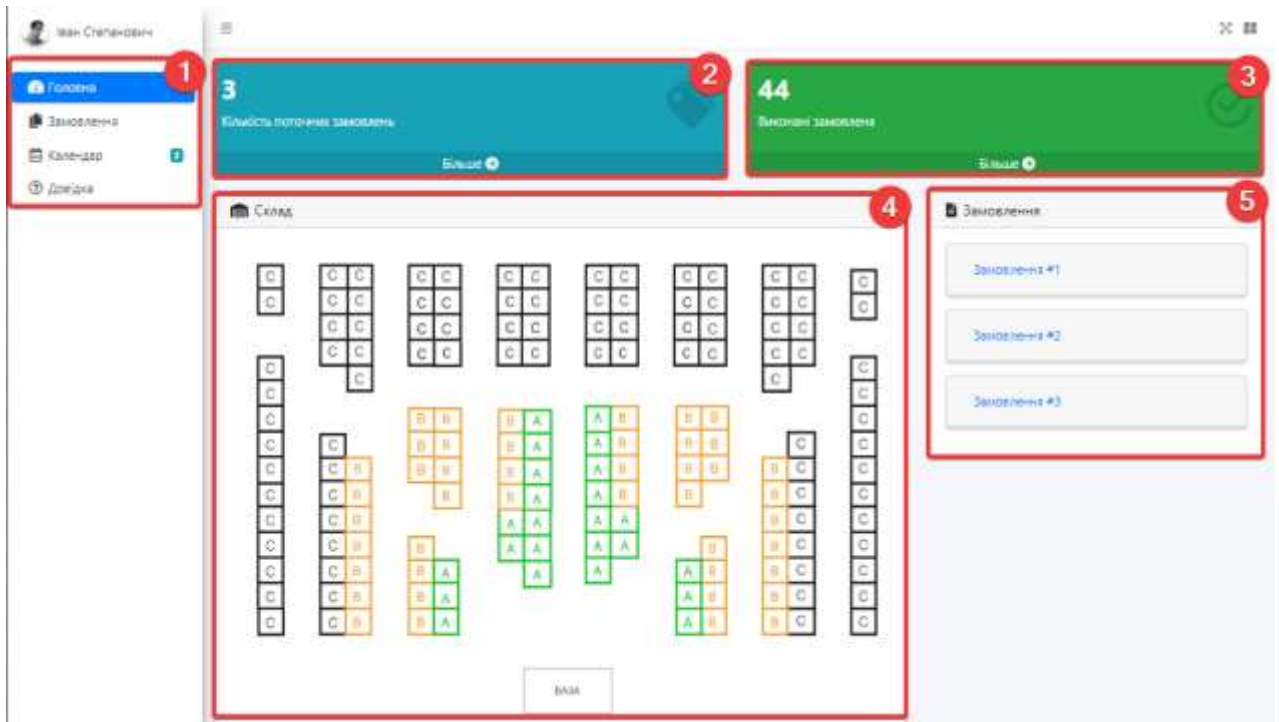


Рисунок 3.21 – Головна сторінка веб додатку

Також на рис. 3.22 відображається список поточних (2) і виконаних (3) замовлень.

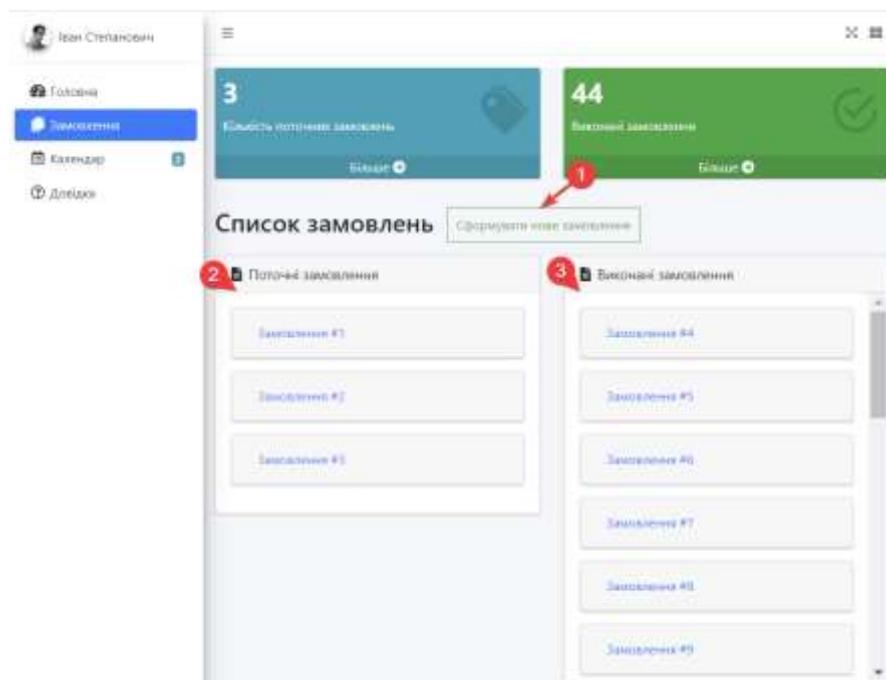


Рисунок 3.22 – Екран «Замовлення»

Після натиснення кнопки «Сформувати замовлення» з переліку товарів за допомогою кнопки «+» (1) виконується додавання товару в замовлення, іншими словами – складальний лист (рис 3.23). Якщо товар було додано випадково, або зникла потреба в його наявності, то потрібно натиснути на кнопку «-» (2) і непотрібний товар видалиться з цього листа. Далі в поле «Кількість» вводиться потрібна кількість відповідних деталей (3) і для створення складального листа натискається кнопка «Зберегти» (4).

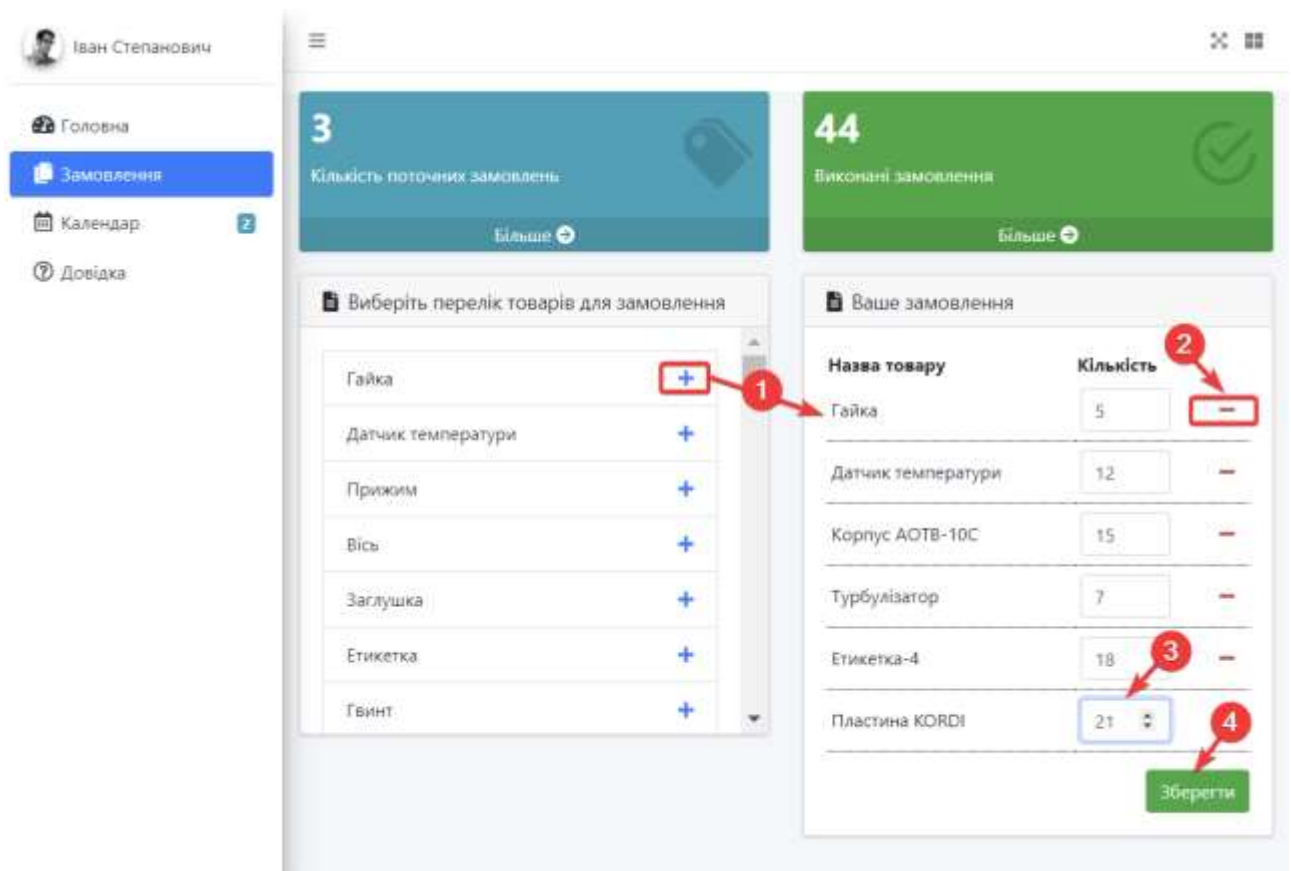


Рисунок 3.23 – Створення замовлення

Після збереження, сформоване замовлення відображається на головній сторінці веб додатку. Для кожної деталі в списку замовлення було надано випадковий колір комірки для подальшого відображення слотів на схемі складу. За результатами ТМАЛ в полі «Розташування» відображається найпривабливіше місце слоту. Не зважаючи на те, що найпривабливіший слот вже пораховано для

комплектувальника існує можливість подивитись всі існуючі слоти з цим товаром, натиснувши на відповідний товар.

Розгорнутий вигляд замовлення представлений на рис. 3.24 і містить наступні структурні елементи:

- 1) сформоване замовлення, яке містить колір, розташування, назву та кількість відповідної деталі;
- 2) всі можливі розташування деталі «Гайка» представлені відповідним кольором;
- 3) кнопка «Маршрут» використовується для побудови маршруту;
- 4) кнопка «Виконано» натискається після комплектації всіх замовлень;
- 5) кнопка «Друк» використовується для друку даного замовлення з побудованим маршрутом.

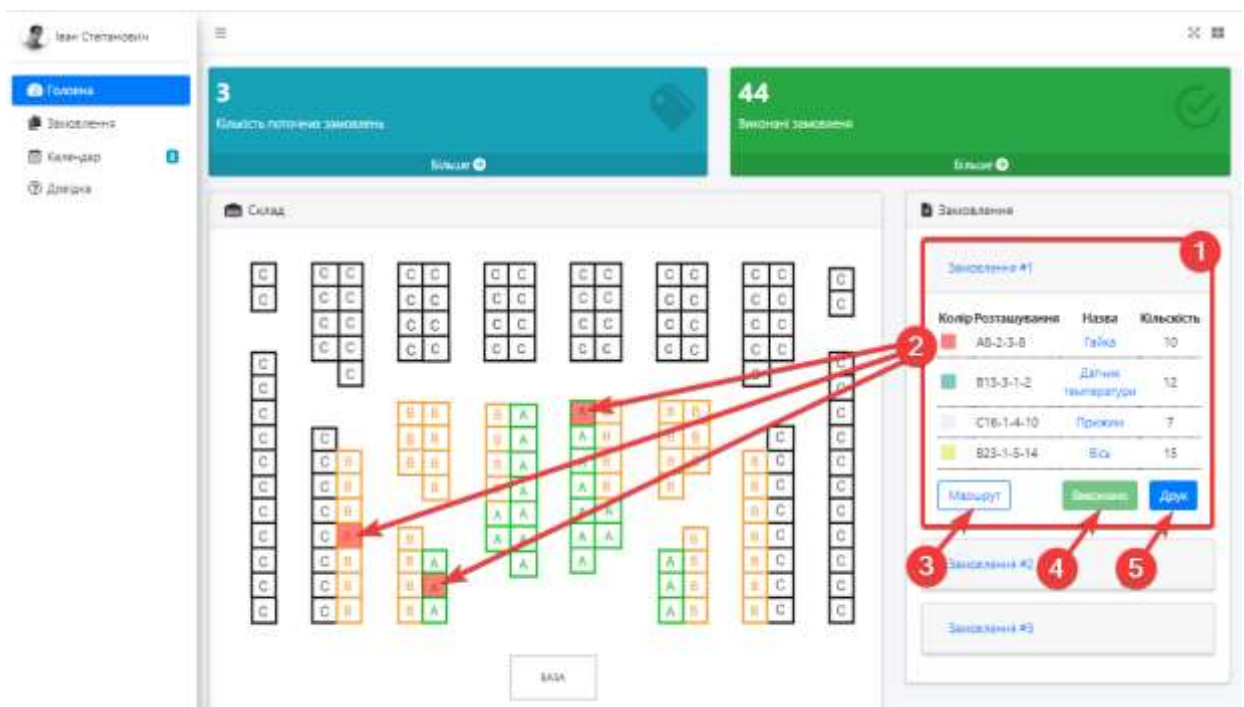


Рисунок 3.24 – Сформоване замовлення

Слід зазначити, що на етапі розрахунку показника таксономічної міри привабливості не визначається маршрут, який повинен пройти працівник складу, а лише місця, які він повинен відвідати. Тому на наступному етапі побудуємо маршрут, використовуючи евристичні методи маршрутизації.



На рис.3.26 представлена імітація руху комплектувальника за Return методом.

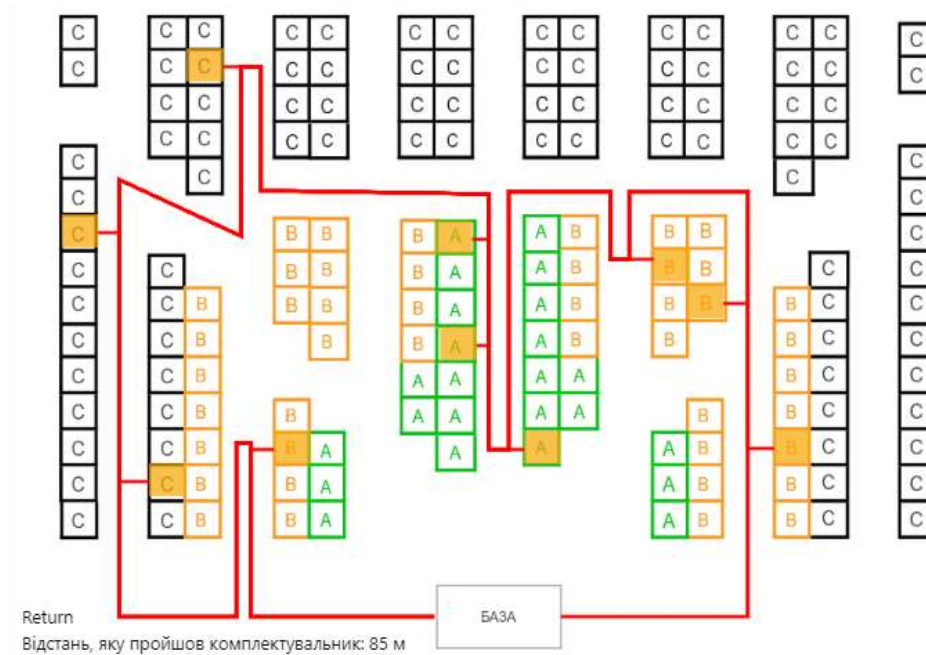


Рисунок 3.26 – Маршрут руху комплектувальника за Return методом

На рис.3.27 представлена імітація руху комплектувальника за Midpoint методом.

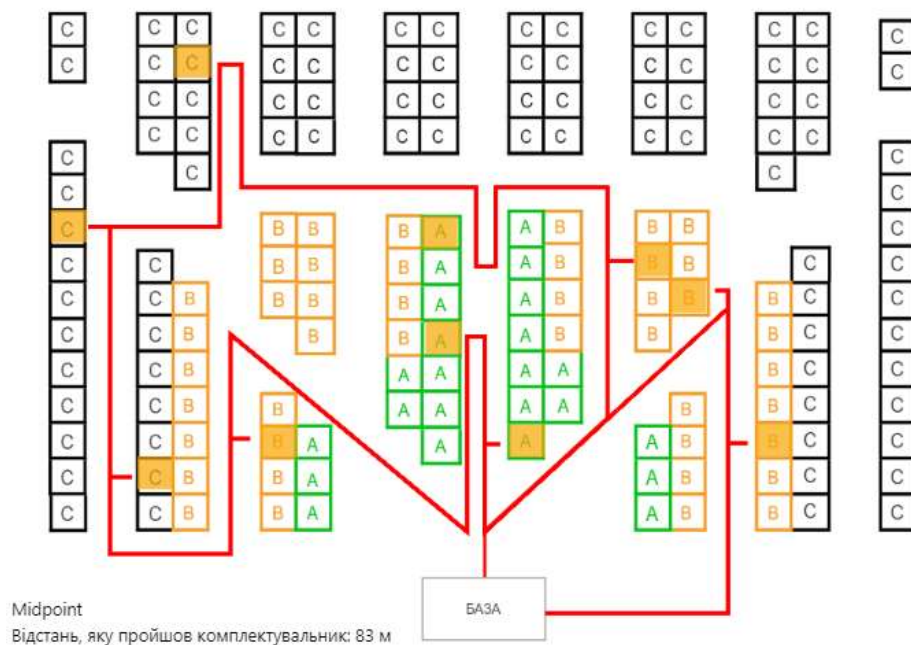


Рисунок 3.27 – Маршрут руху комплектувальника за Midpoint методом

На рисунку 3.28 представлена імітація руху комплектувальника за Combined методом.

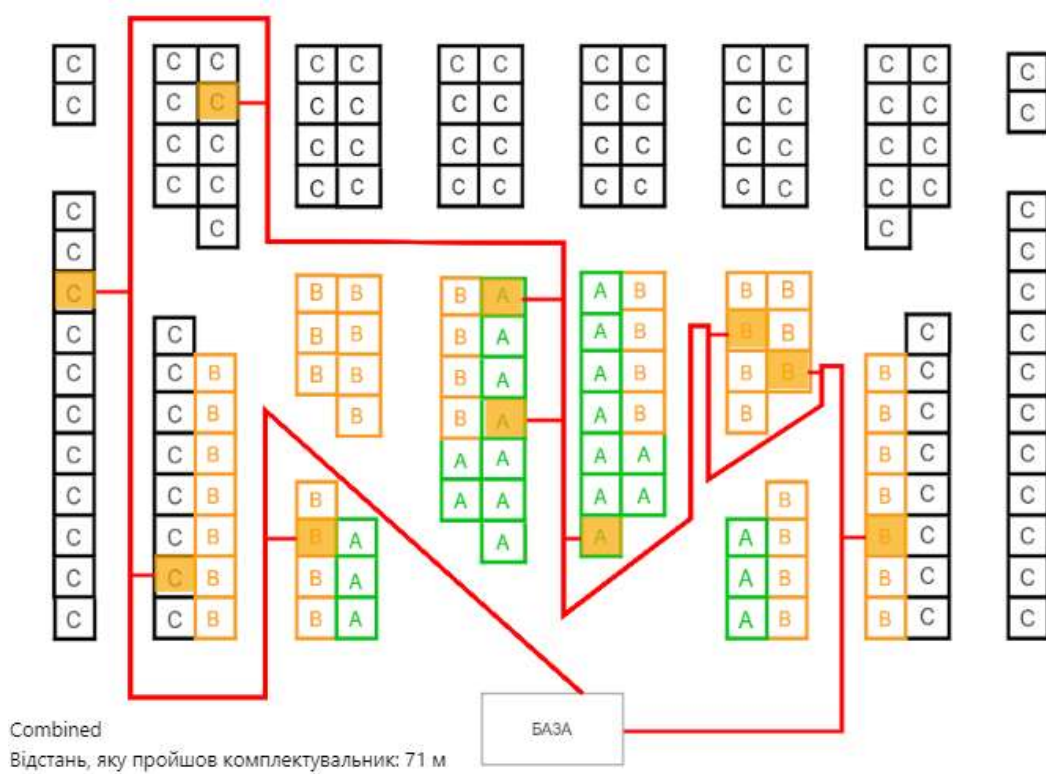


Рисунок 3.28 – Маршрут руху комплектувальника за Combined методом

За результатами побудованих маршрутів найкращим методом виявився Combined (3.29), відстань якого становить 71 м.

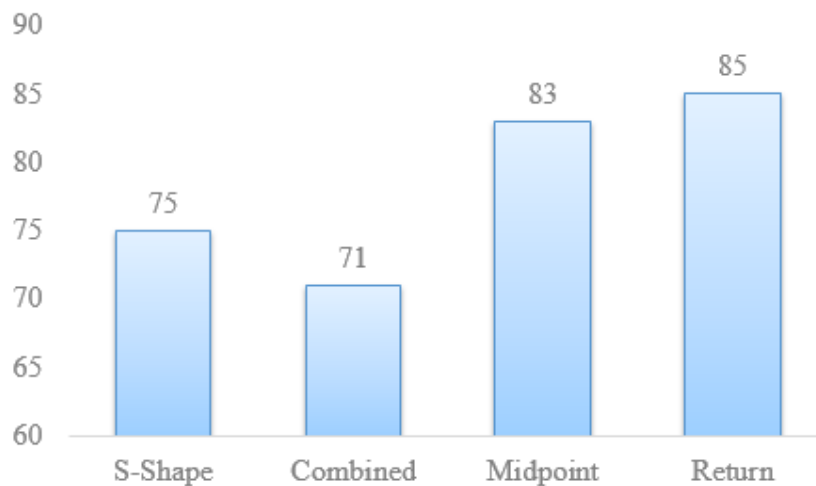


Рисунок 3.29 – Результати відстаней для кожного маршруту в метрах

Для визначення який маршрут дає найкращі результати недостатньо відстаней одного замовлення, тому був проведений дослід на 15 замовленнях. Результати дослідження представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати дослідження

№ замовлення	Return	S-Shape	Combined	Midpoint
1	78	54	62	74
2	63	64	61	76
3	86	59	63	82
4	72	62	73	85
5	73	61	71	73
6	80	58	68	69
7	89	59	70	71
8	91	65	71	77
9	72	75	59	84
10	78	59	63	89
11	92	57	73	72
12	67	59	62	77
13	84	67	72	74
14	93	72	59	70
15	83	61	59	88
Середнє значення (метри)	80,07	62,13	65,73	77,40

На основі отриманих розрахунків можна зробити висновок, що найкращі результати (найкоротшу відстань) можна отримати за допомогою S-Shape методу (рис. 3.30).

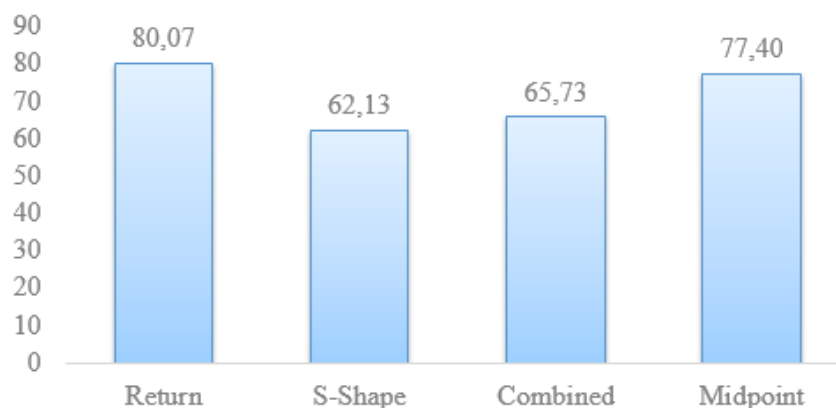


Рисунок 3.30 – Результати відстаней в метрах на основі дослідження

Середня відстань, яку проходить комплектувальник з використанням S-Share методу становить 62 м. В результаті чого працівник витрачає менше часу для збору замовлення, порівняно з іншими методами і, відповідно, може виконати більше замовлень протягом робочої зміни.

Загальну роботу веб-додатку можна представити у вигляді рис.3.31.



Рисунок 3.31 – Схема роботи веб-застосунку

### 3.4 Розробка рекомендацій для оптимізації складської діяльності на підприємстві «КАЗ»

Підвищити ефективність складу можливо за допомогою застосування сучасних технологій і правил організації роботи складу. В наслідок чого, був створений власний підхід «Warehouse», впровадження якого оптимізує складські операції.

Концепція «Warehouse» – гнучка і адаптивна система процесів розташування стелажів, розподілу слотів, вибір найпривабливішого місця розташування та сама комплектації замовлення, яка здатна швидко і з мінімальними витратами перелаштовуватися в залежності від методу розташування складу, від змін попиту на асортимент товарів та використаних методів маршрутизації.

Основна відмінність концепції «Warehouse» від звичайної оптимізації полягає в тому, що в даній концепції є можливість швидкої зміни його топології, розмітки, обсягів технологічних зон, схем руху комплектувальників. Отже, правильна послідовність впровадження етапів забезпечує успішне функціонування складу і підприємства в цілому.

Відповідно до концепції «Warehouse» на складі рекомендуються використовувати наступні методи:

1. Flying-V метод дозволяє ефективно використовувати складську площу;
2. ABC класифікація дозволяє скоротити внутрішньо-складські переміщення і підвищити швидкість комплектації замовлень;
3. таксономічна міра привабливості (TMAL) дозволяє визначити найпривабливіше місцеположення товару;
4. евристичні методи маршрутизації (S-Shape, Return, Combined).

Складові концепції «Warehouse» представлені на рис. 3.32.



Рисунок 3.32 – Складові концепції «Warehouse»

Запропонована концепція може бути легко застосована до інших типів складів, наприклад, для зберігання продуктів, техніки, запчастин, будівельних матеріалів, оскільки вони не прив'язані до виду продукції і запропоновані методи засновані на моделях маршрутизації, які підтримують різні типи проблем. Досвід застосування концепції «Warehouse» на ДП «КАЗ» показує, що дане впровадження підвищує ефективність функціонування складу будь-якого розміру та типу.

## ВИСНОВКИ

Організація діяльності складу є одним із ключових етапів у розвитку кожного підприємства, адже всі товарно-матеріальні цінності проходять через склад. Робота присвячена оптимізації складських процесів, зокрема комплектації замовлень, на складі державного підприємства «Красилівський агрегатний завод».

Відповідно до завдань дипломної роботи було розглянуто основні аспекти та процеси складської діяльності на досліджуваному підприємстві.

Аналізуючи останні публікації і дослідження було визначено основні проблеми організації процесу комплектації на складі, серед яких: неефективне використання складських площ розташування стелажів; нерівномірне навантаження на технологічні зани; складні в застосуванні алгоритми маршрутизації; довготривалий процес обробки замовлень, тощо.

В результаті для ефективного використання складських площ було виконано розташування стелажів за Flying-V методом. Для рівномірного навантаження товарів на технологічні зани проведено аналіз асортименту товарно-матеріальних цінностей на складі, які були розміщені за ABC методом, в результаті чого товари класу А розмістили у «гарячій», а товари класу В і С – «холодній» зонах.

Побудовано математичну модель комплектації замовлень на основі якої реалізовано веб-додаток для побудови маршрутів. В ході дипломної роботи використовувались реальні дані щодо формування замовлень на державному підприємстві «КАЗ». Перш ніж будувати маршрут, було визначено місця, в яких необхідно зібрати деталі та комплектуючі, за допомогою Таксономічної міри привабливості місцеположення (TMAL). Використовуючи веб-додаток було побудовано маршрути за різними евристичними методами і на основі отриманих розрахунків встановлено, що найкращі результати (найкоротшу відстань) можна отримати за допомогою Combined евристики.

Для підтвердження цього результату було сформовано і досліджено 15 замовлень, визначено найпривабливіші місцеположення деталей на основі

яких побудовано маршрути руху комплектувальника для визначення найкращого результату. Виходячи з отриманих результатів, встановлено, що визначення найпривабливіших місць, які слід відвідати з використанням S-Shape евристики скорочує шлях, який проходить працівник складу при комплектуванні замовлень.

Розроблено власну концепцію «Warehouse», застосування якої дозволяє оптимізувати один із найголовніших процесів – комплектацію замовлень. На основі результатів сформовані практичні рекомендації, щодо вдосконалення складської діяльності підприємства. Використовуючи запропоновані рекомендації, а саме впровадження підходу «Warehouse» керівництво державного підприємства підвищило ефективність складської діяльності.

Отже, в результаті виконання всіх поставлених завдань було успішно досягнуто мету дипломної роботи.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Старикова Л.Н. Внедрение современных технологий для управления товарными запасами на торговых предприятиях./ Л.Н. Старикова //Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. – Пермь, – 2017. – №4. – С. 257–283.
2. Кашникова, И. В. Теоретико-методологические основы логистики : учебно-методическое пособие / И. В. Кашникова. – Минск : БГУИР, 2019. – 74 с.
3. Мишина Л.А. Учебное пособие по логистике: Научная книга / Л.А. Мишина – Саратов, – 2012. – 920 с.
4. Ложечник, Е. А. Оптимизация складского комплекса предприятия на основе рационализации и автоматизации основных процессов / Е. А. Ложечник // Транспортное дело России. – 2010. – № 3. – С. 22-25.
5. Бабина О.И. Имитационная модель склада промышленного предприятия./ И.О. Бабина// Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». Бизнес-информатика. – Москва, – 2015. – № 1 (31).–С. 41–50.
6. Tarczyński G. Wielokryterialna ocena procesu kompletacji towarów w magazynie.//Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach. – 2013. – P. 222.
7. Petersen. C., Aase G. Improving Order Picking Efficiency with the Use of Cross Aisles and Storage Policies. //Open Journal of Business and Management, – 2017. –No 5. – P. 95-104.
8. Пензев В. Н. Средства комплектации при подборе заказов./ В.Н. Пензев // Журнал «Склад & техника». – Москва, – 2017. –№ 10. – С. 40-43.
9. Иванов Г. Г. Складская логистика: учебник / Г. Г. Иванов, Н. С. Киреева // М.:ИД «ФОРУМ»:ИНФРА-М. Москва, – 2016. – 192 с.
10. Кравченко В.Н. Система складирования: хранение и комплектация заказов. URL: [http://modeling.at.ua/blog/warehousing\\_storage\\_picking\\_systems/2017-11-12-24](http://modeling.at.ua/blog/warehousing_storage_picking_systems/2017-11-12-24) (дата звернення: 09.09.2020).

11. Оганисян А.А. Теоретические Основы организации складского хранения./ А.А. Оганисян // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2019. – №3 (14). – С. 78-84.

12. Илесалиев, Д.И. К вопросу о схеме размещения стеллажей на складе / И.Д. Илесалиев // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – Брянск, – 2017. – № 1. – С. 99-106.

13. Илесалиев Д. И. Влияние расположения проходов между стеллажами на показатели работы склада водного транспорта./ Д. И. Илесалиев, Е.К.Коровяковский // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2015, – №6(34). – С. 52-59.

14. Щетинина И.В. Повышение конкурентоспособности промышленного предприятия на основе формирования «бережливого склада»./ И.В. Щетинина, С.В. Амелин, В.Н. Родионова // Воронежский государственный технический университет. Организатор производства. – Воронеж, –2019.– №4. –С. 78-90.

15. Li Zhou, Xiani Fan, Jinlong Wang, Senhao Wang, Ning Cao, Mei Wu. A Random Classified-Storage Picking Path Model for V-Type Storage Layout, Complexity. –2020 – Vol.20 – P.12.

16. Коробков Е.В. Процесс комплектования заказов на складе./ Е.В. Коробков// Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. – 2015. – № 3. – С. 153-183.

17. Рудницька, О. Управлінський облік товарних запасів у місцях зберігання на торговельних підприємствах./ О.Рудницька // Інститут бухгалтерського обліку, контроль та аналіз в умовах глобалізації : міжнародний збірник наукових праць – 2016. – № 3. – С. 45-57.

18. Морковина С.С., Фурсова С.В. ABC-анализ как инструмент оперативного планирования основной деятельности организации./ С.С. Морковина, С.В. Фурсова // Экономический анализ: теория и практика. Москва, – 2012. – № 38. – С. 2-8.

19. Van Heerden, Van Vuuren. Optimisation of stock keeping unit placement in a retail distribution centre.// South African Journal of Industrial Engineering. – 2018. – Vol 29, – No 2. – P.74-91.

20. Коробков Е. В. Процесс комплектования заказов на складе. Задача маршрутизации сборщиков заказов./ Е. В Коробков //Машиностроение и компьютерные технологии. – 2015. – №. 4.

21. Sabo-Zielonka, A., Tarczyński, G. Porównanie czasów kompletacji zamówień 3 dla różnych sposobów wyznaczania trasy magazynierów na przykładzie dużego centrum 4 logistycznego.// Ekonometria. –2014. – Vol. 2, – No 44, P. 62-81.

22. Szada-Borzyszkowska M., Szada-Borzyszkowski W. Usprawnienie trasy 6 kompletacji zamówienia w magazynie części do montażu pojazdów samochodowych. // Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe. – 2017– Vol.18, – No 7-8.–P. 271-274.

23. ABC, XYZ Анализ. Объемно-стоимостной анализ в Qlik. Принцип Парето. URL: <https://1c-predpriyatie-qlik.ivan-shamaev.ru/abc-xyz-analiz-obemno-stoimostnoj-analiz-princip-pareto-qlik/> (дата звернення: 10.09.2020).

24. Kudelska I. Metoda wyboru zmiennych miejsc składowania w magazynie.// Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania, Rozprawa doktorska. – Poznań, – 2016.

25. Кулаковська І. В. Логістика та методи логістичного аналізу: методичні рекомендації до виконання практичних робіт / В. Кулаковська. – Миколаїв: Видавництво ЧДУ імені Петра Могили, 2016. – 88 с.

26. Sánchez González D. Warehouse order picking. Bachelor's Thesis D. Sánchez González.// Universitat Politècnica de Catalunya. – 2014. – P.43.

27. Державна аудиторська служба України: Аудиторський звіт за результатами державного фінансового аудиту діяльності державного підприємства «Красилівський агрегатний завод», Красилів – 2016. – С. 57.

28. Dmytrów K. Wpływ wag w metodach TOPSIS i TMAL na czas kompletacji produktów–analiza symulacyjna //Studia i Prace WNEiZ US. – 2018. – Vol.54, No 3. – С. 131-143.

29. Dmytrów K. Taksonomiczne wspomaganie wyboru lokalizacji w procesie kompletacji produktów //Studia ekonomiczne. – 2015. – No 248. – С. 17-30.

30. Dmytrów K. Uwzględnianie czasu pobrań w wyborze lokalizacji odwiedzanych przez magazyniera podczas kompletacji produktów //Studia i Prace WNEiZ US. – 2016. – Vol. 45, No 1. – С. 229-240.

31. Ульянова И.В. Роль математических задач в обучении учащихся эвристикам. И.В. Ульянова // Наука и школа. – 2019. – №4. – С.135-143.

32. Sánchez González D. Warehouse order picking : дис. – Universitat Politècnica de Catalunya, 2014.

33. Новые технологии в складских операциях. URL: <https://www.fnc-group.ru/novie-technologii-v-skladskix-operaciyax.html> (дата звернення: 7.10.2020)

34. Кучерук О. Я. Таксономічна міра привабливості місцеположення в оптимізації процесу комплектації замовлень./ О. Я. Кучерук, О. І. Злотаренчук // Проблеми системного підходу в економіці. – 2020. – № 5. – С.148-153.

35. Злотаренчук О. І. Сучасні підходи до організації маршрутів комплектації замовлень на складі./ О. І. Злотаренчук, О. Я. Кучерук // Збірник наукових праць за матеріалами XI всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2020» – Хмельницький: ХНУ, – 2020. – С.123-126.

## ДОДАТОК А (довідковий)

Матеріали фахового збірника наукових праць №5 (79)

«Проблеми системного підходу в економіці»

148 

---

 ПРОБЛЕМИ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ В ЕКОНОМІЦІ

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 658.78

DOI: <https://doi.org/10.32782/2520-2200/2020-5-21>

**Кучерук О.Я.**

кандидат педагогічних наук, доцент,  
доцент кафедри телекомунікацій,  
медійних та інтелектуальних технологій  
Хмельницького національного університету

**Злотаренчук О.І.**

магістрант  
Хмельницького національного університету

**Kucheruk Oksana, Zlotarenchuk Olena**  
Khmelnitsky National University

### ТАКСОНОМІЧНА МІРА ПРИВАБЛИВОСТІ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ В ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ КОМПЛЕКТАЦІЇ ЗАМОВЛЕНЬ

### TAXONOMIC MEASURE OF THE ATTRACTIVENESS OF LOCATION IN OPTIMIZATION OF THE PROCESSING PROCESS

Організація діяльності складу є одним із ключових етапів у розвитку промислового підприємства. Оптимізувати роботу складу підприємства і, відповідно, мінімізувати витрати та підвищити прибутковість виробництва можливо за допомогою застосування сучасних управлінських технологій і правил організації роботи складу. Однією з особливих проблем у складському процесі є пошук і комплектація замовлень. Покращення ефективності процесу комплектації замовлень може бути досягнуто, зокрема, завдяки оптимізації маршруту руху працівника складу під час збору замовлення та реорганізації розподілу комплектуючих у зоні зберігання. Проте, перш ніж вибрати шлях, який повинен пройти працівник складу, необхідно визначити місця, які слід відвідати. Їх вибір не завжди очевидний. У статті для визначення місць, які слід відвідати для комплектації замовлення, використовується показник таксономічної міри привабливості місцеположення.

**Ключові слова:** склад, розташування деталей, таксономічна міра привабливості місцеположення, комплектація замовлення.

Организация деятельности склада является одним из ключевых этапов в развитии промышленного предприятия. Оптимизировать работу склада предприятия и, соответственно, минимизировать расходы и повысить прибыльность производства возможно с помощью применения современных управленческих технологий и правил организации работы склада. Одной из особых проблем в складском процессе является поиск и комплектация заказов. Повышение эффективности процесса комплектации заказов может быть достигнуто, в частности, благодаря оптимизации маршрута движения работника склада во время сбора заказа и реорганизации расположения деталей и комплектующих в зоне хранения. Однако, прежде чем выбрать путь, который должен пройти работник склада, необходимо определить места, которые следует посетить. Их выбор не всегда очевиден. В статье для определения мест, которые следует посетить с целью комплектации заказа, используется показатель таксономической меры привлекательности местоположения.

**Ключевые слова:** склад, расположение деталей, таксономическая мера привлекательности местоположения, комплектация заказа.

The organization of the warehouse is one of the key stages in the development of an industrial enterprise. For an industrial enterprise, the correct storage of parts and their transfer to the production line is the basis for the functioning of the entire enterprise. It is possible to optimize the work of the warehouse of the enterprise through the use of modern management technologies and rules of organization of the warehouse. One of the special problems in the warehousing process is the search and completion of orders. Optimizing the route of the warehouse employee during the collection of orders and reorgani-

zation of the distribution of components in the storage area will improve the efficiency of the ordering process. Completing orders is the most time consuming operation. It is the completion of orders that determines the efficiency of the entire warehouse complex. Therefore, to optimize the operation of the warehouse it is necessary to develop effective motion algorithms. Warehousing should be organized in such a way as to ensure a minimum trajectory when completing orders. However, before choosing the path that a warehouse worker should take, it is necessary to determine the places to visit. Their choice is not always obvious. The purpose of the article is to determine the optimal combination of places that should be visited by a warehouse employee during the completion of the order. This problem is not easy to solve, because many criteria must be optimized simultaneously. To determine the places to visit to complete the order, the authors use the taxonomic measure of the attractiveness of the location. The proposed method was to select the selected places to visit as close as possible to each other. This allows you to fulfill the order in one place, taking into account the maximum approach to the starting point (start). The research was conducted at the «Krasyliv Aggregate Plant», which specializes in domestic and solid fuel boilers. Diagnostic variables were determined for the composition of this enterprise, the weighting factor was set by experts for each variable and the calculation of the value of the taxonomic measure of the attractiveness of the location was demonstrated.

**Key words:** warehouse, warehousing activity, arrangement of details, degree of attractiveness, complete set of the order, joint storage.

**Постановка проблеми.** Ефективне функціонування будь-якого підприємства насамперед залежить від злагодженої діяльності всіх його підрозділів. Послідовність процесів на підприємстві, а також їх скоординованість є дуже важливими. Будь-які перебої в одному підрозділі згубно впливають на тривалість та ефективність усіх процесів, що відбуваються на підприємстві, та знижують конкурентну перевагу підприємства. Одним зі шляхів досягнення конкурентної переваги підприємства є поліпшення функціонування всіх його процесів.

Організація діяльності складу є одним із ключових етапів у розвитку промислового підприємства. Зберігання стало стратегічною зброєю, яку багато компаній використовують для поліпшення своїх конкурентних позицій [1]. У сучасних умовах скорочення складських витрат стає вкрай актуальним для будь-якого підприємства та вимагає змін в організації діяльності складу. Тому підприємства перебувають у пошуках нових способів, що дають змогу підвищити ефективність функціонування складу і зменшити витрати на операції всередині складу.

Оптимізувати роботу складу підприємства і, відповідно, мінімізувати витрати та підвищити прибутковість виробництва можливо за допомогою застосування сучасних управлінських технологій і правил організації роботи складу. Проте, незважаючи на існування різних методів і систем для оптимізації складського процесу, сучасний процес складування не можна назвати ідеальним. Однією з особливих проблем у складському процесі є пошук і комплектація замовлень. Ця операція є найбільш трудомісткою. За деякими дослідженнями, витрати на пошук і комплектацію замовлень становлять до 55% всіх операційних витрат складського процесу [2].

Для промислового підприємства правильне зберігання деталей та їх передача на виробничу лінію є основою для функціонування всього підприємства. Навіть невелика помилка або затримка доставки деталей може призвести до зупинки виробничої лінії. Отже, важливою проблемою, яку слід вирішити на багатьох підприємствах, є впорядкування процесу потоку деталей, що дає змогу скоротити час, необхідний для доставки деталей зі складу до виробничої лінії.

Ефективність процесу комплектації замовлень залежить від багатьох факторів. Одним із найважливіших факторів є продуктивність працівників, які виконують процес комплектації, оскільки найпопулярнішою системою складування деталей є система «людина до товару», в якій працівник складу відвідує локалізації розміщення комплектуючих (стелажі, на яких розміщено потрібні деталі) та вручну відбирає потрібну кількість відповідних комплектуючих [3]. Покращення ефективності процесу комплектації замовлень може бути досягнуто, зокрема, завдяки оптимізації маршруту руху працівника складу під час збору замовлення та реорганізації розподілу комплектуючих у зоні зберігання [4].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідженням теоретичних основ та проблем складської діяльності підприємств присвячено роботи багатьох зарубіжних і вітчизняних учених: Д. Ілесалієва, Є. Коробкова, І. Кулаковської, В. Пензєва, В. Родіонова, О. Рудницької, Л. Старікова, І. Щетиніна, S. Altarazi, J. Bartholdi, K. Dmytrów, H. Chan, S. Hackman, K. Pang, G. Tarczyński.

Зокрема, Д. Ілесалієв [5] показав вплив розміщення стелажів на складах на скорочення експлуатаційних витрат. Роботи В. Коробкова, G. Tarczyński та A. Sabo-Zielonka [6], K. Dmytrów

[7; 8] присвячені питанню мінімізації маршруту комплектувальника під час збору товарів згідно із замовленням.

**Метою статті** є визначення оптимальної комбінації місць, які слід відвідати працівнику складу під час комплектації замовлення, з використанням показника таксономічної міри привабливості місцеположення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Склади промислових підприємств – невід’ємна частина загального технологічного процесу виробництва. Правильно організоване складське господарство сприяє підвищенню ритмічності й організованості виробництва [9]. Під час планування, управління та поліпшення сучасних складських операцій потрібен набагато професійніший підхід до складського зберігання, ніж раніше [1].

У багатьох наукових дослідженнях розглядалося завдання мінімізації витрат на комплектацію замовлень через пошук найшвидшого способу зібрати потрібний товар. У разі «ручного» збору типу «людина до товару», як зазначає G. Tarczyński, це рівносильне оптимізації довжини маршруту, яким рухається працівник складу, щоб зібрати товар за переліком [6]. Це виправдано, оскільки на пересування працівника по складу під час комплектації замовлення витрачається найбільше часу всього процесу комплектації.

Маршрут працівника, що проходить через склад під час збору, можна порівняти з маршрутом, пройденим комівояжером. Ratliff та Rosenthal у 1983 р. створили точний алгоритм, який вирішив проблему комівояжера для одноблокового прямокутного складу. Однак для великих замовлень визначення оптимального маршруту займає багато часу. Тому зазвичай використовують евристичні методи, які дають дещо довші, ніж оптимальні, маршрути, але їх визначення займає порівняно мало часу. Використовуються, зокрема, такі евристики: *s-share*, *return*, *largest gap*, *combined*, *midpoint* [6].

Проте, перш ніж вибрати шлях, який повинен пройти працівник складу, необхідно визначити місця, які слід відвідати. Їх вибір не завжди очевидний. Він залежить від способу зберігання. Є два основні способи зберігання: спеціальне зберігання (*dedicated storage*) і спільне зберігання (*shared storage*). Спеціальне зберігання характеризується тим, що певний товар зберігається лише в одному місці, з іншого боку, вказане місце призначається лише для зберігання певного товару. У разі спільного зберігання певний товар теоретично може зберігатися в довільній кількості місць. Спільне зберігання забезпечує набагато краще використання простору для зберігання, але товар у цьому разі

«розсіюється по складу» [7]. У разі спільного зберігання часто доводиться вирішувати, з якого місця брати товар (якщо він зберігається в більш ніж одному місці). Для вибору місць для відвідування працівником складу в процесі комплектації замовлення Krzysztof Dmytrów та Mariusz Doszyń запропонували метод таксономічної міри привабливості місцеположення (TMAL – Taksonomiczna Miara Atrakcyjności Lokalizacji) [8].

Деталі та комплектуючі на складі промислового підприємства розміщуються на полицях стелажів, які поділені на слоти (комірки). Привабливість місця розташування (слота) з погляду цього виду деталей залежить не лише від його віддаленості від старту (місця одержання та видачі замовлення) та від того, яку частину замовлення на цю деталь ми можемо задовольнити в цьому слоті, але і від того, як розташований цей слот щодо слотів, в яких є інші деталі та комплектуючі із замовлення. Тому кожний слот можна описати трьома змінними, такими як: відстань від старту; ступінь задоволення попиту; кількість інших деталей, що можна зібрати неподалік від цього слоту.

Відстань від старту (місце одержання та видачі замовлення) позначимо  $l$ . Цю відстань можна вимірювати в різних одиницях (їдеться не про вимірювання точної відстані від одного слоту до іншого, наприклад у метрах). Зокрема, одиницею виміру може слугувати ширина стелажів. Krzysztof Dmytrów та Mariusz Doszyń пропонують використовувати манхетенську відстань з одиницею виміру «ширина стелажів».

Ступінь задоволення попиту позначимо  $p$ . Цей показник розраховується таким чином:

$$p = \begin{cases} \frac{k}{z}, & \text{якщо } z > k, \\ 1, & \text{якщо } k \geq z \end{cases}$$

де  $k$  – кількість одиниць певного виду деталей у заданому слоті,

$z$  – попит на цей вид деталей у замовленні (скільки деталей цього виду зазначено в замовленні).

З погляду комплектації замовлення найбільше значення  $p$  відповідає слоту, який має найбільший ступінь задоволення попиту. Наприклад, згідно із замовленням потрібно взяти 50 одиниць певної номенклатури деталей, тоді якщо в одному слоті є 120 одиниць, а в іншому – 70 одиниць, то з погляду досліджуваного замовлення обидва слоти однаково привабливі, оскільки в обох випадках замовлення буде виконано повністю, тобто ступінь задоволення попиту буде 1. Але якщо в одному слоті буде 70 одиниць, а в іншому – 30, то  $p = 1$  для першого слота і  $p = 0,6$  для другого слота. Отже, привабливість першого слота більша.

Третя характеристика  $v$  – це кількість інших деталей та комплектуючих у замовленні, які знаходяться в деякому околі заданого слота. Окіл можна визначати різними способами, зокрема, це можуть бути слоти, що знаходяться в тій же алеї, де і заданий слот.

Як відомо, показники можуть по-різному впливати на результат. Якщо вищому значенню показника відповідає вище значення результату, то цей показник є стимулятором. Якщо нижчому значенню показника відповідає вище значення результату, то цей показник є дестимулятором. У нашому разі відстань від старту  $l$  є дестимулятором, а інші дві змінні є стимуляторами. Тому відстань слід перетворити на стимулятор, обчисливши її обернене значення. Позначимо остаточно наші змінні таким чином:

$$x_1 = \frac{1}{l}; x_2 = p; x_3 = v.$$

Значення інтегрального показника таксономічної міри привабливості місцеположення визначається за алгоритмом [8]:

1. Стандартизуємо змінні  $x_1, x_2, x_3$ .
2. Визначаємо максимальне значення кожної стандартизованої змінної та утворюємо так званий «ідеальний об'єкт» або «ідеальний слот».
3. Знаходимо евклідову відстань від кожного слота (що розглядаються, тобто містять деталі певного виду) до «ідеального слота».
4. Задаємо ваги для кожної змінної  $w_i$ .
5. Знаходимо значення показника таксономічної міри привабливості місцеположення:  $M = \sum w_i x_i$  ( $i = \overline{1,3}$ ).

Вибираємо слоти з найвищим значенням показника  $M$ . Це може бути один слот, якщо попит задовольняється в повному обсязі, або більше, якщо попит перевищує кількість наявних деталей в одному слоті. Зауважимо, що значення ваг  $w_i$  суттєво впливає на значення  $M$ . Це було детально показано в дослідженнях К. Dmytrów. Визначення  $w_i$  залежить від структури приміщення складу та розташування деталей і комплектуючих на стелажах.

Інтегральний показник таксономічної міри привабливості місцеположення  $M$  визнача-

ється для кожного виду деталей або комплектуючих, що наявні в листі замовлення. Лише коли будуть визначені всі слоти, які необхідно відвідати, тоді будується маршрут, який повинен пройти працівник складу.

Дослідження проводилися на підприємстві «Красилівський агрегатний завод», що спеціалізується на побутових та твердопаливних котлах. На підприємстві є склад, де три зони виділено для деталей та комплектуючих. На складі прийнято кожен слот позначати таким чином: А2-2-3-9 (А – зона зберігання, 2 – ряд, 2 – стелаж, 3 – номер вертикальної секції стелажа, 9 – номер слоту).

Розглянемо просте замовлення: газохід – 20, камера згоряння – 20, теплообмінник – 15. За результатами опитування експертів було визначено вагові коефіцієнти  $w_1 = 0,3$ ,  $w_2 = 0,4$ ,  $w_3 = 0,3$ .

Для кожного виду деталей чи комплектуючих знаходимо значення показника таксономічної міри привабливості місцеположення. Для зручності представимо місця розташування зазначених у замовленні деталей у вигляді таблиці (табл. 1).

Відстань від старту до кожного слота є сталою та відомою, отже, далі необхідно визначити ступінь задоволення попиту для кожного слота та кількість інших видів деталей і комплектуючих у замовленні, які знаходяться в деякому околі цього слота. Зокрема, покажемо розрахунки для деталі «газохід». Значення змінних для всіх слотів, де знаходиться цей вид деталей, наведено в таблиці 2. Після стандартизації змінних та виконання алгоритму визначаємо показник таксономічної міри привабливості місцеположення  $M$  (табл. 2).

Показник таксономічної міри привабливості місцеположення  $M$  виявився найбільшим для слота А10-3-5-13. Отже, саме цей слот є найкращим місцем для виконання замовлення по деталі «датчик температури». Подібну процедуру необхідно виконати й для інших видів деталей, що наявні в замовленні.

**Висновки.** Комплектація замовлень є найбільш трудомісткою операцією. Саме комплектація замовлень визначає ефективність роботи

Таблиця 1

Розташування деталей та комплектуючих на складі

Газохід		Камера згоряння		Теплообмінник	
Розташування	К-сть	Розташування	К-сть	Розташування	К-сть
A10-3-5-13	22	A2-2-3-9	31	A3-3-3-9	25
A11-6-2-5	10	A5-3-1-1	15	B14-3-2-4	30
C21-6-1-3	8	A5-4-2-5	18	B23-1-5-15	6
B13-2-4-9	20	B17-1-3-8	7		
B1-6-5-10	14				
B24-1-3-7	14				
C17-4-5-11	3				

Таблиця 2

## Показник таксономічної міри привабливості місцеположення

Слот	Вхідні значення змінних			Стандартизовані значення змінних			M
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	
A10-3-5-13	0,0735	1	2	0,637546	1	1	0,891264
A11-6-2-5	0,0602	0,5	2	0,390335	0,412	1	0,581901
C21-6-1-3	0,0418	0,4	0	0,048327	0,294	0	0,132098
B13-2-4-9	0,0717	1	1	0,604089	1	0,5	0,731227
B1-6-5-10	0,0930	0,7	1	1	0,647	0,5	0,7088
B24-1-3-7	0,0392	0,7	1	0	0,647	0,5	0,4088
C17-4-5-11	0,0465	0,15	0	0,135688	0	0	0,040706

всього складського комплексу. Отже, для оптимізації роботи складу необхідно розробити ефективні алгоритми руху. Складська робота має бути організована таким чином, щоб забезпечити мінімальну траєкторію руху під час комплектуванні замовлень. Для побудови оптимального маршруту руху працівника складу, на нашу думку, необхідно спочатку визначити ті місця,

які повинен відвідати працівник, щоб зібрати всі деталі, наявні в замовленні. Саме для вирішення цього завдання доцільно використовувати показник таксономічної міри привабливості.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що показник таксономічної міри привабливості є простим в обчислюванні, гнучким у використанні та простим і ефективним у реалізації.

## Список використаних джерел:

1. Томпкінс Джеймс Настольная книга управляющего складом. СПб. : Питер, 2006. 890 с.
2. Pang K.W., Chan H.L. Data mining-based algorithm for storage location assignment in a randomised warehouse. *International Journal of Production Research*. 2017. Т. 55. № 14. Рр. 4035–4052.
3. Andrzej Ratkiewicz Efektywność procesu kompletacji. *Logistyka*. 2011. № 4. S. 794–800.
4. Augustyn Lorenc Wpływ metody klasyfikacji produktów na efektywność transportu wewnątrzmagazynowego (praca doktorska). Politechnika Krakowska. 2016. 163 s.
5. Илесалиев Д.И. Влияние расположения проходов между стеллажами на показатели работы склада водного транспорта. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. 2015. № 6(34). С. 52–59.
6. Sabo-Zielonka A., Tarczyński G. Porównanie czasów kompletacji zamówień dla różnych sposobów wyznaczania trasy magazynierów na przykładzie dużego centrum logistycznego. *Ekonometria*. 2014. 2(44). S. 62–81.
7. Krzysztof Dmytrów. Uwzględnianie czasu pobrań w wyborze lokalizacji odwiedzanych przez magazyniera pod czas kompletacji produktów. *Studia i Prace WNEiZ US*. 2016. № 44/2. S. 229–239.
8. Krzysztof Dmytrów. Taksonomiczna procedura wspomaganie kompletacji produktów w magazynie. *Prace naukowe uniwersytetu ekonomicznego we Wrocławiu*. 2015. № 207. S. 71–80.
9. Рикошинский А. Склады промышленных предприятий. URL: <https://sitmag.ru/article/10157-sklady-promyshlennyh-predpriyatij> (дата звернення: 25.08.2020).

## References:

1. Tompkins Dzhejms (2006) *Nastolnaya kniga upravlyayushogo skladom* [Warehouse Manager Handbook]. SPb.: Piter, 890 s.
2. Pang K.W., Chan H.L. (2017) Data mining-based algorithm for storage location assignment in a randomised warehouse. *International Journal of Production Research*, t. 55, no. 14, pp. 4035–4052.
3. Andrzej Ratkiewicz (2011) Efektywność procesu kompletacji [The efficiency of the assembly process]. *Logistyka*, no. 4, s. 794–800.
4. Augustyn Lorenc (2016) Wpływ metody klasyfikacji produktów na efektywność transportu wewnątrzmagazynowego (praca doktorska) [Influence of the product classification method on the efficiency of in-warehouse transport]. Politechnika Krakowska, 163 s.
5. Ilesaliev D.I. (2015) Vliyaniye raspolozheniya prokhodov mezhdu stellazhami na pokazateli raboty sklada vodnogo transporta. [Influence of the location of the aisles between the shelves on the performance of the water transport warehouse]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala s.O. Makarova*, no. 6(34), s. 52–59.
6. Sabo-Zielonka A., Tarczyński G. (2014) Porównanie czasów kompletacji zamówień dla różnych sposobów wyznaczania trasy magazynierów na przykładzie dużego centrum logistycznego

[Comparison of order picking times for different ways of mapping the warehouse routes on the example of a large logistics center]. *Ekonometria*, no. 2(44), s. 62–81.

7. Krzysztof Dmytrów (2016) Uwzględnianie czasu pobrań w wyborze lokalizacji odwiedzanych przez magazyniera pod czas kompletacji produktów [Taking into account the time of picking in the selection of locations visited by the warehouseman while completing products]. *Studia i Prace WNEiZ Us*, no. 44/2, s. 229–239.
8. Krzysztof Dmytrów (2015) Taksonomiczna procedura wspomagania kompletacji produktów w magazynie [Taxonomic procedure for supporting the picking of products in the warehouse]. *Prace naukowe uniwersytetu ekonomicznego we Wrocławiu*, no. 207, s. 71–80.
9. Rikoshinskij A. Sklady promyshlennyh predpriyatij [Warehouses of industrial enterprises]. Available at: <https://sitmag.ru/article/10157-sklady-promyshlennyh-predpriyatij> (accessed 25.08.2020).

## ДОДАТОК Б (довідковий)

### Матеріали XII всеукраїнської науково-практичної конференції Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН–2020

*Актуальні проблеми комп'ютерних наук*

---

УДК 004.023:658.78

Злотаренчук О. І., Кучерук О. Я.

*Хмельницький національний університет*

#### **СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ МАРШРУТІВ КОМПЛЕКТАЦІЇ ЗАМОВЛЕНЬ НА СКЛАДІ**

*В роботі розглядається задача маршрутизації руху комплектувальників замовлень на складі. При виборі методів оптимізації маршрутів виявлені та описані недоліки використання точних оптимальних методів, в наслідок чого були застосовані евристичні методи. Для побудови маршрутів використано програму «Interactive Warehouse», в якій запропоновані маршрути методів були експериментально перевірені на реальному наборі даних.*

*The presented study considers the problem of routing the pickers of orders in a warehouse. As a result of the comparative analysis of the existing route optimization methods, the main disadvantages of using accurate optimal methods were identified and described. To address these issues, the paper proposes to utilize heuristic methods. The authors employed the program «Interactive Warehouse» to build optimal routes and experimentally test them on a real dataset.*

Для сучасного виробничого підприємства однією з основних задач є ефективна організація процесу технологічного розвитку складської діяльності. В процесі розвитку підприємства необхідно постійно впроваджувати нові технології, для вдосконалення індикатора успіху – конкурентоспроможності. Використання новітніх технологій дозволяє раціоналізувати процес маршрутизації на складі. Від того, наскільки ефективно організована комплектація замовлень, залежить швидкість і якість обслуговування клієнтів, що є важливою конкурентною перевагою кожного підприємства. У зв'язку з цим, виникає потреба в оптимізації складських процесів, зокрема комплектації замовлень.

Вивченням складської діяльності на підприємстві займалися багато вітчизняних і зарубіжних вчених, зокрема В. Пензев, Д. Перов, В. Кравченко, Л. Старікова, К. Dmytrów, I. Kudelska.

Актуальність задачі маршрутизації на складі підкреслюється численними науковими дослідженнями таких фахівців, як С. Коробков, Khoong Wei Hao, Nicolas Catusse, Nadrien Cambazard, De Koster.

Метою дослідження є оптимізація руху працівника складу в процесі комплектування замовлень на основі евристичних методів.

Склади відіграють важливу роль в організації основних процесів виробництва, а саме приймання, розміщення, комплектування і відвантаження товарів. Серед перерахованих складських операцій комплектація замовлень є ключовою, оскільки саме від неї залежить рівень обслуговування та швидкість

виконання замовлення. При цьому дана операція є однією з трудомістких в складському технологічному процесі.

Компанії та підприємства постійно шукають нові способи для покращення роботи складу, вдосконалення складських процесів, а також займаються оптимізацією маршрутів, щоб максимально підвищити ефективність операцій, поліпшити продуктивність і якість обслуговування клієнтів [1].

Оптимізацію можна проводити за допомогою точних оптимальних методів, але вони стають неактуальні через складність в застосуванні, внаслідок чого широко використовуються евристичні методи маршрутизації.

Використання точних оптимальних методів маршрутизації мають наступні недоліки [2]:

1. Маршрути побудовані за точними оптимальними методами можуть здатися нелогічним для комплектувальників замовлень, в результаті чого вони відхиляються від призначених їм обчислених маршрутів. Авторами De Koster R., Roodbergen K.J. даний феномен досліджувався на реально існуючих складах нідерландських компаній De Bijenkorf і Ankor [3].

2. Оптимальні методи можуть не враховувати перевантаження алей, в той час як використання евристичних методів маршрутизації дозволяє в деяких випадках уникнути надмірної завантаженості.

3. Точні методи не враховують той факт, що на практиці зміна алей або напрямки руху всередині проходу впливають на витрати по часу. Використання евристичних методів маршрутизації дозволяє знизити число змін проходів.

З цих причин, зазвичай використовуються евристичні методи маршрутизації, а саме: S-Shape, Largest gap, Return, Combined, Midpoint, Aisle-by-aisle. Ці методи належать до евристичних алгоритмів, що дозволяють отримати задовільні результати при досить низькій обчислювальній складності.

Однією з найпростіших і часто використовуваних евристик для маршрутизації вибору є евристика S-подібної форми (S-shape). Даний метод полягає в тому, що під час комплектування замовлення працівник складу переміщується між стелажми по маршруту, що нагадує букву S, в результаті чого комплектувальник повинен пройти всі алей, які містять принаймні один товар з листа замовлення, взагалі не відвідуючи проходи, в яких товари відсутні [4].

Метод Return – це одна евристика, що використовується для розрахунку маршруту по складу. На практиці він передбачає відвідування кожної із алей, де є товари, які необхідно зібрати. Працівник складу, виходячи на алею збирає весь товар, а потім повертається в основний коридор [2].

Метод Combined – це комбінація евристики S-shape та Return. Комплектувальник заходить лише на ті алей, в яких знаходяться необхідні товари, збирає їх і виходить через найближчий вихід. Маршрут, за яким працівник збирає товари нагадує метод S-shape, а в інших – Return [5].

Наступним методом, який також часто використовують для побудови маршруту комплектації замовлення є метод Midpoint. В даному випадку склад поділяють на дві частини приблизно однакової величини. Спочатку збирають

товари в тій частині, де знаходиться точка (база) старту, і тільки після збору останнього товару з цієї частини складу можна перетнути умовну лінію, на яку розбитий склад, і збирати решту товарів. Характерною особливістю методу Midpoint є те, що після підбору останнього товару, комплектувальник зазвичай знаходиться поблизу бази з якої він починав маршрут [6].

Для розподілу типових замовлень і маршрутів, отриманих з використанням різних методів маршрутизації була використана програма «Interactive Warehouse» [7].

Предметом аналізу є склад, який спеціалізується на виготовленні котлів різних модифікацій. Для формування маршруту, було використано розрахунки сформованого замовлення, в якому визначено місця, які слід відвідати для збору товарів за допомогою Таксономічної міри привабливості місцеположення (TMAL) [8].

Порядок місць, які необхідно відвідати та зібрати в них деталі представлений в таблиці 1.

Таблиця 1 – Сформоване замовлення

№	Слот	Назва деталі	Потрібна кількість
1	A10-3-5-13	Камера згоряння	20
2	A2-2-3-9	Теплообмінник	20
3	B14-3-2-4	Турбулізатор	15
4	A7-6-1-2	Датчик температури	12
5	C17-4-11	Пластина KORDI	6

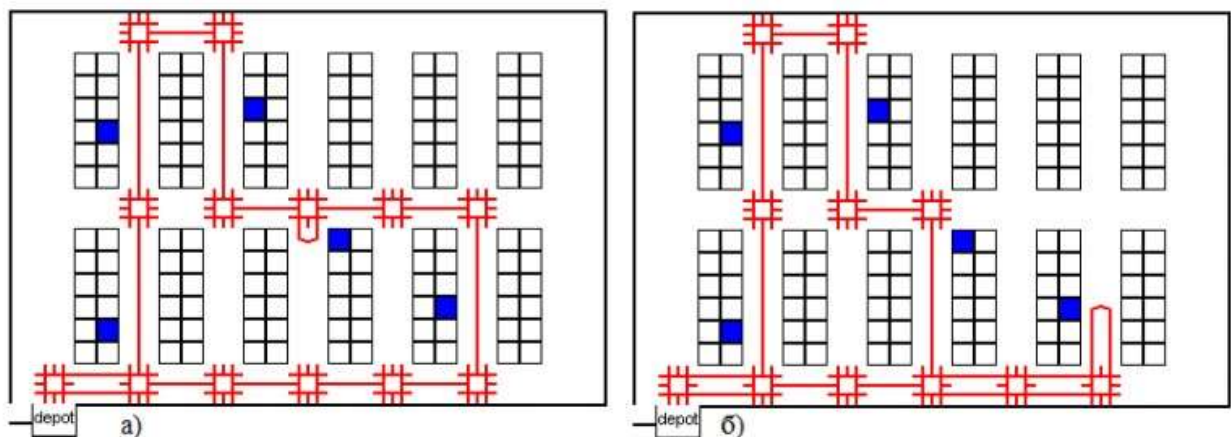


Рисунок 1 – Маршрути руху, з використанням  
а) *Combined*; б) *S-Shape* евристики маршрутизації

Програма «Interactive Warehouse» дозволяє виконати налаштування необхідної кількості стелажів, алей, слотів, вказати місце розташування бази (depot), довжину і ширину алей, тобто представити склад у вигляді схеми, яку надалі можна

використати для імітації процесу комплектації замовлень на складі за допомогою евристичних методів маршрутизації.

На основі замовлення (таблиця 1) було побудовано маршрути за S-Shape, Combined, Midpoint, Return методами. На рисунку 1 представлена імітація руху комплектувальника за S-Shape та Combined методами. Відсоткову частку відстаней для кожного проаналізованого методу показано на рисунку 2.

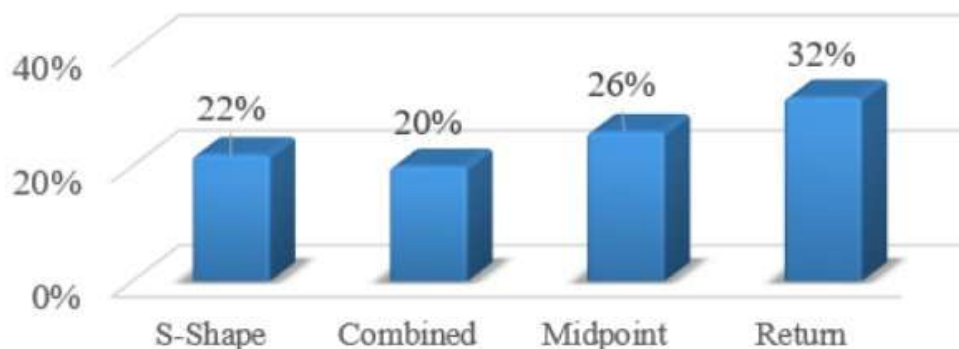


Рисунок 2 – Результати відстаней для кожного маршруту, %

Таким чином, для оптимізації основного процесу на складі – комплектації замовлень було розроблено алгоритми руху за допомогою евристичних методів маршрутизації. При порівнянні результатів відстаней, а саме відшукування найкоротшого шляху комплектації замовлення, найкращі результати було отримано за допомогою комбінованого (Combined) і S-подібного (S-Shape) методів.

### Перелік посилань

1. Pansart L. Exact algorithms for the order picking problem / Pansart L., Catusse N., Cambazard H. // *Computers & Operations Research*. – 2018. – Т. 100. – С. 117-127.
2. Коробков Е. В. Процесс комплектования заказов на складе. Задача маршрутизации сборщиков заказов / Е. В. Коробков // *Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.* – 2015. – № 04. – С. 270-310.
3. De Koster R., Le-Duc T., Roodbergen K.J. Design and Control of Warehouse Order Picking: A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 2007, vol.182, no.2, pp.481-501.
4. Khoong W. H. Solving the Joint Order Batching and Picker Routing Problem for Large Instances // *arXiv preprint arXiv:2002.00167*. – 2020.
5. Tarczyński G. Wielokryterialna ocena procesu kompletacji towarów w magazynie / G. Tarczyński // *Studia Ekonomiczne*. – 2013. – Т. 163. – С. 221-238.
6. Szada-Borzyszkowska M. Usprawnienie trasy kompletacji zamówienia w magazynie części do montażu pojazdów samochodowych/ M. Szada-Borzyszkowska, W. Szada-Borzyszkowski // *Autobusy*. – 2017. № 7-8. – pp. 271-274.
7. Interactive Warehouse: web-site. Available at: <http://www.roodbergen.com/warehouse/index.php> (дата звернення: 09.10.2020).
8. Кучерук О. Я. Таксономічна міра привабливості місцеположення в оптимізації процесу комплектації замовлень / О. Я. Кучерук, О. І. Злотаренчук // *Проблеми системного підходу в економіці*. – 2020. – № 5.

## ДОДАТОК В (обов'язковий)

### Перелік асортименту на складі

Таблиця В.1 – Перелік деталей та комплектуючих

№	Назва	№	Назва
1	Гайка	35	Стінка бокова
2	Датчик температури	36	Ніжка
3	Прижим	37	Пластина
4	Вісь	38	Кронштейн
5	Пластина KORDI	39	Кільце
6	Заглушка	40	Заглушка
7	Етикетка	41	Теплоізолятор
8	Гвинт	42	Турбулізатор
9	Ручка котла	43	Корпус
10	Зольник	44	Фальшпанель
11	Дверцята	45	Повітряний канал
12	Кришка	46	Болт 6
13	Корпус АОВВ-10С	47	Кронштейн
14	Кожух облицювальний	48	Піддон
15	Упаковка	49	Турбулізатор
16	Гайка М5	50	Теплоізолятор
17	Пломба пластикова	51	Брусок
18	Гайка М4	52	Плата дисплея
19	Гайка М10	53	Датчик тиску води
20	Шайба М8	54	Електроди розпалювання
21	Болт 4	55	Термоманометр
22	Шайба упорна	56	Датчик тяги
23	Заклепка	57	Блок керування
24	Екран	58	Насос
25	Пластина	59	Трансформатор
26	Скоба	60	Пресостат
27	Патрубок	61	Конвективний газохід
28	Тримач	62	Газовий клапан
29	Шпилька	63	Охолоджуючий стрежень
30	Вентилятор	64	Чугунна секція
31	Пластина верхня	65	Термометр
32	Пластина топки	66	Термостат
33	Димохід	67	Термопара
34	Труба	68	Прокладка 24x15x2

## Продовження таблиці В.1

№	Назва	№	Назва
69	Мережевий кабель	85	Група безпеки котла і системи опалення
70	Форсунка для пальника	86	Щітка універсальна
71	Стабілізатор тяги	87	Ущільнювач дверцят
72	Зажим	88	Термоізоляційний ущільнювач дверцях
73	Прокладка 251x41x4	89	Ручка регулятора тяги
74	Кріплення	90	Поршень
75	Панель блоку керування	91	Комплект надуву
76	Охолоджуючий контур	92	Акcesуари
77	Обмежувач тяги	93	Турбіна
78	Байпас під клапан	94	Розширювальний бак
79	Автоматика	95	Гідравлічний вузол
80	Комплект для коаксіального димоходу	96	Стабілізатор напруги
81	Регулятор подачі повітря	97	Патрубок ГВС
82	Трьохходовий термостатичний змішувальний клапан	98	Мембрана трьохходового клапану
83	Клапан теплового скиду	99	Циркуляційний насос
84	Клапан перегріву	100	Кронштейн (кришка)

**ДОДАТОК Г**  
(обов'язковий)

Детальні розрахунки за ABC методом

Таблиця Г. 1 – Розрахункова таблиця ABC методу

Product	Demand for product	Cumulated Demand	Cumulated Pct	ABC Class
Теплоізолятор	299	3%	3%	A
Дверцята	296	3%	7%	A
Датчик температури	295	3%	10%	A
Водохід	293	3%	13%	A
Заглушка	292	3%	16%	A
Заклепка	289	3%	20%	A
Кронштейн	280	3%	23%	A
Теплоізолятор	280	3%	26%	A
Кожух облицювальний	278	3%	29%	A
Тримач	277	3%	32%	A
Екран	276	3%	35%	A
Вісь	276	3%	38%	A
Ніжка	274	3%	41%	A
Гайка М5	272	3%	44%	A
Екран	267	3%	47%	A
Гайка М10	265	3%	50%	A
Заглушка	263	3%	53%	A
Упаковка	263	3%	56%	A
Заглушка	261	3%	59%	A
Етикетка-4	257	3%	62%	A
Димохід	257	3%	65%	A
Заклепка	241	3%	67%	A
Гвинт	180	2%	69%	A
Корпус	100	1%	70%	A
Заглушка	59	1%	71%	B
Брусоч	59	1%	72%	B
Зольник	59	1%	72%	B
Болт 4	58	1%	73%	B
Гвинт	54	1%	74%	B
Дверцята	52	1%	74%	B
Пластина верхня	51	1%	75%	B
Шпилька	51	1%	75%	B
Вісь	51	1%	76%	B
Стінка бокова	50	1%	76%	B
Димохід	50	1%	77%	B
Пресостат	50	1%	77%	B
Гвинт	49	1%	78%	B

## Продовження таблиці Г.1

Заглушка	49	1%	79%	В
Дверцята	48	1%	79%	В
Гайка	48	1%	80%	В
Пластина	48	1%	80%	В
Шайба М8	46	1%	81%	В
Заглушка	45	0%	81%	В
Кришка	45	0%	82%	В
Упаковка	45	0%	82%	В
Циркуляційний насос	44	0%	83%	В
Шайба М5	42	0%	83%	В
Болт 4	42	0%	84%	В
Пластина KORDI	41	0%	84%	В
Етикетка	41	0%	84%	В
Тримач	39	0%	85%	В
Корпус АОТВ-10С	38	0%	85%	В
Шайба М4	37	0%	86%	В
Датчик температури	36	0%	86%	В
Гайка М5	36	0%	87%	В
Шпилька	34	0%	87%	В
Гвинт	32	0%	87%	В
Заглушка	32	0%	88%	В
Прижим	32	0%	88%	В
Зольник	32	0%	88%	В
Датчик температури	31	0%	89%	В
Тримач	31	0%	89%	В
Турбулізатор	30	0%	89%	В
Пластина KORDI	30	0%	90%	В
Ніжка	20	0%	90%	В
Гвинт	19	0%	90%	В
Патрубок	19	0%	90%	В
Пластина	19	0%	91%	С
Датчик температури	19	0%	91%	С
Пластина топки	19	0%	91%	С
Теплоізолятор	19	0%	91%	С
Насос	19	0%	91%	С
Пластина KORDI	19	0%	92%	С
Гайка М4	18	0%	92%	С
Турбулізатор	18	0%	92%	С
Скоба	18	0%	92%	С
Екран	18	0%	92%	С
Повітряний канал	18	0%	93%	С
Брусок	17	0%	93%	С
Зольник	17	0%	93%	С
Зольник	17	0%	93%	С

## Продовження таблиці Г.1

Болт 6	17	0%	93%	С
Заглушка	17	0%	94%	С
Ручка котла	16	0%	94%	С
Ручка котла	16	0%	94%	С
Болт 6	15	0%	94%	С
Кожух облицювальний	15	0%	94%	С
Заклепка	15	0%	94%	С
Заглушка	14	0%	95%	С
Брусок	14	0%	95%	С
Турбулізатор	14	0%	95%	С
Дверцята	14	0%	95%	С
Шайба упорна	13	0%	95%	С
Гвинт	13	0%	95%	С
Труба	13	0%	95%	С
Патрубок	13	0%	96%	С
Заглушка	13	0%	96%	С
Пластина верхня	12	0%	96%	С
Трансформатор	12	0%	96%	С
Газовий клапан	12	0%	96%	С
Гайка М5	12	0%	96%	С
Дверцята	12	0%	96%	С
Гайка М5	11	0%	97%	С
Шайба М8	11	0%	97%	С
Турбулізатор	11	0%	97%	С
Піддон	11	0%	97%	С
Тримач	10	0%	97%	С
Пластина	10	0%	97%	С
Димохід	10	0%	97%	С
Пластина	10	0%	97%	С
Піддон	10	0%	97%	С
Стінка бокова	9	0%	98%	С
Гайка М5	9	0%	98%	С
Двигун насоса	9	0%	98%	С
Пломба пластикова	9	0%	98%	С
Труба	8	0%	98%	С
Шайба упорна	8	0%	98%	С
Пластина	8	0%	98%	С
Етикетка	8	0%	98%	С
Шайба М5	8	0%	98%	С
Корпус	7	0%	98%	С
Пластина	7	0%	98%	С
Вісь	7	0%	99%	С
Кронштейн	7	0%	99%	С
Пломба пластикова	7	0%	99%	С
Корпус АОТВ-10С	7	0%	99%	С

## Продовження таблиці Г.1

Димохід	7	0%	99%	С
Гайка М10	7	0%	99%	С
Екран	7	0%	99%	С
Фальшпанель	6	0%	99%	С
Гайка	6	0%	99%	С
Кільце	6	0%	99%	С
Водохід	6	0%	99%	С
Патрубок	6	0%	99%	С
Ручка котла	6	0%	99%	С
Пластина KORDI	5	0%	99%	С
Кронштейн	5	0%	100%	С
Скоба	5	0%	100%	С
Турбулізатор	4	0%	100%	С
Заклепка	4	0%	100%	С
Гвинт	4	0%	100%	С
Фальшпанель	4	0%	100%	С
Пластина топки	3	0%	100%	С
Плата управління	3	0%	100%	С
Кільце	3	0%	100%	С
Кронштейн	2	0%	100%	С
Етикетка	2	0%	100%	С
Кришка	2	0%	100%	С
Повітряний канал	1	0%	100%	С
Патрубок	1	0%	100%	С
Шайба М4	1	0%	100%	С
Вісь	1	0%	100%	С
Гайка М4	1	0%	100%	С
Прижим	1	0%	100%	С
Ручка котла	0	0%	100%	С
Етикетка	0	0%	100%	С
Ручка котла	0	0%	100%	С
Вентилятор	0	0%	100%	С
Гвинт	0	0%	100%	С
Датчик температури	0	0%	100%	С
Всього	9004			

## ДОДАТОК Д (обов'язковий)

### Лістинг програмного коду

```
function sshape_inner() {
  function calc() {
    var b = 0;
    var is_empty = true;
    while (is_empty == true && b < blokjes - 1) {
      b = b + 2;
      aisle = 0;
      while (is_empty == true && aisle < numofaisles) {
        aisle++;
        for (counter = 1; counter <= locations; counter++) {
          if (
            top_canvas.layers[3].L[b][aisle][1][counter] != 0 ||
            top_canvas.layers[3].L[b][aisle][3][counter] != 0
          ) {
            is_empty = false;
          }
        }
      }
    }
    var ablock = b;

    var aisle = 0;
    is_empty = true;
    while (is_empty == true && aisle < numofaisles) {
      aisle++;
      b = 0;
      while (is_empty == true && b < blokjes - 1) {
        b = b + 2;
        for (counter = 1; counter <= locations; counter++) {
          if (
            top_canvas.layers[3].L[b][aisle][1][counter] != 0 ||
            top_canvas.layers[3].L[b][aisle][3][counter] != 0
          ) {
            is_empty = false;
          }
        }
      }
    }
    firstaisle = aisle;

    aisle = numofaisles + 1;
    is_empty = true;
    while (is_empty == true && aisle > 1) {
      aisle = aisle - 1;
      b = 0;
      while (is_empty == true && b < blokjes - 1) {
        b = b + 2;
        for (counter = 1; counter <= locations; counter++) {
          if (
```

```

        top_canvas.layers[3].L[b][aisle][1][counter] != 0 ||
        top_canvas.layers[3].L[b][aisle][3][counter] != 0
    ) {
        is_empty = false;
    }
}
}
lastaisle = aisle;
}

function cross(aisle1, aisle2) {
    lengthy = 0;
    if (aisle2 < aisle1) {
        dummy = aisle1;
        aisle1 = aisle2;
        aisle2 = dummy;
    }
    for (counter = aisle1; counter <= aisle2 - 1; counter++) {
        lengthy = lengthy + 2;
    }
    return lengthy;
}

function calculate_fl() {
    var empty = true;
    var firstaisleofblock = 0;
    while (empty == true && firstaisleofblock < numofaisles) {
        firstaisleofblock++;
        for (counter = 1; counter <= locations; counter++) {
            if (
                (top_canvas.layers[3].L[block][firstaisleofblock][1][counter] != 0 ||
                 top_canvas.layers[3].L[block][firstaisleofblock][3][counter] !=
                 0) &&
                (firstaisleofblock != weest_alge || block == ablock) &&
                (block != ablock || firstaisleofblock != weest_alge2)
            ) {
                empty = false;
            }
        }
    }
    empty = true;
    lastaisleofblock = numofaisles + 1;
    while (empty == true && lastaisleofblock > 1) {
        lastaisleofblock--;
        for (counter = 1; counter <= locations; counter++) {
            if (
                (top_canvas.layers[3].L[block][lastaisleofblock][1][counter] != 0 ||
                 top_canvas.layers[3].L[block][lastaisleofblock][3][counter] != 0) &&
                (lastaisleofblock != weest_alge || block == ablock) &&
                (block != ablock || lastaisleofblock != weest_alge2)
            ) {
                empty = false;
            }
        }
    }
}

```

```

    }
  }
}

function shapeBlock() {
  calculate_fl();
  var oldaisle = currentaisle;
  if (firstaisleofblock > lastaisleofblock) {
    top_canvas.layers[2].layers[2].TekeInGang(block, currentaisle, 1);
  } else {
    if (
      cross(currentaisle, firstaisleofblock) <
      cross(currentaisle, lastaisleofblock)
    ) {
      currentaisle = firstaisleofblock;
      direction = true;
    } else {
      currentaisle = lastaisleofblock;
      direction = false;
    }

    if (currentaisle < oldaisle) {
      for (counter = currentaisle; counter < oldaisle; counter++) {
        top_canvas.layers[2].layers[2].TekeBuitengangH(block - 1, counter);
      }
    } else {
      for (counter = currentaisle - 1; counter >= oldaisle; counter--) {
        top_canvas.layers[2].layers[2].TekeBuitengangH(block - 1, counter);
      }
    }

    aislestraversed = 0;
    if (direction) {
      for (
        aisle = firstaisleofblock;
        aisle <= lastaisleofblock - 1;
        aisle++
      ) {
        empty = true;
        for (counter = 1; counter <= locations; counter++) {
          if (
            top_canvas.layers[3].L[block][aisle][1][counter] != 0 ||
            top_canvas.layers[3].L[block][aisle][3][counter] != 0
          ) {
            empty = false;
          }
        }
        if (empty == false) {
          top_canvas.layers[2].layers[2].TekeInGang(block, aisle, 1);
          aislestraversed = aislestraversed + 1;
        }
        if (aislestraversed % 2 == 0) {

```

```

    top_canvas.layers[2].layers[2].TekeBuitengangH(block - 1, aisle);
} else {
    top_canvas.layers[2].layers[2].TekeBuitengangH(block + 1, aisle);
}
}
if (aisletraversed % 2 == 0) {
    top_canvas.layers[2].layers[2].TekeInGang(block, lastaisleofblock, 1);
} else {
    top_canvas.layers[2].layers[2].TekeInGang(block, lastaisleofblock, 4);
}
currentaisle = lastaisleofblock;
} else {
    for (
        aisle = lastaisleofblock;
        aisle >= firstaisleofblock + 1;
        aisle--
    ) {
        empty = true;
        for (counter = 1; counter <= locations; counter++) {
            if (
                top_canvas.layers[3].L[block][aisle][1][counter] != 0 ||
                top_canvas.layers[3].L[block][aisle][3][counter] != 0
            ) {
                empty = false;
            }
        }
        if (empty == false) {
            top_canvas.layers[2].layers[2].TekeInGang(block, aisle, 1);
            aisletraversed = aisletraversed + 1;
        }
        if (aisletraversed % 2 == 0) {
            top_canvas.layers[2].layers[2].TekeBuitengangH(
                block - 1,
                aisle - 1
            );
        } else {
            top_canvas.layers[2].layers[2].TekeBuitengangH(
                block + 1,
                aisle - 1
            );
        }
    }
}
if (aisletraversed % 2 == 0) {
    top_canvas.layers[2].layers[2].TekeInGang(
        block,
        firstaisleofblock,
        1
    );
} else {
    top_canvas.layers[2].layers[2].TekeInGang(
        block,
        firstaisleofblock,
        4
    );
}

```

```

        );
    }
    currentaisle = firstaisleofblock;
}
}
}

function pickinablock() {
    var block = ablock;
    calculate_fl();
    if (
        cross(currentaisle, firstaisleofblock) <
        cross(currentaisle, lastaisleofblock)
    ) {
        temp = firstaisleofblock;
    } else {
        temp = lastaisleofblock;
    }

    if (currentaisle < temp) {
        for (counter = currentaisle; counter <= temp - 1; counter++) {
            top_canvas.layers[2].layers[2].TekeBuitengangH(ablock + 1, counter);
        }
    } else {
        for (counter = temp; counter <= currentaisle - 1; counter++) {
            top_canvas.layers[2].layers[2].TekeBuitengangH(ablock + 1, counter);
        }
    }
    currentaisle = temp;

    if (firstaisleofblock == lastaisleofblock) {
        top_canvas.layers[2].layers[2].TekeInGang(ablock, currentaisle, 4);
    } else {
        top_canvas.layers[2].layers[2].TekeInGang(ablock, currentaisle, 1);
        weest_alge2 = currentaisle;
        shapeBlock();
    }
}

top_canvas.layers[3].ClearPadding();
top_canvas.layers[3].Toggle(2);

numberofblocks = eval(top_canvas.b);
locations = eval(top_canvas.l);
numofaisles = eval(top_canvas.g);
depot = eval(top_canvas.d);
blokjes = numberofblocks * 2 + 1;

weest_alge = 0;
weest_alge2 = 0;

calc();

```

```

if (Math.abs(depot - firstaisle) < Math.abs(depot - lastaisle)) {
  currentaisle = firstaisle;
} else {
  currentaisle = lastaisle;
}
weest_alge = currentaisle;
if (currentaisle < depot) {
  for (counter = currentaisle; counter < depot; counter++) {
    top_canvas.layers[2].layers[2].TekeBuitengangH(blokjes, counter);
  }
} else {
  for (counter = currentaisle - 1; counter >= depot; counter--) {
    top_canvas.layers[2].layers[2].TekeBuitengangH(blokjes, counter);
  }
}

for (block = blokjes - 1; block > ablock; block = block - 2) {
  top_canvas.layers[2].layers[2].TekeInGang(block, currentaisle, 1);
}
pickinablock();
for (block = ablock + 2; block <= blokjes - 1; block = block + 2) {
  shapeBlock();
}
if (currentaisle < depot) {
  for (counter = currentaisle; counter < depot; counter++) {
    top_canvas.layers[2].layers[2].TekeBuitengangH(blokjes, counter);
  }
} else {
  for (counter = currentaisle - 1; counter >= depot; counter--) {
    top_canvas.layers[2].layers[2].TekeBuitengangH(blokjes, counter);
  }
}
top_canvas.layers[3].Toggle(2);
eval(
  "top_canvas.layers[1].layers[1]." +
  top_canvas.layers[1].layers[1].fUs +
  "=" +
  Math.round(top_canvas.layers[3].lengte * 100) / 100
);
}

export function sshape() {
  setTimeout("sshape_inner()", 50);
}

```

**ДОДАТОК Е**  
(обов'язковий)  
Презентація



## **Об'єкт та предмет дослідження**

**Об'єктом** дослідження є процеси складської діяльності державного підприємства «Красилівський агрегатний завод» (ДП «КАЗ»).

**Предметом** дослідження є оптимізаційні моделі та евристичні методи побудови маршруту комплектувальника.

## Мета дослідження



**Метою** є оптимізація процесу комплектації замовлень з визначенням найкоротшого можливого маршруту.

3

## Завдання:



- 1) проаналізувати основні проблеми, що виникають при організації процесу комплектації на підприємстві «КАЗ»;
- 2) застосувати існуючі методи для вирішення досліджуваних проблем підприємства, а саме побудувати математичну модель комплектації замовлень з використанням таксономічної міри привабливості (TMAL) на основі ABC-розподілу розміщення деталей;
- 3) розробити веб-додаток для формування замовлень і побудови маршрутів;
- 4) побудувати маршрути, використовуючи евристичні методи маршрутизації, а саме: S-Shape, Combined, Midpoint, Return;
- 5) розробити практичні рекомендації вдосконалення складської діяльності підприємства.

4

## Науково-практична новизна



**Науково-практична новизна** дипломної роботи полягає в поєднанні таксономічної міри привабливості місцеположення (TMAL) та евристичних підходів до побудови маршруту руху комплектувальника. Запропоновано підхід «Warehouse», застосування якого дозволяє оптимізувати основні процеси складської діяльності.

5

## Публікації



Злотаренчук О. І. Сучасні підходи до організації маршрутів комплектації замовлень на складі./ О. Я. Кучерук, О.І. Злотаренчук // Збірник наукових праць за матеріалами XI всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2020» – Хмельницький: ХНУ, – 2020. – С.123-126.



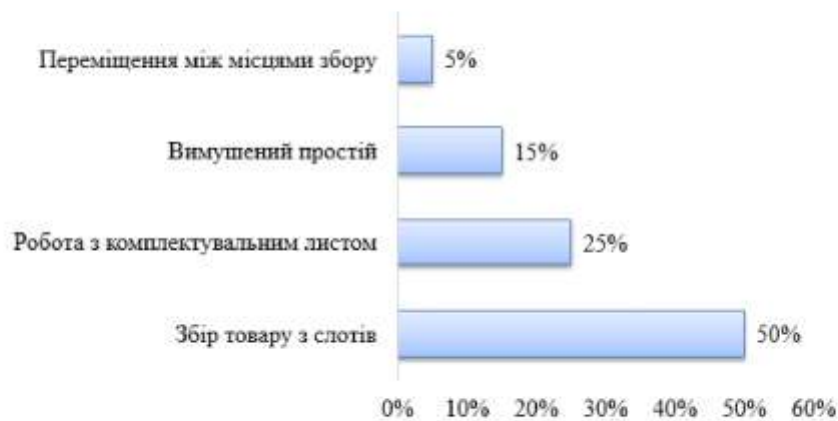
Кучерук О.Я., Таксономічна міра привабливості місцеположення в оптимізації процесу комплектації замовлень / О. Я. Кучерук, О. І. Злотаренчук // Проблеми системного підходу в економіці. – 2020. – № 5. – С.148-153.

6

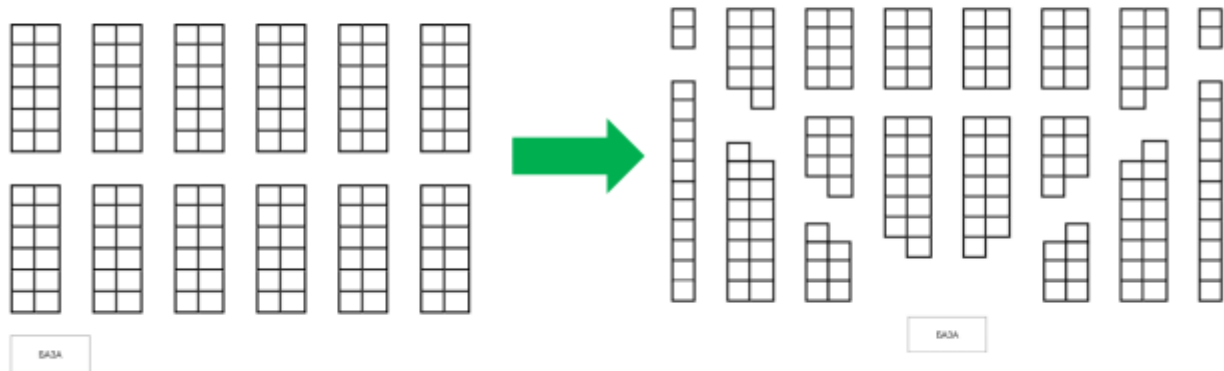
## Концептуальна модель логістичного процесу



## Результати аналізу робочого процесу комплектувальника



## Застосування Flying-V методу



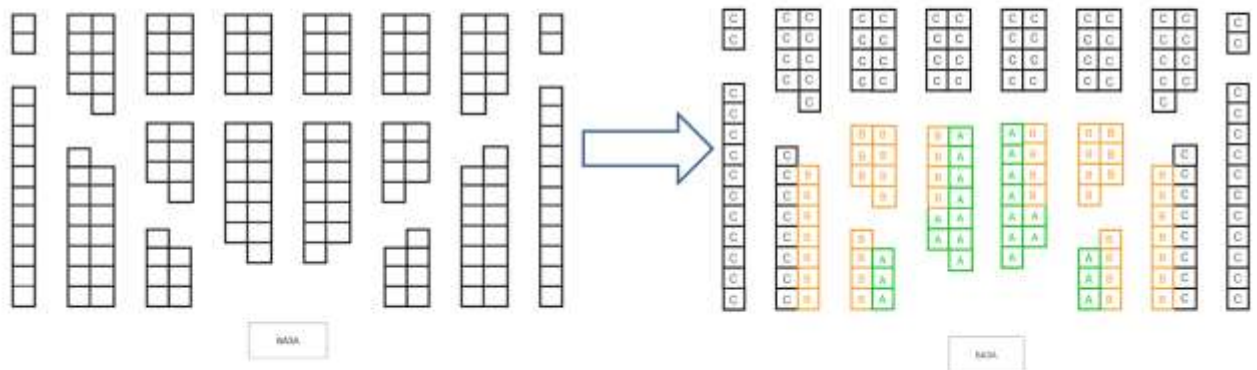
9

## ABC-класифікація

Product Name	Demand for product	Cumulated demand	Cumulated Pct	ABC Class
Упаковка	263	3%	55,92%	A
Заглушка	261	3%	58,82%	A
Етикетка-4	257	3%	61,67%	A
Димохід	257	3%	64,53%	A
Заклепка	241	3%	67,20%	A
Гвинт	180	2%	69,20%	A
Корпус	100	1%	70,00%	A
Заглушка	59	1%	70,97%	B
Брусок	59	1%	71,62%	B
Зольник	59	1%	72,28%	B
Болт 4	58	1%	72,92%	B

10

## Класифікація ABC для Flying-V розташування стелажів



11

## Таксономічна міра привабливості (TMAL)

Для побудови коефіцієнта TMAL використовуються наступні змінні:

$x_1$  – відстань від старту,

$$x_1^* = \frac{1}{x_1}$$

$x_2$  – ступінь задоволення попиту,

$$x_2 = \begin{cases} \frac{l}{z}, & \text{якщо } z > l \\ 1, & \text{якщо } l \geq z \end{cases}$$

де  $l$  – кількість одиниць певного виду деталей в заданому слоті;

$z$  – попит на даний вид деталей в замовленні;

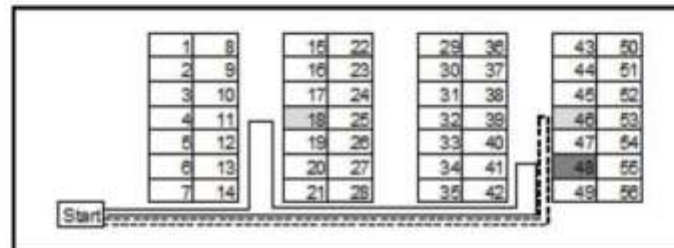
$x_3$  – кількість інших виробів, які можна зібрати поблизу даного місця.

Показник таксономічної міри привабливості місцеположення:

$$M = \sum w_i x_i \quad (i = \overline{1,3}).$$

12

## Таксономічна міра привабливості (TMAL)



■ - місця, де присутній продукт А.

■ - місця, де присутній продукт В.

13

## Приклад замовлення

№	Назва товару	Кількість
1	Гайка	20
2	Датчик температури	15
3	Теплоізолятор	12
4	Кронштейн	7
5	Екран	3
6	Етикетка-4	19
7	Шайба М5	2
8	Турбулізатор	23
9	Зольник	6
10	Камера згорання	14



14

## Математична модель комплектації замовлень

$$\text{мінімізувати } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n D_{ij} X_{ijk}, \quad (1)$$

$$\text{за умови } \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n X_{ijk} = 1, \quad i = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n X_{ijk} = 1, \quad j = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ijk} = 1, \quad k = 0, 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1, i \neq j}^n X_{ijk} = \sum_{r=1, r \neq j}^n X_{jr}(k+1), \quad (5)$$

$$\sum_j X_{0j0} + \sum_j X_{(n+1)j0} = 1, \quad (6)$$

$$X_{ijk} = 0 \text{ або } 1. \quad (7)$$

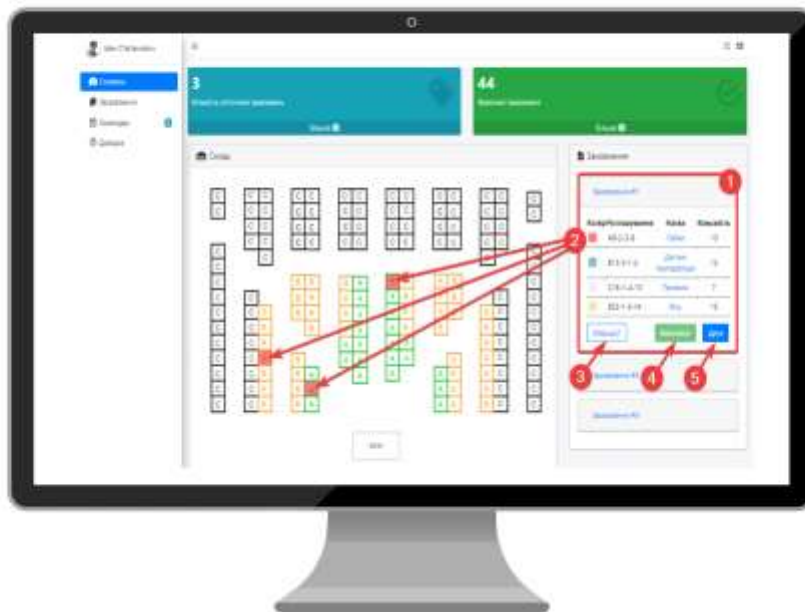
15

## Блок-схема роботи веб-застосунку



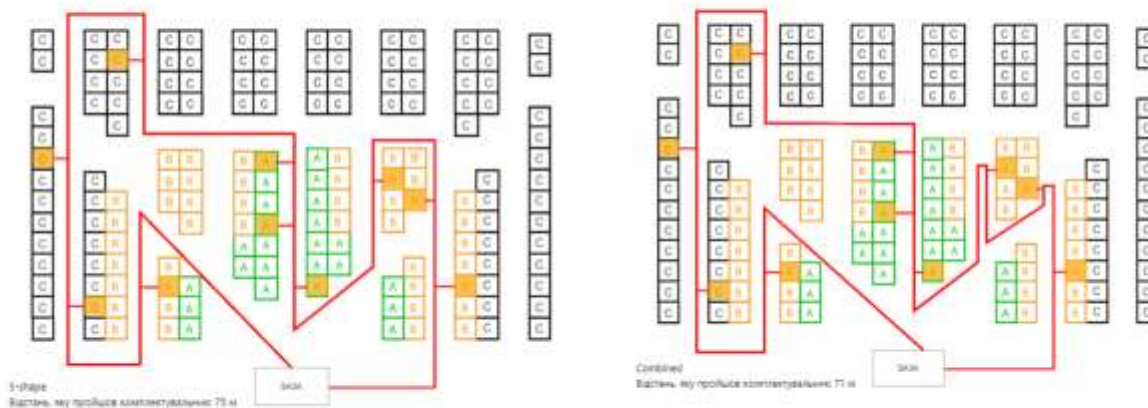
16

## Сформоване замовлення у веб-застосунку



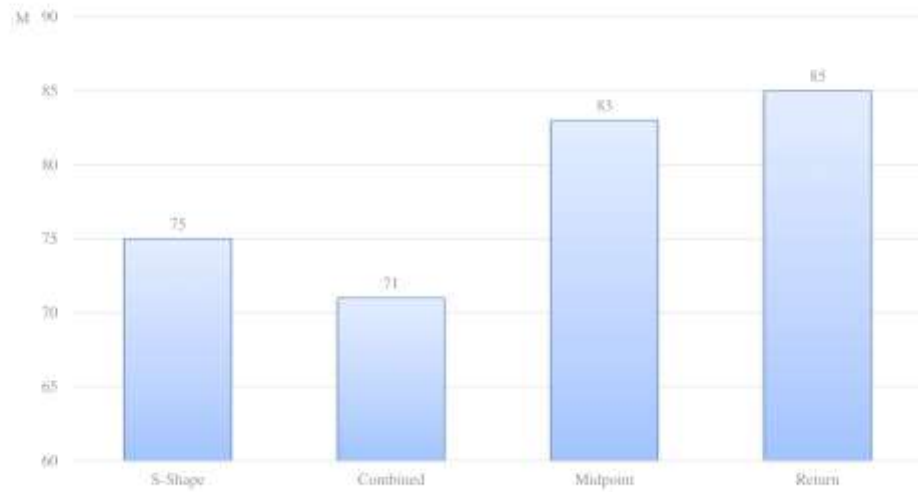
17

## Побудовані маршрути



18

## Результати дослідження



29

## Концепція «Warehouse»



30

## Висновки

- ✓ Визначено основні проблеми, що виникають при організації процесу комплектації на підприємстві «Красилівський агрегатний завод»;
- ✓ Побудовано математичну модель комплектації замовлень;
- ✓ Розроблено веб-додаток для формування замовлень і побудови маршрутів з використанням таксономічної міри привабливості (TMAL);
- ✓ Побудовано маршрути, використовуючи евристичні методи маршрутизації, а саме: S-Shape, Combined, Midpoint, Return;
- ✓ Розроблено власну концепцію «Warehouse», застосування якої дозволяє оптимізувати один із найголовніших процесів – комплектацію замовлень. На основі результатів сформовані практичні рекомендації, щодо вдосконалення складської діяльності підприємства.

23

# Дякую за увагу!



## РЕЦЕНЗІЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Дипломник: Злотаренчук Олена Іванівна

Тема: Оптимізаційна модель процесу комплектації замовлень товарів на складах

Спеціальність: 113 – Прикладна математика

**Обсяг дипломної роботи:**

Кількість сторінок записки: 118.

1. Короткий зміст ДР та прийнятих рішень.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці веб-додатку для створення складських замовлень та побудови маршруту руху комплектувальника. Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку джерел посилання і додатків. Дипломну роботу можна визнати доцільною, оскільки вона присвячена актуальним питанням складської діяльності на прикладі підприємства «Красилівський агрегатний завод».

2. Висновок про відповідність ДР поставленому завданню.

Робота має чітко побудовану структуру, зміст повністю відповідає назві, поставленій меті за завданням і в повному обсязі розкриває тему дипломної кваліфікаційної роботи.

3. Характеристика виконання кожного розділу роботи, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи.

Структура роботи обумовлена темою дослідження.

В першому розділі розглянуто теоретичні основи та процеси складської діяльності на підприємствах; визначено основні проблеми організації процесу комплектації та обрано методи за якими буде здійснюватися розташування стелажів та розподіл товарів на складі підприємства.

У другому розділі розглянуто математичну модель комплектації замовлень; проаналізовано існуючі методи оптимізації; обрано методи, які найкращим чином відповідають діяльності підприємства і дозволяють вирішити виявлені недоліки на складі.

У третьому розділі запропоновано Flying-V розташування на основі якого розраховано ABC-метод. Побудовано евристичні маршрути використовуючи таксономічну міру привабливості (TMAL). Розроблено власну концепцію. На основі результатів сформовані практичні рекомендації, щодо вдосконалення складської діяльності підприємства.

4. Позитивні сторони роботи

Проведені дослідження представляють практичну цінність, їх можна використати з метою підвищення ефективності функціонування складської діяльності. Запропонована концепція може бути легко застосована до інших типів складів, наприклад, для зберігання продуктів, техніки, запчастин, будівельних матеріалів, оскільки вони не прив'язані до виду продукції і запропоновані методи засновані на моделях маршрутизації, які підтримують різні типи складу.

## 5. Негативні сторони роботи.

Використання методу Flying-V передбачає зміни у плануванні існуючого складу та стелажів різної форми, тобто не є універсальним рішенням для більшості складів. Однак, ці недоліки не мають принципового значення, суттєво не впливають на кінцевий результат і не знижують загального враження від прочитаної роботи.

## 6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи.

Пояснювальна записка оформлена у відповідності з нормами. Відмічені недоліки не знижують цінності дипломної роботи.

## 7. Відгук про роботу в цілому.

Робота виконана в повному обсязі. За своєю структурою, практичними цінностями, поставленій меті та вирішеними завданнями робота відповідає вимогам вищої школи і вимогам, що пред'являються до освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр», а її автор Злотаренчук О.І. заслуговує присвоєння кваліфікації магістра з прикладної математики.

8. Інші зауваження. Відсутні.9. Оцінка дипломної роботи. Дипломна робота заслуговує на оцінку відмінно.

Рецензент: Ярецька Наталія Олександрівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики та комп'ютерних застосувань

"27" листопада

2020 р.

  
(підпис)

Завідувачу кафедри ТМІТ  
д-р.техн.наук Підченку С.К.

Злотаренчук Олени Іванівни  
ПІВ здобувача вищої освіти

ФПКТС, 2 курсу, групи ПМм-19-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), 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 плагіатоповіщений (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.

30.11.20

дата

  
підпис

## Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 1.0%

Словари проверки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Ошибка в документах: 9%

ID: 81111 Название: Оптимізаційна модель процесу комплектації замовлень товарів на складах Добавлено в БД: 2020-11-24 Авторы: Злотаренчук Олена Іванівна Руководители: Кучерук Оксана Ярославівна Консультанты: Оponentы:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	86637	729	1939 (2%)	27 (4%)

### Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы



Имя пользователя:  
Kafedra TMIT KhNU

Дата проверки:  
01.12.2020 22:40:33 EET

Дата отчета:  
01.12.2020 22:44:58 EET

ID проверки:  
1005322702

Тип проверки:  
Doc vs Internet + Library

ID пользователя:  
100005657

Название файла: Злотаренчук\_ПМм-19-1

Количество страниц: 76 Количество слов: 11769 Количество символов: 86636 Размер файла: 2.73 MB ID файла: 1005445604

Обнаружены модификации текста (могут влиять на процент совпадений)

## 4.7% Совпадения

Наибольшее совпадение: 0.56% с Интернет-источником (<https://ppt-online.org/69170>)

4.62% Источники из Интернета 158

Страница 76

0.11% Источники из Библиотеки 1

Страница 79

## 0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

## 0% Исключений

Нет исключенных источников

## Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы 32

Подозрительное форматирование 14  
страниц

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

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

Назва: Оптимізаційна модель процесу комплектації замовлень товарів на складах

Автор: Злотаренчук Олена Іванівна

Спеціальність: 113 – прикладна математика

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Кучерук Оксана Ярославівна, к.п.н 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.	+
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 та 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 укріплення запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Найвні текстові запозичення на які вказує система юнічек є повторами відомих загальноприйнятих словосполучень і тому є допустимі, запозичення розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи, усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання.

Критичні зауважень по плагіату відсутні.

2.12.2020

Дата



Підпис

Підпис