

УДК 004.023:658.78

[0000-0003-2812-5318] **О. Я. Кучерук**, канд. пед. наук, доцент,
e-mail: kucheruk.o.ya@gmail.com

[0000-0002-0585-5783] **І. В. Драч**, канд. техн. наук, доцент

Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, 29016, Україна

ОПТИМІЗАЦІЙНИЙ ПІДХІД В ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ КОМПЛЕКТУВАЛЬНИКА

У статті розглядається задача оптимізації маршруту руху комплектувальника під час комплектації замовлення. Така задача є актуальною, зокрема, для складів на промислових підприємствах. Дослідження проводиться в рамках науково-дослідної роботи 0121U107702 «Моделювання логістичних процесів на складах підприємства» на емпіричних даних складу деталей і комплектуючих ДП КАЗ, що спеціалізується на виготовленні котлів різних модифікацій. Переміщення територією складу є домінуючою складовою процесу комплектації замовлень, на яку припадає понад 50 % загального часу збору замовлення. Тому оптимальний маршрут комплектувальника суттєво впливає на мінімізацію часу та правильне виконання замовлення. В статті запропоновано алгоритм вирішення задачі оптимізації маршруту комплектувальника. Для побудови маршруту руху працівника територією складу пропонується використання евристичних методів, зокрема S-Shape, Midpoint, Return, Combined.

Ключові слова: комплектація замовлень, маршрут, евристика, S-Shape, Midpoint, Return, Combined.

Вступ. В умовах жорсткої конкуренції у промисловому секторі підприємства змушені шукати нові рішення для досягнення значної конкурентної переваги на ринку. Одним із шляхів підвищення ринкової привабливості є поліпшення функціонування всіх процесів. Світовий досвід і сучасні технології управління свідчать, що найбільші резерви підприємства криються саме в оптимізації його бізнес-процесів з метою зниження витрат.

Склад є важливим елементом логістичної системи підприємства. Правильно організоване складське господарство підвищує організованість виробництва і його ритмічність; зберігає якість матеріалів, сировини, продукції; а також покращує використання займаних територій тощо [1]. Складські процеси характеризуються складністю і пов'язані з великими витратами праці та коштів. Тому підприємства постійно шукають нові способи підвищення якості функціонування складу і зменшення витрат на операції всередині складу.

Для промислових підприємств правильне зберігання комплектуючих та їх передача на виробничу лінію є основою ефективного функціонування виробництва. Важливою задачею, яку необхідно вирішити на багатьох підприємствах, є вдосконалення процесу потоку комплектуючих зі складу до виробничої лінії [2].

Важко визначити всі проблеми, з якими щодня стикається склад. Проте досвід показує, що особливою проблемою в складському процесі є пошук і комплектація замовлень як найбільш трудомісткі операції, на які значною мірою впливають маршрут руху комплектувальника під час збору замовлення і спосіб розміщення матеріалів та комплектуючих на складі. Ситуація з пошуком і комплектацією замовлень ускладнюється тим, що ці операції, за небагатьма винятками, виконуються вручну [3]. Тому комплектація замовлень на складах викликає все більший інтерес у підприємств, які, усвідомлюючи величезний потенціал для вдосконалення складських процесів, постійно прагнуть їх оптимізувати.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Експлуатація та управління складами як важливий напрям досліджень є актуальними протягом тривалого часу та залишаються актуальними і сьогодні. Зокрема, багато досліджень було проведено щодо вдосконалення процесу комплектації замовлень, але керування цим процесом залишається складним.

Проблеми оптимізації процесу комплектації розглядали у своїх роботах, зокрема, S. Altarazi, J. Bartholdi, K. Dmytrów; H. Chan, S. Hackman, K. Pang, R. De Koster, T. Le-Duc та K. J. Roodbergen, H. Ratliff і A. Rosenthal,

C. G. Petersen, A. Sabo, M. Garbacz та M. Łopuszyński; G. Tarczyński, E. Коробков.

Зокрема, H. Ratliff і A. Rosenthal розробили точний алгоритм, який дав змогу вирішити проблему руху комплектувальника в одноблочному прямокутному складі. K. J. Roodbergen і R. De Koster узагальнили алгоритм H. Ratliff і A. Rosenthal для випадку складів з двома блоками (три основні коридори).

C. G. Petersen [4] оцінив результати застосування п'яти евристик для побудови маршрутів, а потім порівняв їх із оптимальним алгоритмом H. Ratliff і A. Rosenthal.

У своїй роботі [5] R. De Koster, T. Le-Duc та K. J. Roodbergen описують переваги використання евристичних методів побудови маршруту.

A. Sabo [6] в своїх дослідженнях застосовувала теорію графів, зокрема, використовувались мінімальні обшивні дерева.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності роботи комплектувальника шляхом урахування типу і топології складу та зменшення часових витрат на процес комплектації.

Мета зумовила конкретні завдання, а саме: розглянути можливості оптимізації часових витрат за рахунок раціонального розташування та зберігання товарів на складах; розглянути метод, який дає змогу визначати місця для відвідування, що розташовані як найближче; описати евристики, що використовуються для побудови маршруту комплектувальника; інтегрувати описані методи в алгоритм пошуку оптимального маршруту комплектувальника.

Виклад основного матеріалу. Комплектування замовлень (order picking) – це процес пошуку і вилучення товарів (комплектуючих, матеріалів) з місць зберігання відповідно до конкретного замовлення. Процес комплектування замовлень може досягати за різними оцінками до 55–75 % від усіх трудовитрат на складі. Тому цей процес є пріоритетним напрямом поліпшення ефективності функціонування складу [7, 8, 9].

Відомі дві схеми комплектації [10]: «людина до товару» і «товар до людини». Система «товар до людини» рентабельна тільки при повній автоматизації процесів розміщення та збору товарів. Тому більшість складів надають перевагу системі «людина до товару», в якій працівник складу, рухаючись

уздовж проходів, здійснює збір товару згідно з замовленням. У схемі «людина до товару» процес комплектації включає: переміщення по складу, пошук товарів, вилучення товарів із місць зберігання та організаційні заходи. Отже, час, що становить загальний час збору замовлення, можна поділити на три типи: час у дорозі (переміщення по складу); час обробки замовлення – пошук місць зберігання та вилучення предметів; адміністративний час – час на організаційні заходи. Переміщення по складу є домінуючою складовою, на яку припадає понад 50 % загального часу збору замовлення (рисунки 1).

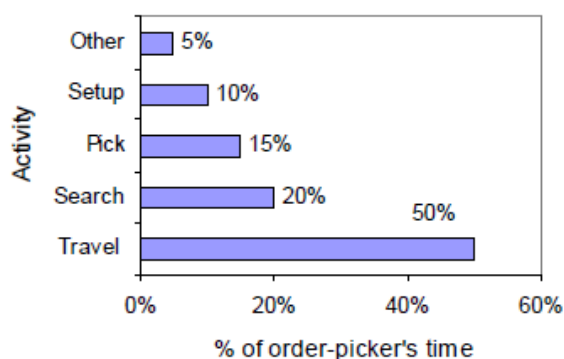


Рисунок 1 – Типовий розподіл часу комплектувальника (за [5])

За словами Bartholdi і Hackman, «час у дорозі є марнотратним. Це коштує робочих годин, але не додає вартості» [8]. Тому оптимізація цього елемента є надзвичайно важливою. Місця розташування товарів також мають значний вплив на форму маршруту та його довжину [11]. Основне завдання полягає в організації процесу таким чином, щоб скоротити маршрут комплектувальника при обході місць зберігання товару і виключити зайві переміщення. Отже, проблема потребує вирішення двох задач: визначення набору місць зберігання, які треба відвідати, та мінімізація відстані, що проходить комплектувальник.

Перш ніж будувати маршрут, який повинен пройти комплектувальник, необхідно визначити місця, які треба відвідати (опорні точки для побудови маршруту). А це залежить від способу зберігання. Є два основні способи зберігання: спеціальне зберігання (*dedicated storage*) і спільне зберігання (*shared storage*). При спеціальному зберіганні певний товар зберігається лише в одному місці, інакше кажучи, вказане місце призначається лише для зберігання певного товару. У разі спільного

зберігання певний товар теоретично може зберігатися в декількох місцях. Спільне зберігання забезпечує набагато краще використання простору для зберігання, але товар у цьому разі «розсіюється по складу» [12, 13]. У разі спільного зберігання необхідно визначити, з якого місця брати товар (якщо він зберігається в більш ніж одному місці).

Зменшити «розсіювання по складу» можливо, використовуючи методи, що дають можливість класифікувати та раціонально розташувати товари. Одним із таких методів, який найчастіше використовується, є ABC-аналіз. Цей метод базується на принципі Парето (80/20), згідно з яким 20 % причин мають 80 % наслідків [14]. Застосовуючи його до складу, можна зробити висновок, що 20 % товарних позицій генерують 80 % товарних потоків, тоді як 80 % видів товарів припадає на решту 20 % потоків. ABC-аналіз дає змогу поділити весь асортимент товару на три групи за певним критерієм. При комплектуванні замовлень таким критерієм зручно обирати частоту появи певного товару у листі замовлення. В такому разі:

група А – товари з найбільшою частотою взяття, тобто товари, що найчастіше з'являються у листах замовлень (товари, що становлять 20 % від загальної кількості товарів, але становлять близько 80 % від усього обороту);

група В – товари з середньою частотою взяття (товари, що становлять 15 % від усього обороту)

група С – товари з найменшою частотою взяття (товари, що становлять 5 % від усього обороту) (рисунк 2).



Рисунок 2 – Ілюстрація ABC-аналізу [15]

Щоб зменшити довжину маршруту, важливо всі місця зберігання розділити на асор-

тиментні зони А, В, С. Таким чином, набір місць зберігання ділиться на підмножини. Товари групи А, які найчастіше з'являються в листах замовлень, розташовуються в найближчій відстані до пункту видачі (початку маршруту). Товари групи В зберігаються в середній зоні, а групи С – у найбільш віддаленій зоні (рисунк 3).

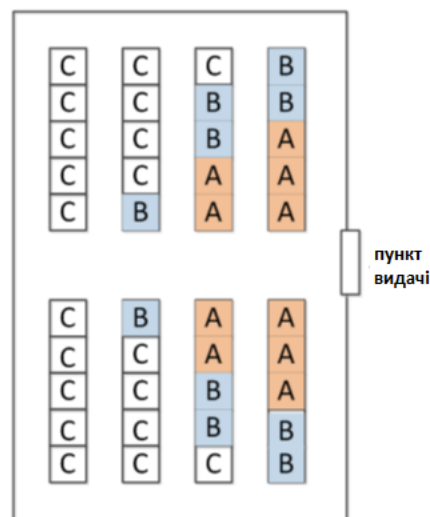


Рисунок 3 – Приклад розташування товарів на основі ABC-аналізу ([10])

Для оптимізації маршруту також важливо, щоб місця, які необхідно відвідати під час комплектації замовлення, були максимально наближені один до одного. Особливо це важливо за умови спільного зберігання. Для визначення місць, які треба відвідати комплектувальнику, зручно використовувати метод таксономічної міри привабливості місцеположення (TMAL – Taksonomiczna Miara Atrakcyjności Lokalizacji), запропонований К. Dmytrów [12]. Цей метод дає змогу визначити місця для відвідування (опорні точки), що розташовані максимально близько і дають можливість збору більшої частини замовлення. Для знаходження значення показника TMAL використовуються такі характеристики: відстань від початку маршруту до опорної точки, рівень виконання замовлення за певною асортиментною позицією в певній опорній точці та кількість інших товарних позицій у списку замовлень, які знаходяться в цьому місці або в його безпосередній близькості. Причиною використання цього методу є, по-перше, його обчислювальна простота, висока гнучкість і простота реалізації; по-друге, можливість модифікації та використання інших

характеристик. Використання цього методу було розглянуто нами у роботі [13]. Після визначення місць для відвідування будується маршрут руху комплектувальника.

Задачу оптимізації маршруту комплектувальника під час комплектації замовлення можна розглядати як проблему комівояжера. Н. D. Ratliff і A. S. Rosenthal у 1983 р., використовуючи теорію графів та динамічне програмування, розробили точний алгоритм, який дав змогу вирішити цю задачу для одноблочного прямокутного складу. Цей алгоритм забезпечує знаходження оптимального рішення на складах з будь-якою кількістю паралельних алеї та двома головними проходами. K. J. Roodbergen і R. De Koster пізніше узагальнили алгоритм Н. D. Ratliff і A. S. Rosenthal для випадку складів із двома блоками (трьома основними коридорами). Для інших типів складів пошук найкоротшого шляху є більш складним і трудомістким завданням [16].

На практиці проблема маршрутизації комплектувальника замовлень на складі в основному вирішується за допомогою евристик. Це пов'язано з деякими недоліками застосування оптимальної маршрутизації на практиці. По-перше, варто зазначити, що оптимальний алгоритм доступний не для кожного макету складу. По-друге, оптимальні маршрути можуть здатися нелогічними для працівників, що здійснюють комплектацію замовлень, які в результаті відхиляються від зазначених маршрутів. По-третє, стандартний оптимальний алгоритм не може враховувати можливе виникнення заторів у проходах [5].

Евристичні методи дають змогу досягти рішень, близьких до оптимальних, і додатково дають можливість уникнути зіткнень і заторів, які можуть виникнути під час одночасної роботи багатьох працівників складу, і від яких оптимальний алгоритм не захищає. Існує декілька евристичних методів: S-Shape, Midpoint, Return, Largest gap, Combined.

Метод S-Shape (рисунк 4) є одним із найпопулярніших і найпростіших методів визначення маршруту. Згідно з цим методом комплектувальник під час збору замовлення переміщується маршрутом, що нагадує букву S. Працівник починає виконувати замовлення в початковому пункті, де він одержує замовлення. Потім звертає до найближчої алеї, в якій є місця зберігання, які необхідно відвідати. Зібравши всі товари в цій алеї, працівник

прямує до її кінця і переходить у бічний коридор, щоб увійти до наступної алеї. Відвідуються лише алеї, що містять принаймні одне місце зберігання, яке необхідно відвідати, і проходиться вся їх довжина (без можливості повернення) [2, 17].

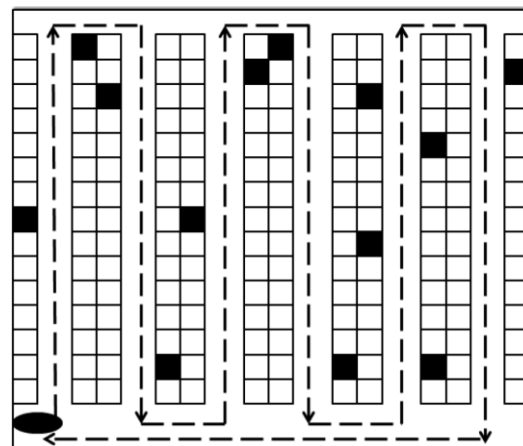


Рисунок 4 – Метод S-Shape [17]

При використанні методу Midpoint (рисунк 5) склад умовно ділиться навпіл. Виконуючи замовлення, комплектувальник входить у першу алею, на якій містяться товари, що підлягають збору, але відвідує лише ті місця зберігання, що знаходяться до умовної лінії поділу складу. Досягнувши цієї лінії, працівник повертається до головного проходу та прямує до наступної алеї, де є місця зберігання, які необхідно відвідати, та проходить її аналогічно. Остання алея проходиться повністю [2].

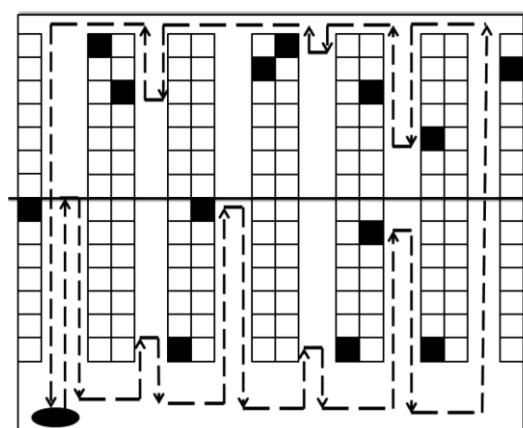


Рисунок 5 – Метод Midpoint [16]

Метод Return (рисунк 6) передбачає відвідування кожної з алеї, в якій є місця, необхідні для відвідування. Заходячи на певну алею, працівник проходить так глибоко,

щоб відвідати всі визначені на цій алеї місця зберігання, а потім повертається в головний прохід [2].

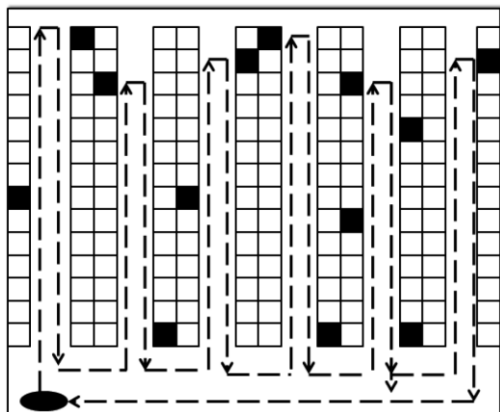


Рисунок 6 – Метод Return [17]

Маршрут, визначений за допомогою методу Largest gap (рисунок 7), часто подібний до маршруту, отриманого методом Midpoint, оскільки обидва методи базуються на подібних засадах: ділення складу на дві частини та комплектування товару спочатку з однієї і лише потім з другої частини. На відміну від методу Midpoint, тут працівник, заходячи на окремі алеї, може зайти за їх середню уявну межу [17].

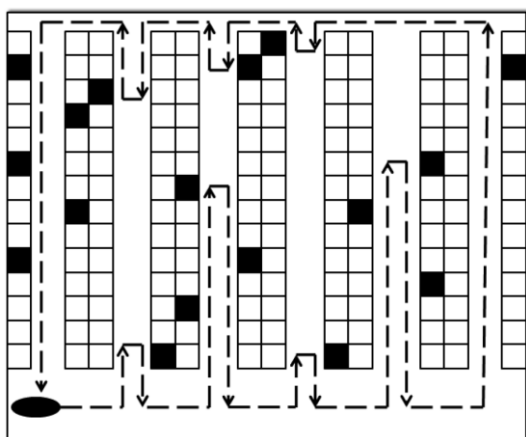


Рисунок 7 – Метод Largest gap [17]

Метод Combined (рисунок 8) передбачає, що працівник під час збору відвідує алеї, де є місця, необхідні для відвідування, після чого вирішує, чи повертатися в нижній головний прохід, чи рухатися у верхній. Вибирається більш сприятливий варіант [17].

Кожен з описаних методів визначення маршруту збору може знайти своє застосування на різних складах підприємств. Вибра-

ти, який найкращий для певного, можна шляхом проведення відповідних випробувань, що дадуть змогу перевірити, який із методів за певних умов приведе до найкоротшої тривалості процесу збору замовлення.

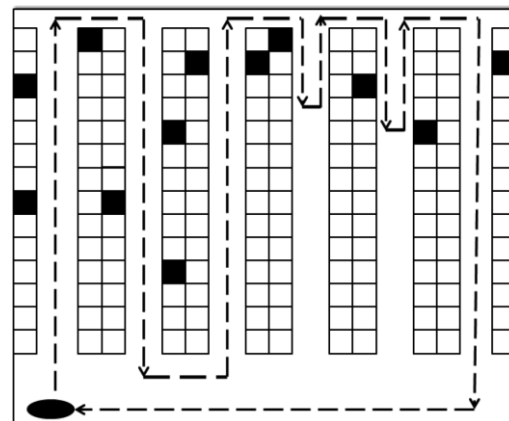


Рисунок 8 – Метод Combined [17]

З огляду на зазначене вище, пропонується такий алгоритм рішення задачі оптимізації маршруту комплектувальника.

Етап 1: Проведення ABC-аналізу для визначення відповідного розташування деталей та комплектуючих на складі.

Етап 2: Застосування методу таксономічної міри привабливості місцеположення (TMAL) для визначення місць, які необхідно відвідати комплектувальнику згідно з замовленням.

Етап 3: Побудова маршруту руху комплектувальника за допомогою кількох евристичних методів (зокрема, S-Shape, Midpoint, Return, Combined).

Етап 4: Вибір найкращої евристики для певних типу та топології досліджуваного складу за критерієм мінімуму середньої довжини маршруту.

Результати дослідження. Предметом аналізу є склад деталей та комплектуючих на підприємстві. Навіть незначні помилки та затримки доставки деталей та комплектуючих можуть призвести до зупинки виробничої лінії, що, в свою чергу, негативно впливає на весь виробничий процес. Працівник складу починає процес комплектування у початковій точці (пункт отримання замовлення), переміщується складом і вилучає деталі та комплектуючі з визначених місць зберігання відповідно до списку замовлення. Після завершення збору замовлення працівник повертається до

початкової точки. На цьому складі використується спосіб спільного зберігання.

Відповідно до першого етапу алгоритму на складі комплектуючих підприємства було проведено ABC-аналіз, який здійснювався з

використанням мови функцій та формул DAX. Перелік товарних найменувань містить понад 190 позицій. На рисунку 9 зображено фрагмент таблиці з результатами поділу асортиментних позицій 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
Брусok	59	1%	71,62%	B
Зольник	59	1%	72,28%	B
Болт 4	58	1%	72,92%	B

Рисунок 9 – Фрагмент таблиці з результатами проведення ABC-аналізу

За результатами ABC-аналізу на складі підприємства було розміщено всі деталі та комплектуючі на полицях стелажів, які поділені на слоти (комірки). Зауважимо, що цей етап не потребує повторення при побудові маршрутів для різних замовлень. Його можна періодично проводити, за умови змін у переліку товарних найменувань.

Для наступних етапів у ході дослідження створено веб-додаток мовою «Typescript», для розробки якого обрано фреймворк «Angular».

Для кожного найменування в листі замовлення розраховується інтегральний показник таксономічної міри привабливості його місцеположення, який залежить від: віддаленості елемента замовлення від пункту одержання та видачі замовлення; частки виконання елемента замовлення в певному слоті; кількості інших елементів у списку замовлень, які знаходяться в цьому слоті або в його околі. Детально процес визначення інтегрального показника таксономічної міри привабливості місцеположення елементів замовлення розглянуто в роботі [13]. Для подальшого дослідження обираються слоти з найвищим інтегральним показником.

Так, за емпіричними даними підприємства визначено 15 типових замовлень – наближено однакового обсягу, проте різних за набором елементів. Для кожного з цих замовлень у веб-додатку за методом таксономічної міри привабливості місцеположення визначе-

но опорні точки, які необхідно відвідати комплектувальнику, та побудовано маршрути руху за допомогою методів S-Shape, Midpoint, Return, Combined.

До прикладу, рисунок 10 ілюструє побудовані маршрути для одного із замовлень методами S-Shape та Return.

Для порівняння побудованих маршрутів обчислено довжину кожного маршруту у метрах. Результати досліджень подано у таблиці 1.

За найменшим значенням усередненого показника довжини маршруту найкращим методом побудови оптимального маршруту комплектувальника для заданих параметрів геометрії та топології складу є S-Shape.

Обговорення результатів. Застосування ABC-аналізу дало можливість оптимізувати розташування деталей та комплектуючих на складі, розташували ті асортиментні позиції, що мають вищий попит, ближче до пункту отримання та видачі замовлення. Використання методу таксономічної міри привабливості місцеположення дає змогу оптимізувати набір опорних точок маршруту, а застосування евристик – його побудувати.

Результати випробувань свідчать, що для досліджуваного складу найкращими методами для побудови маршруту комплектувальника виявилися метод S-Shape та метод Combined. Проте, як видно з таблиці 1, метод S-Shape все ж дає кращі результати.



Рисунок 10 – Маршрути руху з використанням: а) S-Shape; б) Return методів

Таблиця 1 – Результати досліджень (довжина маршруту)

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

Висновки. У статті розглянуто комплекс методів для розв'язання задачі маршрутизації і запропоновано алгоритм розв'язання задачі побудови оптимального маршруту комплектувальника, що дає можливість частково скоротити час комплектації замовлення. Значну увагу приділено евристичним методам побудови маршруту. Однозначно обрати найкращий метод визначення маршруту неможливо, оскільки цей вибір залежить від індивідуальних характеристик складу: розмірів, розташування стелажів, способу зберігання. Для складу, на якому проводилось дослідження, найкращим методом виявився метод S-Shape.

Задача побудови маршруту руху комплектувальника розглядалася й у роботах інших науковців. Проте всі відомі дослідження розглядали склади з будь-якою кількістю паралельних алей та декількома головними проходами, що перпендикулярні алеям.

Новизною нашого дослідження є розгляд іншої топології складу, а саме топології, де наявні проходи, що розташовані під певним кутом до алей. Науково-практичне значення дослідження полягає в поєднанні так-

сономічної міри привабливості місцеположення елементів замовлення та евристичних підходів до побудови маршруту руху комплектувальника для зазначеної топології складу.

Таким чином, запропонований алгоритм дає можливість покращити ефективність одного з процесів у складській логістичній системі, враховуючи тип і типологію складу та не вимагаючи значних додаткових витрат. Алгоритм дає змогу побудувати коротший шлях руху комплектувальника, проте доцільно розглянути і час, що витрачається на процес комплектування. Довжина маршруту описує лише переміщення, але не враховує часові витрати на відбір деталей в опорних точках, які залежать від кількості деталей, що необхідно взяти в опорній точці, та їх розташування на полицях стелажів. На це і будуть спрямовані подальші дослідження.

Дослідження виконано в рамках науково-дослідної роботи 0121U107702 «Моделювання логістичних процесів на складах підприємства». Валідація запропонованого алгоритму здійснювалася на даних підприємства «Красилівський агрегатний завод».

Список використаних джерел

- [1] А. Я. Кибанов, и Д. К. Захаров, *Формирование системы управления*. Москва, Россия: ГАУ, 2015.
- [2] M. Szada-Borzyszkowska, i W. Szada-Borzyszkowski, "Usprawnienie trasy kompletacji zamówienia w magazynie części do montażu pojazdów samochodowych", *Autobusy*, № 7-8, s. 271-274, 2017.
- [3] S. A. Altarazi, and M. M. Ammouri, "Concurrent manual-order-picking warehouse design: a simulation-based design of experiments approach", *International Journal of Production Research*, pp. 1-19, 2017.
- [4] C. G. Petersen, and G. R. Aase, "A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking", *International Journal of Production Economics*, № 92, pp. 11-19, 2004.
- [5] R. De Koster, T. Le-Duc, and K. J. Roodbergen, "Design and control of warehouse order picking: A literature review", *European Journal of Operational Research*, № 182 (2), pp. 481-501, 2007.
- [6] A. Sabo, "Analiza problemu kompletacji zamówień w magazynie wysokiego składowania", *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, s. 103-121, 2013.
- [7] Е. В. Коробков, "Процесс комплектования заказов на складе. Обзор", *Наука и Образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана*, № 3, с. 153-183, 2015.
- [8] J. J. Bartholdi, and S. T. Hackman, *Warehouse & Distribution science Release 0.94*, 2011.
- [9] Wenrong Lua, Duncan McFarlanea, Vaggelis Giannikasa, and Quan Zhangb, "An algorithm for dynamic order-picking in warehouse operations", *Preprint submitted to European Journal of Operational Research*, May 19, pp. 1-36, 2015.
- [10] I. Kudelska, "Metoda wyboru zmiennych miejsc składowania w magazynie", *Rozprawa doktorska*, Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania, Poznań, 2016.
- [11] T. Bódis, J. Botzheim, and P. Földesi, "Necessity and complexity of order picking routing optimisation based on pallet loading features", *Acta Univ. Sapientiae, Informatica*, 9, pp. 162-194, 2017.
- [12] Krzysztof Dmytrów, "Uwzględnianie czasu pobrań w wyborze lokalizacji odwiedzanych przez magazyniera pod czas kompletacji produktów", *Studia i Prace WNEiZ US*, № 44/2, s. 229-239, 2016.
- [13] О. Я. Кучерук, та О. І. Злотаренчук, "Таксономічна міра привабливості місцеположення в оптимізації процесу комплектації замовлень", *Проблеми системного підходу в економіці*, вип. 5 (79), с. 148-153, 2020.
- [14] "Zalety stosowania analizy ABC do klasyfikacji zapasów w magazynie". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mecalux.pl/blog/analiza-abc-klasyfikacja-magazynie>. Дата звернення: Верес. 5, 2021.
- [15] Analiza ABC XYZ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://staworzynski.com/artikuly/analiza-abc-xyz/>. Дата звернення: Верес. 6, 2021.
- [16] G. Tarczyński, "Porównanie efektywności kompletacji łączonych zleceń z kompletacją niezależną", *Prace naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, № 446, s. 250-263, 2016.
- [17] A. Sabo-Zielonka, i G. Tarczyński, "Porównanie czasów kompletacji zamówień dla różnych sposobów wyznaczania trasy magazynierów na przykładzie dużego centrum logistycznego", *Ekonometria*, № 2 (44), s. 62-81, 2014.

References

- [1] A. Ya. Kibanov, and D. K. Zakharov, *Formation of a management system*. Moscow, Russia: GAU, 2015 [in Russian].
- [2] M. Szada-Borzyszkowska, and W. Szada-Borzyszkowski, "Streamlining the order picking route in the automotive parts warehouse", *Autobusy*, no. 7-8, pp. 271-274, 2017.
- [3] S. A. Altarazi, and M. M. Ammouri, "Concurrent manual-order-picking warehouse design: a simulation-based design of experiments approach", *International Journal of Production Research*, pp. 1-19, 2017.
- [4] C. G. Petersen, and G. R. Aase, "A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking", *International Journal of Production Economics*, no. 92, pp. 11-19, 2004.

- [5] R. De Koster, T. Le-Duc, and K. J. Roodbergen, "Design and control of warehouse order picking: A literature review", *European Journal of Operational Research*, no. 182 (2), pp. 481-501, 2007.
- [6] A. Sabo, "Analysis of the problem of order picking in a high-bay warehouse", *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, pp. 103-121, 2013.
- [7] Ye. V. Korobkov, "The process of completing orders in the warehouse. Review", *Nauka i Obrazovanie. MGTU im. N. E. Bauman*, no. 3, pp. 153-183, 2015 [in Russian].
- [8] J. J. Bartholdi, and S. T. Hackman, *Warehouse & Distribution science Release 0.94*, 2011.
- [9] Wenrong Lua, Duncan McFarlanea, Vaggelis Giannikasa, and Quan Zhangb, "An algorithm for dynamic order-picking in warehouse operations", *Preprint submitted to European Journal of Operational Research*, May 19, pp. 1-36, 2015.
- [10] I. Kudelska, "Method of selecting variable storage locations in a warehouse", *Rozprawa doktorska, Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Zarządzania*, Poznań, 2016.
- [11] T. Bódis, J. Botzheim, and P. Földesi, "Necessity and complexity of order picking routing optimisation based on pallet loading features", *Acta Univ. Sapientiae, Informatica*, 9, pp. 162-194, 2017.
- [12] Krzysztof Dmytrów, "Taking into account the time of picking in the selection of locations visited by the warehouseman during the completion of products", *Studia i Prace WNEiZ US*, no. 44/2, pp. 229-239, 2016.
- [13] O. Ja. Kucheruk, and O. I. Zlotarenchuk, "Taxonomic measure of the attractiveness of the location in the optimization of the process of completing orders", *Problemy systemnogo pidkhotu v ekonomici*, iss. 5 (79), pp. 148-153, 2020 [in Russian].
- [14] "Advantages of using ABC analysis to classify inventory in a warehouse". [Online]. Available: <https://www.mecalux.pl/blog/analiza-abc-klasyfikacja-magazynie>. Accessed on: Sept. 5, 2021.
- [15] Analiza ABC XYZ. [Online]. Available: <https://staworzynski.com/artykuly/analiza-abc-xyz/>. Accessed on: Sept. 6, 2021.
- [16] G. Tarczyński, "Comparison of the effectiveness of picking combined orders with independent picking", *Prace naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, no. 446, pp. 250-263, 2016.
- [17] A. Sabo-Zielonka, and G. Tarczyński, "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), pp. 62-81, 2014.

O. Ya. Kucheruk, Ph. D., Associate Professor,
e-mail: kucheruk.o.ya@gmail.com

I. V. Drach, Ph. D., Associate Professor
Khmelnitsky National University
Instytutska st., 11, Khmelnitsky, 29016, Ukraine

OPTIMIZATION APPROACH IN THE ROUTING PROBLEM

The article considers that the warehouse is a particularly important element of the logistics system of the enterprise. Properly organized warehousing increases the organization of production and its rhythm; preserves the quality of materials, raw materials, products; as well as improves the use of occupied territories, etc. The main operations carried out in each warehouse are the receipt, storage, assembly and delivery of goods.

The authors emphasize that a special problem in the warehousing process is the search and execution of orders as the most time-consuming operations. These processes include moving according to the search for goods, withdrawal of goods according to organizational inputs. Moving through the warehouse is the dominant component of the order picking process, which accounts for more than 50 % of the total order collection time. Therefore, the optimal route can simultaneously minimize time and correct the fulfillment of the order. The main task is to organize the process so as to reduce the route of the picker when bypassing the storage of goods and eliminate unnecessary movement. Thus,

the problem needs to be solved by two tasks: determining the set of storage sites to be visited, and minimizing the distance traveled by the picker.

The article considers a set of methods for solving the routing problem and proposes an algorithm for solving the problem of the optimization of the route of the picker, which allows to partially reduce the time of completion of the order. The scientific and practical significance of the study is to combine the taxonomic degree of attractiveness of the location of the elements of the order and heuristic approaches to the construction of the route of movement of the picker for the specified topology of the warehouse. Considerable attention is paid to heuristic methods of route construction. It is impossible to unambiguously choose the best method of determining the route, as this choice depends on the individual characteristics of the composition: size, location of racks, method of storage. Thus, the proposed algorithm makes it possible to improve the efficiency of one of the processes in the warehousing logistics system, taking into account the type and typology of the warehouse and without requiring significant additional costs. The algorithm allows to construct a shorter path of the picker, but it is advisable to consider the time spent on the picking process.

The study has been conducted as a part of research work "Modeling of logical processes in warehouses of the enterprise" in warehouses of parts and components of enterprises, specializing in the preparation of boilers of various modifications. Four heuristic methods are used to determine the employee's route, namely S-Shape, Midpoint, Return, Combined.

Keywords: *order picking, route, heuristics, S-Shape, Midpoint, Return, Combined.*