
**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**
Khmelnytsky 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. Пензева, 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-shape, 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 (йдеться 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: $M = \sum w_i x_i$ ($i = 1, 3$).

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 дослідженні 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				

Показник таксономічної міри привабливості місцеположення

Слот	Вхідні значення змінних			Стандартизовані значення змінних			M
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁	X ₂	X ₃	
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. Pp. 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.: Peter, 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) Vliyanie raspolozheniya prokhodov mezhdru 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).