

УДК 656.073

Математическая модель выкладки товаров на полочном пространстве складского стеллажа с одновременной горизонтальной и вертикальной категоризацией товаров

Черняховская Екатерина Сергеевна — PhD, канд. наук по менеджменту и качеству, преподаватель Вроцлавского университета экономики и бизнеса. Область научных интересов: оптимизация, программирование, распределение полочного пространства. E-mail: kateryna.czerniachowska@ue.wroc.pl

Вроцлавский университет экономики и бизнеса, Вроцлав, Польша

Для цитирования: Черняховская Е. С. Математическая модель выкладки товаров на полочном пространстве складского стеллажа с одновременной горизонтальной и вертикальной категоризацией товаров // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2024. № 3 (39). С. 21–29. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-339-21-29

Аннотация. Организация выкладки товаров на полочном пространстве складского стеллажа с выделением отдельных категорий позволяет более рационально использовать доступные ресурсы. Это способствует оптимизации пространства на складе, обеспечивая компактное и логичное размещение товаров, что облегчает их поиск и извлечение. Такой подход также уменьшает количество времени, затрачиваемого на обработку заказов, и снижает вероятность ошибок при комплектации. В результате повышается общая эффективность складских операций и улучшается управление запасами. Целью исследования является разработка математической модели выкладки товара на складском стеллаже с одновременной категоризацией товаров и полок по вертикали и по горизонтали. Исследование имеет важное значение для складской логистики.

Ключевые слова: математическое моделирование, оптимизация, распределение полочного пространства, категоризация товаров

Введение

Склады являются важными элементами современных цепочек поставок. На складах хранится продукция и собираются заказы, тем самым обеспечивается бесперебойная работа всей логистической системы. Правильная организация складского пространства и оптимизация процессов комплектации играют ключевую роль в эффективности цепочек поставок.

Оптимизация операций комплектации заказов включает выполнение различных задач, перечисленных ниже [1, 2]:

- Выбор метода комплектации: этот процесс включает в себя комплектацию единичного заказа, комплектацию партиями, зональную комплектацию и волновую комплектацию. Метод выбирается в соответствии с политикой склада при комплектации заказов.
- Пакетирование заказов: процедура, при которой заказы клиентов собираются и одновременно выдаются в четко отведенное время.
- Маршрутизация комплектовщика: определяется порядком, в котором товары включаются

в список для комплектования, чтобы обеспечить наиболее эффективную траекторию перемещения комплектовщика по складу.

- Сортировка/накопление заказов: операция, включающая объединение выбранных продуктов по заказу клиента или по месту доставки [2].

Процесс извлечения продуктов со склада в ответ на конкретный запрос клиента называется комплектованием заказов [3]. Известно, что комплектование заказов, являющееся наиболее трудоемким процессом на складах с ручными системами, может составлять до 55 % от общих операционных расходов склада [4]. В результате планирование процесса комплектования заказов следует считать одной из важнейших задач для повышения производительности склада в целом [5].

Комплектование заказов — это одна из ключевых функций склада. Оно представляет собой подпроцесс более общего складского процесса, который включает извлечение товаров из запасов, организованных в блоки или на стеллажах, для выполнения качественных и количественных запросов клиента [6, 7].

Заказ клиента может быть собран полностью одним человеком или группой сотрудников, работающих поочередно или одновременно. Выбор оптимальной стратегии зависит от множества факторов, среди которых одним из наиболее значимых является скорость обработки заказов [8].

Таким образом, склады играют ключевую роль в современных цепочках поставок, обеспечивая хранение продукции и сборку заказов. Эффективная организация складского пространства с использованием горизонтальной и вертикальной категоризации, а также с присвоением нескольких меток товарам значительно улучшает видимость и доступность продукции, ускоряет процессы комплектации и позволяет гибко реагировать на изменения спроса. В результате это способствует повышению общей эффективности и устойчивости логистической системы.

Постановка задачи

Описываемая задача ранее была опубликована в [9–12]. Параметры и индексы, используемые

в модели: S — количество полок; P — количество товаров; K — количество категорий; T — количество меток; i — индекс полки, $i = 1, \dots, S$; j — индекс товара, $j = 1, \dots, P$; k — индекс категории, $k = 1, \dots, K$; t — индекс метки, $t = 1, \dots, T$; r — индекс положения, $r \in \{0, 1\}$;

$$r = \begin{cases} 0, & \text{прямое положение} \\ 1, & \text{боковое положение} \end{cases}.$$

Параметры полки i : s_i^l — длина; s_i^d — глубина; s_{ii}^g — бинарная метка;

$$s_{ii}^g = \begin{cases} 1, & \text{если полка } i \text{ обозначена меткой } t \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}.$$

Параметры товара j : p_j^w — ширина; p_j^d — глубина; p_j^u — прибыль; p_j^l — кластер; p_{ij}^t — метка t ; p_j^k — категория; p_j^s — лимит поставки; p_{jr}^w — ширина или глубина в зависимости от положения;

$$p_{jr}^w = \begin{cases} p_{j0}^w, & \text{если } r = 0, \\ \text{ширина при прямом положении} \\ p_{j1}^w, & \text{если } r = 1, \\ \text{глубина при боковом положении} \end{cases}.$$

p_j^{o2} — бинарный параметр возможности бокового положения;

$$p_j^{o2} = \begin{cases} 1, & \text{если боковое положение допустимо} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}.$$

f_j^{\min} — минимальное количество единиц товара; f_j^{\max} — максимальное количество единиц товара; s_j^{\min} — минимальное количество полок, на которых можно разместить товар; s_j^{\max} — максимальное количество полок, на которых можно разместить товар.

Параметры категории: c_k^m — минимальная ширина категории в процентах от длины полки; c_k^t — допуск ширины категории на разных полках в процентах от длины полки.

Параметры метки: b_t^n — специфика метки t , $b_t^n = \{H, H^+, V^+\}$; b_{ij}^t — метка совместимости продукта с полкой;

$$b_{ij}^t = \begin{cases} 1, & \text{если } s_{ii}^t = p_{ij}^t \wedge b_t^n = \{H\} \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases},$$

$t = 1, \dots, T$ — горизонтальный уровень полки для крупногабаритных товаров;

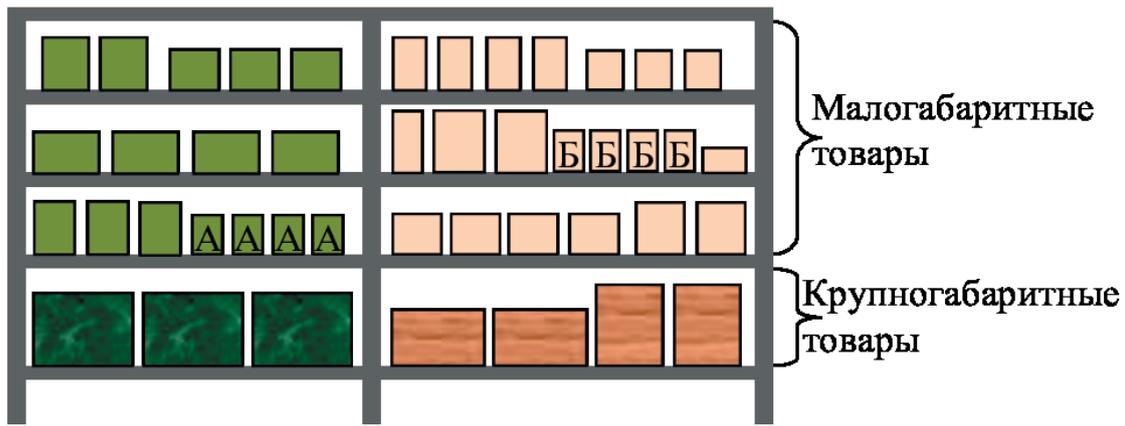


Рис. 1. Стеллаж с вертикальными (цвет) и горизонтальными (темные, светлые тона) метками: две вертикальные категории (зеленый, коричневый), две горизонтальные категории (малогоабаритные, крупногабаритные товары)

Допускается использование одновременно нескольких меток как для продукта, так и для полки.

На рис. 1 показан пример вертикальных и горизонтальных меток на складском стеллаже. В качестве примера можно рассмотреть вертикальную категоризацию товаров в две категории. Самая нижняя полка отведена под крупногабаритные и тяжелые товары. На других полках можно разместить малогабаритные товары.

На данном стеллаже указаны следующие уровни: нижний уровень для крупногабаритных товаров, уровень руки для малогабаритных товаров, уровень глаз для малогабаритных товаров и самая высокая полка без метки (там можно разместить разные малогабаритные товары). Некоторым товарам на стеллаже присвоены следующие метки:

- сформированы две вертикальные категории (V^+);
- нижний уровень — для крупногабаритных товаров обеих категорий (H);
- все полки, кроме нижней, предназначены для малогабаритных товаров обеих категорий (H);
- товар Б во второй категории (V^+) малогабаритный (H) на уровне глаз (H^+);
- товар А в первой категории (V^+) малогабаритный (H) на уровне руки (H^+).

Товары допускается маркировать одновременно несколькими метками. Метки $b_i^n = \{H; H^+; V^+\}$ характеризуют только тип группировки. Может

быть несколько значений (названий) определенного типа метки. Некоторые товары могут быть сгруппированы в кластер, поэтому их следует размещать на одной и той же полке (например, зарядное устройство и кабель). Таким образом, дистрибьюторы предотвращают ситуации отсутствия товара на складе, заполняя полки дополнительными, обычно покупаемыми вместе товарами. Некоторым товарам может быть не присвоена ни одна метка, должна быть лишь определена вертикальная категория.

Если продукт упакован в коробку, его можно расположить на полке двумя способами: лицевой стороной и боковой. Очевидно, что параметр положения товара не используется для бутылок, потому что ширина и глубина идентичны. По умолчанию все товары возможно поставить на полку лицевой стороной. В результате бинарный параметр положения определяет, можно ли разместить товар боком, то есть достаточно ли видны этикетка и название товара с его боковой стороны.

Чтобы решить задачу, дистрибьютор должен определить, на какой полке, на скольких полках следует разместить товар, затем определить количество единиц каждого товара, которое должно быть помещено на каждую полку, затем определить, какой стороной поставить товар на полку (лицевой или боковой), а также учесть набор ограничений, разделенных на четыре категории: ограничения на полку, ограничения на товар, ограничения

на положение и ограничения на метки. Целью размещения товаров на стеллаже является максимизация общей прибыли со стеллажа.

В данной задаче используются следующие переменные:

- x_{ijr} — товар j размещен на полке i в положении r ;
- f_{ijr} — количество единиц товара j на полке i в положении r ;
- y_i — положение товара j .

Проблему можно сформулировать следующим образом:

$$\max \sum_{j=1}^P \sum_{i=1}^S \sum_{r=0}^1 p_j^u f_{ijr}.$$

1. Ограничения по полке:

- длина полки:

$$\forall(i) \left[\sum_{j=1}^P \sum_{r=0}^1 p_{jr}^w f_{ijr} \leq s_i^w \right];$$

- глубина полки, если товар поставлен в прямом положении:

$$\forall(i, j, p_{j1}^w > s_i^d) [f_{ij0} = 0];$$

- глубина полки, если товар поставлен в боковом положении:

$$\forall(i, j, p_{j0}^w > s_i^d) [f_{ij1} = 0].$$

2. Ограничения на товар:

- минимальное и максимальное количество единиц товара:

$$\forall(i, j) \left[f_j^{\min} x_{ijr} \leq \sum_{r=0}^1 f_{ijr} \leq f_j^{\max} x_{ijr} \right];$$

- лимит поставки, если один и тот же товар размещен на нескольких полках:

$$\forall(j) \left[\sum_{i=1}^S \sum_{r=0}^1 f_{ijr} \leq p_j^s \right];$$

- товар стоит на полке:

$$\forall(i, j, r) [f_{ijr} \leq x_{ijr} f_j^{\max}];$$

- товары, сгруппированные в кластеры, размещаются на одной полке:

$$\forall(i) \forall(a, b : p_a^l = p_b^l, a, b = 1, \dots, P) \left[\sum_{r=0}^1 x_{iar} = \sum_{r=0}^1 x_{ibr} \right].$$

3. Ограничения на расположение товара на нескольких полках:

- минимальное и максимальное количество полок:

$$\forall(j) \left[s_j^{\min} \leq \sum_{i=1}^S \sum_{r=0}^1 x_{ijr} \leq s_j^{\max} \right];$$

- при расположении товара на нескольких полках его можно поставить только на подряд идущей полке:

$$\forall(j) \forall(a, b : |a - b| \neq 1 \wedge a < b, a, b = 1, \dots, S) \left[\sum_{r=0}^1 x_{ajr} + \sum_{r=0}^1 x_{bjr} \leq 1 \right].$$

4. Ограничения на положение товара:

- боковое положение товара допустимо:

$$\forall(i, j) [y_j \leq p_j^{o2}];$$

- доступно только одно положение для одного товара (прямо или боком):

$$\forall(i, j) \left[\sum_{r=0}^1 x_{ijr} \leq 1 \right].$$

5. Ограничения на метки:

- метки совместимости полок и товаров:

$$\forall(i, j) \left[\prod_{t=1}^T b_{ij}^t \geq \sum_{r=0}^1 x_{ijr} \right];$$

- минимальная ширина категории, если категория имеется на полке:

$$\forall(i, k) \left[\left(\sum_{j=1, p_j^k=k}^P \sum_{r=0}^1 p_{jr}^w f_{ijr} \geq \left[s_i^l \cdot c_k^m \right] \vee \left(\sum_{j=1, p_j^k=k}^P \sum_{r=0}^1 f_{ijr} = 0 \right) \right) \right];$$

- допуск по ширине категории на разных полках:

$$\forall(k) \left[\max_{i=1, \dots, S} \left(\sum_{j=1, \dots, S}^P \sum_{r=0}^1 p_{jr}^w f_{ijr} \right) - \min_{i=1, \dots, S} \left(\sum_{j=1, \dots, S}^P \sum_{r=0}^1 p_{jr}^w f_{ijr} \right) \leq \left[\max_{i=1, \dots, S} (s_i^l) \cdot c_k^t \right] \right].$$

6. Ограничения отношений:

- соотношение единиц товара и нахождения товара на полке:

$$\forall(i, j, r) [f_{ijr} \geq x_{ijr}];$$

- соотношение единиц товара и прямого положения:

$$\forall(i, j) [f_{ij0} \leq (1 - y_j) f_j^{\max}];$$

- соотношение единиц товара и бокового положения:

$$\forall(i, j) [f_{ij1} \leq y_j f_j^{\max}].$$

7. Переменные решения:

- товар размещен на полке:

$$\forall(i, j, r) [x_{ijr} \in \{0, 1\}];$$

- количество единиц товара на полке:

$$\forall(i, j, r) [f_{ijr} = \{f_j^{\min} \dots f_j^{\max}\}];$$

- прямое или боковое положение единиц товара на полке:

$$\forall(j) [y_j \in \{0, 1\}].$$

Обсуждение

В данном исследовании приводится математическая модель распределения полочного пространства складского стеллажа. Организация выкладки товаров на полочном пространстве с выделением отдельных категорий позволяет более рационально использовать доступные ресурсы. Это достигается путем логического распределения товаров по категориям, что упрощает их нахождение и извлечение. Категоризация может основываться на различных факторах, таких как тип продукции, частота покупки или сезонность спроса.

Организация выкладки товаров на полочном пространстве складов с выделением отдельных категорий и определением конкретных по-

лок для каждого типа товаров обеспечивает ряд ключевых преимуществ для логистической цепи поставок. Во-первых, такая организация способствует лучшей видимости товаров для комплектовщика. Размещение товаров определенных категорий вместе с другими сопутствующими продуктами облегчает их поиск, что сокращает время, затрачиваемое на сборку заказа. Это особенно важно в условиях высокого объема заказов и ограниченного времени на их выполнение, что позволяет увеличить производительность и снизить затраты. Во-вторых, вертикальная и горизонтальная категоризация товаров дает возможность гибко адаптировать выкладку в зависимости от сезонных изменений спроса и маркетинговых акций. Например, в период праздничных распродаж или сезонных пиков спроса можно легко переместить наиболее востребованные товары на более доступные и видимые полки. Это позволяет быстро реагировать на изменения рынка и потребительских предпочтений, обеспечивая своевременную доступность нужных товаров.

Кроме того, такая система категоризации и размещения товаров улучшает управление запасами. Четкое разграничение полочного пространства по категориям и меткам упрощает мониторинг остатков и процессы пополнения полок. Это позволяет более точно планировать закупки и минимизировать риск дефицита или излишков товаров.

Однако необходимо учитывать и некоторые сложности. Внедрение и поддержание системы с одновременной горизонтальной и вертикальной категоризацией требует значительных организационных усилий. Для успешной реализации такой системы необходимо тщательно продумать планировку склада, обучить сотрудников и постоянно обновлять информацию о местоположении товаров. Это может потребовать дополнительных финансовых и временных затрат, особенно на этапе внедрения.

Таким образом, организация выкладки товаров с использованием горизонтальной и вертикальной категоризации, а также присвоением нескольких меток товарам и полкам предоставляет значительные

преимущества в управлении складом. Это улучшает видимость и доступность товаров, ускоряет сборку заказов и позволяет гибко реагировать на изменения спроса, однако требует тщательного планирования и постоянного контроля для эффективного функционирования.

Заключение

В данной работе дается математическая модель выкладки товаров на складском стеллаже с применением вертикальной и горизонтальной категоризации товаров и полок. Такой подход представляет существенный вклад в управление товарами на складах и организацией сборки заказов комплектовщиками.

Одновременная горизонтальная и вертикальная категоризация товаров улучшает видимость и доступность продукции для комплектовщиков. Размещение товаров на полках с учетом их размеров, веса и частоты заказов позволяет сократить время, необходимое для их извлечения. Например, более часто востребованные товары можно разместить на уровне глаз, что облегчает их нахождение и уменьшает физическую нагрузку на работников.

Кроме того, присвоение товарам нескольких меток при категоризации дает возможность гибко адаптировать выкладку в зависимости от текущих потребностей. Сезонные изменения спроса или маркетинговые акции могут требовать быстрой перестановки товаров, и наличие системы меток позволяет сделать это без значительных усилий. Например, в период новогодних праздников популярные подарочные наборы могут быть размещены на наиболее доступных полках, чтобы ускорить процесс их комплектации.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку способов многоуровневой категоризации различных товаров, что необходимо для обеспечения работоспособности приведенной модели. Важность правильной категоризации заключается в ее способности существенно повысить эффективность и точность операций на складе.

Исследования также затронут аспекты эргономики и удобства для работников склада, чтобы новая система не только повышала производительность, но и улучшала условия труда. Это включает в себя оптимизацию маршрутов комплектовщиков и обеспечение легкого доступа к наиболее востребованным товарам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Davarzani H., Norrman A. Toward a Relevant Agenda for Warehousing Research: Literature Review and Practitioners' Input // *Logistics Research*. 2015. Vol. 8, iss. 1. Art. 1. 18 p. DOI: 10.1007/s12159-014-0120-1
2. Bahrami B., Aghezzaf E.-H., Limère V. Enhancing the Order Picking Process Through a New Storage Assignment Strategy in Forward-Reserve Area // *International Journal of Production Research*. 2019. Vol. 57, iss. 21. Pp. 6593–6614. DOI: 10.1080/00207543.2019.1567953
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, iss. 2. Pp. 481–501. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.07.009
4. Warehousing in the Global Supply Chain: Advanced Models, Tools and Applications for Storage Systems / R. Manzini (ed.) // London: Springer-Verlag, 2012. 508 p. DOI: 10.1007/978-1-4471-2274-6
5. Chen W., Zhang Y., Zhou Y. Integrated Scheduling of Zone Picking and Vehicle Routing Problem with Time Windows in the Front Warehouse Mode // *Computers and Industrial Engineering*. 2022. Vol. 163. Art. 107823. 14 p. DOI: 10.1016/j.cie.2021.107823
6. Emmett S. Excellence in warehouse management: How to minimise costs and maximise value. Chichester: John Wiley & Sons, 2005. 320 p.
7. Parikh P. J., Meller R. D. Selecting Between Batch and Zone Order Picking Strategies in a Distribution Center // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2008. Vol. 44, iss. 5. Pp. 696–719. DOI: 10.1016/j.tre.2007.03.002

8. Bartholdi III J. J., Hackman S. T. Warehouse & Distribution Science: Release 0.94. Atlanta (GA): Supply Chain and Logistics Institute, Georgia Institute of Technology, 2011. 321 p.
9. Czerniachowska K., Lutosławski K., Fojcik M. Heuristics for Shelf Space Allocation Problem with Vertical and Horizontal Product Categorization // Procedia Computer Science. 2022. Vol. 207. Pp. 195–204. DOI: 10.1016/j.procs.2022.09.052
10. Czerniachowska K., Wichniarek R., Żywicki K. Heuristics for Dimensioning the Shelf Space on the Rack with Vertical and Horizontal Product Categorisation in the Distribution Centre with Zone Picking // Management and Production Engineering Review. 2022. Vol. 13. No. 2. Pp. 31–47. DOI: 10.24425/mper.2022.142053
11. Czerniachowska K., Lutosławski K., Hernes M. Linear and Non-Linear Shelf Space Allocation Problems with Vertical and Horizontal Bands // Journal of Economics and Management. 2022. Vol. 44. Pp. 119–141. DOI: 10.22367/jem.2022.44.06
12. Czerniachowska K., Wichniarek R., Żywicki K. Industry Expertise Heuristics for Dimensioning Shelf Space of Rack Storage Location in a Distribution Centre with Zone Picking // Management and Production Engineering Review. 2023. Vol. 14. No. 1. Pp. 43–60. DOI: 10.24425/mper.2023.145365

Дата поступления: 06.06.2024

Решение о публикации: 17.07.2024

Mathematical Model of Product Allocation on Warehouse Rack with Simultaneous Horizontal and Vertical Product Categorization

Ekaterina S. Cherniakhovskaia

— PhD in Management and Quality, Lecturer at the Wrocław University of Economics and Business. Research interests: optimization, programming, shelf space allocation. E-mail: kateryna.czerniachowska@ue.wroc.pl

Wrocław University of Economics and Business, Wrocław, Poland

For citation: Cherniakhovskaia E. S. Mathematical Model of Product Display on the Shelf Space of a Retail Chain with the Presence of Expandable and Contractible Segments for Definite Types of Products // Intellectual technologies on transport. 2024. No. 3 (39). Pp. 21–29. DOI: 10.20295/2413-2527-2024-339-21-29 (In Russian)

Abstract. *The organization of the product allocation on the shelf space of the warehouse rack with the creation of separate categories allows for a more rational use of available resources. This allows for optimization of warehouse space by ensuring a compact and logical product arrangement, making them easy to find and retrieve. This approach also reduces the amount of time spent on processing orders and reduces the likelihood of picking errors. As a result, the overall efficiency of warehouse operations and inventory management is improved. The purpose of the study is to develop a mathematical model of product allocation on a warehouse rack with simultaneous categorization of goods and shelves vertically and horizontally. The study is important for warehouse logistics.*

Keywords: *mathematical modelling, optimization, shelf space allocation, product categorization*

REFERENCES

1. Davarzani H., Norrman A. Toward a Relevant Agenda for Warehousing Research: Literature Review and Practitioners' Input // *Logistics Research*. 2015. Vol. 8, iss. 1. Art. 1. 18 p. DOI: 10.1007/s12159-014-0120-1
2. Bahrami B., Aghezzaf E.-H., Limère V. Enhancing the Order Picking Process Through a New Storage Assignment Strategy in Forward-Reserve Area // *International Journal of Production Research*. 2019. Vol. 57, iss. 21. Pp. 6593–6614. DOI: 10.1080/00207543.2019.1567953
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, iss. 2. Pp. 481–501. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.07.009
4. Warehousing in the Global Supply Chain: Advanced Models, Tools and Applications for Storage Systems / R. Manzini (ed.) // London: Spinger-Verlag, 2012. 508 p. DOI: 10.1007/978-1-4471-2274-6
5. Chen W., Zhang Y., Zhou Y. Integrated Scheduling of Zone Picking and Vehicle Routing Problem with Time Windows in the Front Warehouse Mode // *Computers and Industrial Engineering*. 2022. Vol. 163. Art. 107823. 14 p. DOI: 10.1016/j.cie.2021.107823
6. Emmett S. Excellence in warehouse management: How to minimise costs and maximise value. Chichester: John Wiley & Sons, 2005. 320 p.
7. Parikh P. J., Meller R. D. Selecting Between Batch and Zone Order Picking Strategies in a Distribution Center // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2008. Vol. 44, iss. 5. Pp. 696–719. DOI: 10.1016/j.tre.2007.03.002
8. Bartholdi III J. J., Hackman S. T. Warehouse & Distribution Science: Release 0.94. Atlanta (GA): Supply Chain and Logistics Institute, Georgia Institute of Technology, 2011. 321 p.
9. Czerniachowska K., Lutosławski K., Fojcik M. Heuristics for Shelf Space Allocation Problem with Vertical and Horizontal Product Categorization // *Procedia Computer Science*. 2022. Vol. 207. Pp. 195–204. DOI: 10.1016/j.procs.2022.09.052
10. Czerniachowska K., Wichniarek R., Żywicki K. Heuristics for Dimensioning the Shelf Space on the Rack with Vertical and Horizontal Product Categorisation in the Distribution Centre with Zone Picking // *Management and Production Engineering Review*. 2022. Vol. 13. No. 2. Pp. 31–47. DOI: 10.24425/mper.2022.142053
11. Czerniachowska K., Lutosławski K., Hernes M. Linear and Non-Linear Shelf Space Allocation Problems with Vertical and Horizontal Bands // *Journal of Economics and Management*. 2022. Vol. 44. Pp. 119–141. DOI: 10.22367/jem.2022.44.06
12. Czerniachowska K., Wichniarek R., Żywicki K. Industry Expertise Heuristics for Dimensioning Shelf Space of Rack Storage Location in a Distribution Centre with Zone Picking // *Management and Production Engineering Review*. 2023. Vol. 14. No. 1. Pp. 43–60. DOI: 10.24425/mper.2023.145365

Received: 06.06.2024

Accepted: 17.07.2024