

УДК 658.78:004.8

*Дьяченко Елена Андреевна,
ассистент кафедры информационных технологий, ФГБОУ ВО
"Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева",
г. Астрахань
Подгорный Алексей Николаевич,
старший преподаватель кафедры информационных технологий, ФГБОУ
ВО "Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева",
г. Астрахань,*

МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ СКЛАДА

Аннотация. В статье анализируются методы искусственного интеллекта в организации работы склада. Отмечается, что машинное обучение стало привлекательной технологией для решения ключевых задач проектирования и планирования склада, таких как проблемы назначения мест хранения и проблемы сбора заказов. Рассматриваются интеллектуальные решения, используемые для решения этих проблем управления складом. Выявляются перспективы интеллектуализации складского управления.

Ключевые слова: управление складом, искусственный интеллект, машинное обучение, сбор заказов, назначение места хранения.

*Dyachenko Elena Andreevna, Assistant of the Department of Information
Technology, Astrakhan State University named after
V.N. Tatishchev, Astrakhan,
Alexey Nikolaevich Podgorny, Senior Lecturer at the Department of
Information Technology, Astrakhan State University named
after V.N. Tatishchev, Astrakhan*

METHODS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE ORGANIZATION OF WAREHOUSE WORK

***Annotation.** The article analyzes the methods of artificial intelligence in the organization of warehouse work. It is noted that machine learning has become an attractive technology for solving key warehouse design and planning tasks, such as the problems of assigning storage locations and the problems of collecting orders. The intelligent solutions used to solve these warehouse management problems are considered. The prospects of intellectualization of warehouse management are revealed.*

***Keywords:** warehouse management, artificial intelligence, machine learning, order collection, storage location assignment.*

Управление складом включает в себя решения по приему, хранению, сбору и доставке заказов и может влиять на производительность целых цепочек поставок. С развитием Индустрии 4.0 и цифровой трансформацией организаций машинное обучение (далее — МО) стало привлекательной технологией для решения задач проектирования и планирования склада, таких как проблемы назначения мест хранения (Storage Location Assignment Problems, далее — SLAP) и проблемы сбора заказов (Order Picking Problems, далее — OPP) для интеллектуального управления складированием и сбором [1]. Сбор заказов является наиболее ресурсоемким процессом и сильно зависит от политики размещения склада. SLAP включает назначение продуктов по местоположению на складе для минимизации общих усилий по их обработке. OPP относится к порядку, в котором продукты выбираются на основе стратегии маршрутизации. Эти проблемы тесно связаны: решение SLAP служит входными данными для OPP, поскольку маршруты могут быть созданы только после того, как будут известны местоположения продуктов. В то же время решение SLAP обычно можно оценить только тогда, когда известна стратегия решения OPP [2].

Целью работы является изучение методов искусственного интеллекта в организации работы склада. Для ее достижения были использованы структурно-функциональные и теоретические методы исследования: анализ, обобщение и синтез литературы в области организации работы складского хозяйства и использования методов машинного обучения.

По мере развития МО исследователи предлагали различные методы для решения SLAP и OPP по отдельности или комплексно [3]. Подходы на основе моделей, такие как математические модели, требуют набора предположений и специальных знаний из-за сложности, связанной с различными примерами этих проблем, что затрудняет реализацию этих решений в реальных случаях. Этот сценарий оставляет пробел, заполненный использованием моделей, управляемых данными, где параметры или входные данные оцениваются на основе исторических данных, что значительно повышает точность и надежность оценки. Кроме того, модели, управляемые данными, оптимально использовать вместо подходов, основанных на моделях, поскольку они не требуют настолько большого объема знаний экспертов в данной области [4].

Как способ автоматизации процесса управления складом, основанного на данных, МО использует методы и разработку алгоритмов, способных обучаться на данных и выполнять распознавание образов, что позволяет делать прогнозы [5]. Некоторые исследования рассматривают инициативы МО в решении OPP и SLAP и извлекают выгоду из объема и разнообразия данных, доступных в системах управления складом, для распознавания шаблонов, способных генерировать прогнозы, которые позволяют разрабатывать операционные правила для сокращения времени обработки заказов [6].

Поскольку объем и сложность данных, генерируемых в цепочках поставок, продолжают расти, использование возможностей МО стало необходимым для эффективного управления современными складскими операциями для оптимизации процессов выполнения заказов и обеспечения своевременных и точных поставок клиентам. Для классификации проблем

проектирования склада и планирования операций ОРР можно организовать в три категории [7]:

1. Разделение установленных заказов на партии. Каждая партия разделена и накоплена для упаковки и отправки в течение определенного временного окна или волны подбора.
2. Маршрутизация и упорядочивание. Определяют наилучшую последовательность и маршрут для сбора товаров в заданном порядке.
3. Сортировка. Устанавливает систему обработки материалов для классификации товаров в соответствии с их назначением.

SLAP также классифицируется на три категории:

1. Назначение SKU-отдела. Определяет динамику складирования продукции между отделами, количество и тип соответствующих межотделовых перемещений.
2. Зонирование. Определяет различные зоны хранения в отделе и назначает продукты указанным зонам.
3. Назначение места хранения. Заключается в назначении входящих продуктов местам хранения в отделах/зонах хранения для снижения затрат на обработку материалов и улучшения использования пространства.

По размерности выделяют следующие категории:

- одномерный склад — это карусельная система хранения только с одним вертикальным уровнем или циклическим конвейером;
- двухмерное хранилище — это автоматизированная однопроходная, многоуровневая автоматизированная система хранения и поиска;
- трехмерный склад — это складская система, которая имеет много проходов с несколькими вертикальными уровнями и множеством горизонтальных колонн.

Для проектирования системы отбора заказов с использованием различных методов и механизмов управления на основе систем с фиксированным путем и складских конвейеров может использоваться вспомогательная нейросетевая структура [8]. После обучения она может

выбирать подходящую систему отбора для заданной структуры заказа и параметров проектирования для реализации наилучших систем отбора. Системы МО позволяют сопрягать приводы для сбора данных об идентификации упаковок и их группировки с использованием обработки изображений в автоматизированных системах подбора. Показания RFID можно применять для идентификации перемещений продукции на складах, используя отображенные пути в качестве обучающих данных для модели классификации, способной указывать кратчайшие маршруты [9].

Для определения сходства конкретных характеристик продукции может использоваться метод кластеризации, для оптимизации операций — система планирования подбора заказов из структурированных данных на основе серии отчетов о перемещениях, выполненных на складе. Оптимизация автоматизированного процесса подбора и определения размеров партий может проводиться на основе исторических характеристик спроса и структуры склада [10]. Обучающие интеллектуальные модели помогают при определении наилучших последовательностей действий с учетом автоматизированной системы подбора транспортных средств. Также интеллектуальные модели помогают повысить точность прогнозирования спроса на заказы с использованием платформы истории заказов на складе высокого уровня.

При применении зонирования на складе требуются дополнительные усилия для разделения партии и консолидации товаров по заказу клиента или пунктам назначения, т. е. накопление/сортировка [11]. Модели МО позволяют прогнозировать идеальные размеры зон хранения продукции на основе данных о распределении спроса и эксплуатационных политик для ручных складов, учитывая характеристики планировки — ширину поперечного прохода и длину прохода.

Неконтролируемые алгоритмы могут улучшить планирование списков выбора заказов, используя их для демонстрации подхода к кластеризации заказов со схожими характеристиками. В наборе решений, разработанных для

Alibaba, решения о маршрутах сбора заказов, обученных на моделях нейронных сетей, основаны на данных, связанных с характеристиками склада и изменением спроса [12]. Гибридные модели МО могут использоваться для улучшения обработки на складе во время автоматизированного процесса сбора.

Решения на основе МО подходят не только для крупного бизнеса, но и для компаний среднего размера с ручной системой складирования на основе системы RFID для сбора данных с использованием кластеризации для определения наилучшей позиции продукта. Алгоритм назначения места хранения может минимизировать ручные усилия при операциях по хранению, оптимизируя общее расстояние, пройденное как при размещении, так и при сборе.

Перспективным представляется многоцелевой подход к группировке входящих заказов для пакетной обработки в распределительных центрах [13]. При этом регулировка максимального размера каждой группировки заказов происходит на распределительных складах, которые функционируют как сторонние поставщики логистических услуг для крупных платформ онлайн-продаж. Внедрение системы отслеживания данных возможно путем обучения классификаторов, которые могут предсказать стратегию распределения хранилища и политику сбора из обучающей таблицы, атрибуты которой являются контрольными метриками, применимыми к любой системе хранения. Измерения компоновки системы хранения применяются для определения наилучшей последовательности выбора для автоматического сборщика заказов, определяемого как агент, обученный выбирать кратчайшие расстояния между продуктами.

Таким образом, в контексте индустрии 4.0 для улучшения эксплуатационных показателей склада необходимо внедрение методов и моделей МО. В основном исследования и практики сосредоточены на складском хранении и процессах приема заказов, однако некоторые модели охватывают также другие процессы, такие как отправка товаров. В будущем в

практику управления складом могут быть внедрены обеспечивающие технологии, такие как автоматизированные управляемые транспортные средства, автономные мобильные роботы, носимые устройства, облачные/периферийные/туманные вычисления, аналитика больших данных, цифровые близнецы на основе МО, горизонтальная и вертикальная интеграция.

Список литературы:

1. de Assis R.F., de Santa-Eulalia L.A., Armellini F., Anholon R., Rampasso I.S., Guerrini F.M., Godinho F.M., Ferreira W.d.P. A system dynamics approach to unlock the complexity of the S&OP in virtual enterprises. *Enterprise Information Systems*, 2023, vol. 17, no. 12: 2203430.
2. Zhen L., Li H. A literature review of smart warehouse operations management. *Frontiers of Engineering Management*, 2022, vol. 9, pp. 31-55. DOI: 10.1007/s42524-021-0178-9
3. de Assis R.F., de Santa-Eulalia L.A., Ferreira W.d.P., Armellini F., Anholon R., Rampasso I.S., Santos J.G.C.L. Translating value stream maps into system dynamics models: a practical framework. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2021, vol. 114, pp. 3537-3550. DOI: 10.1007/s00170-021-07053-y
4. Kabak O., Gulec N. Data Driven Approach to Order Picking Time Prediction Using Fuzzy Clustering and ANN. *Intelligent and Fuzzy Techniques for Emerging Conditions and Digital Transformation, Proceedings of the INFU*, 2021, vol. 1, pp. 18-26. DOI: 10.1007/978-3-030-85626-7_3
5. Mohammed M., Aravindhar D. Nlp-oriented voice-based order picking system in a warehouse management: A systematic review. *Smart Data Intelligence: Proceedings of ICSMDI*, 2022, pp. 185-198.

6. Ghaouta A., Riad M., Okar C. Machine learning for warehouse management: A conceptual framework. *2021 Third International Conference on Transportation and Smart Technologies (TST)*, 2021, pp. 30-35. DOI: 10.1109/TST52996.2021.00012
7. de Assis R.F., Faria A.F., Thomasset-Laperrière V., de Santa-Eulalia L.A., Ouhimmou M., Ferreira W.P. Machine Learning in Warehouse Management: A Survey. *Procedia Computer Science*, 2024, vol. 232, pp. 2790-2799. DOI: 10.1016/j.procs.2024.02.096
8. Gaast J.P., Weidinger F. A deep learning approach for the selection of an order picking system. *European Journal of Operational Research*, 2022, vol. 302, pp. 530-543. DOI: 10.1016/j.ejor.2022.01.006
9. Zadgaonkar H., Chandak M. Locating objects in warehouses using ble beacons machine learning. *IEEE*, 2021, vol. 9, pp. 153116-153125.
10. Atchade-Adelomou P., Alonso-Linaje G., Albo-Canals J., Casado-Fauli D. qrobot: A quantum computing approach in mobile robot order picking and batching problem solver optimization. *Algorithms*, 2021, vol. 14, no. 7. DOI: 10.3390/a14070194
11. Lorenc A., Kuznar M., Lerher T. Solving product allocation problem (PAP) by using ANN and clustering. *FME Transactions*, 2021, vol. 49, no. 1, pp. 206-213. DOI: 10.5937/fme2101206L
12. Hu H., Zhang Y., Wei J., Zhan Y., Zhang X., Huang S., Ma G., Deng Y., Jiang S. Alibaba Vehicle Routing Algorithms Enable Rapid Pick and Delivery. *Interfaces*, 2022, vol. 52, no. 1, pp. 27-41. DOI: 10.1287/inte.2021.1108
13. Leung K.H., Lee C.K.M., Choy K.L. An integrated online pick-to-sort order batching approach for managing frequent arrivals of b2b e-commerce orders under both fixed and variable time-window batching. *Advanced Engineering Informatics*, 2020, vol. 45: 101125. DOI: 10.1016/j.aei.2020.101125