

7. Искандеров Ю.М., Ласкин М.Б., Чумак А.С., Хасанов Д.С. Особенности моделирования управления информационными ресурсами транспортных систем // Сборник научных трудов XXIV Международной научной и учебно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. В 3 ч. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – С. 250–257.

8. Свистунова А.С., Хасанов Д.С. Возможности автоматических транспортеров-погрузчиков и их использование при создании имитационной модели развития контейнерного терминала // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 4-1(50). – С. 169–174. – DOI: 10.37220/MIT.2020.50.4.023.

9. Concept and models of information application for actions in systems / A. Geyda, L. Fedorchenko, I. Lysenko [et al.] // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. – 2022. – No 31. – Pp. 407–415.

10. Svistunova A.S., Khasanov D.S. Improving the efficiency of traffic management in a metropolis based on computer simulation // Computing, Telecommunications and Control. – 2021. – Vol. 14. – No 3. – Pp. 33–42. – DOI 10.18721/JCSTCS.14303.

11. Хасанов Д.С., Свистунова А.С. Технология сбора данных в логистике // Сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении», Санкт-Петербург, 13–14 октября 2021 года. в 3 ч. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – С. 275–279. – DOI 10.18720/SPBPU/2/id21-377.

УДК 004.942, 519.876.5

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-63

*Теплов Антон Владимирович,*  
системный аналитик ИТ

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА НА СКЛАДАХ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМИ КОНВЕЙЕРНЫМИ РЕШЕНИЯМИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Россия, Самара, Логистическая компания, anton.teplov163@yandex.ru

**Аннотация.** Организация функционирования современного автоматизированного склада должна учитывать любые изменения логистической системы и гибко реагировать на колебания спроса. Рассмотренная структура декомпозиции процесса управления позволяет провести оценку и рационализировать каждый этап для достижения оптимальных результатов предоставляемой услуги. Сформулированные решения будут применены при проектировании автоматизированного склада готовой продукции, где им будет дана оценка эффективности.

**Ключевые слова:** автоматизированные склады, системный подход, оптимизация логистического процесса, планирование, складское хранение.

*Anton V. Teplov,*  
System analyst of IT

## **APPLYING A SYSTEM APPROACH IN WAREHOUSES WITH AUTOMATED CONVEYOR SOLUTIONS TO ENHANCE THE PRODUCTIVITY OF LOGISTICS PROCESS**

Logistics company, Samara, Russia, anton.teplov163@yandex.ru

**Abstract.** The organization of the operation of a modern automated warehouse must take into account any changes in the logistics system and respond flexibly to fluctuations in demand. The discussed structure of decomposing the management process allows for an assessment and rationalization of each stage to achieve optimal results in the provided service. The formulated solutions will be applied in the design of an automated warehouse for finished products, where their efficiency will be assessed.

**Keywords:** automated warehouses, system approach, optimization of the logistics process, planning, warehousing.

С развитием современных технологий в складской логистике, особое внимание уделяется использованию автоматизированных конвейерных линий для комплектации заказов и систем управления складом. Эти системы преобразуют структуру организационного управления, предоставляя уникальные возможности для оптимизации запасов и существенного увеличения скорости комплектации заказов.

Складская логистика — это сфера, где динамичность и неопределённость могут стать настоящими испытаниями. Рынок постоянно трансформируется, клиентские требования изменяются, а экономические и экологические факторы вносят свой вклад. В такой среде, учёт динамичности и неопределённости становится критически важным аспектом.

При проектировании автоматизированных решений на складе необходимо учитывать логическую структуру склада и его интеграцию с другими частями цепи поставок. Стратификация логистического процесса позволяет выявить, как изменения в комплектации заказов могут повлиять на другие бизнес-процессы, такие как управление запасами, упаковка и доставка.

Важной задачей является применение механизмов анализа структуры и взаимосвязи между компонентами системы комплектации на складе [5]. Это включает в себя декомпозицию процессов и оценку производительности каждого этапа, определение узких мест, а также оптимизацию последовательности операций. На основе этого анализа можно разрабатывать стратегии для увеличения эффективности использования конвейерных систем.

Искусственный интеллект и алгоритмы машинного обучения могут прогнозировать, какие товары будут заказываться чаще всего, и оптимизировать размещение товаров на складе и порядок их выбора. Это уменьшает время, необходимое для комплектации заказов, и повышает точность отбора товаров.

Методики реструктуризации и структуризации в складской логистике позволяют решать задачи совершенствования управления, включить аспекты динамичности и неопределённости в процесс организации складскими операциями. Стратифицированное представление организационной структуры логистического процесса можно представить следующим образом:

**Прогнозирование спроса:** Модели машинного обучения и методики анализа данных могут использоваться для прогнозирования будущего спроса на товары. Это позволяет складам подготовить запасы заранее и эффективно управлять инвентаризацией даже в условиях переменчивого спроса.

Современные организации сталкиваются с огромным объёмом данных, и их правильное использование может предоставить ценные инсайты для принятия решений [2]. Искусственный интеллект позволяет структурировать данные, выявлять закономерности и тенденции, а также строить прогнозы. Это способствует более точному и оперативному принятию решений в процессе проектирования и управления системами.

Оптимизация начинается со сбора и обработки разнообразных данных. Это включает исторические показатели о продажах, заказах и складских запасах, а также внешние факторы, такие как сезонность и маркетинговые акции. Интеграция всей этой информации формирует основу для более глубокого анализа.

Далее, используются разнообразные методы изучения исходных данных [3]. Сюда входят статистические методы и алгоритмы машинного обучения, которые позволяют выявлять закономерности в структуре данных. Это помогает создать модели, способные прогнозировать будущий спрос на товары, учитывая разнообразные факторы, включая изменения в потребительском поведении и внешние события после предварительного обучения на исторических данных. Например, с помощью моделей машинного обучения, в основе которых лежат процедуры использующие алгоритм градиентного бустинга [4, 8, 10, 12, 13]:

– CatBoost (программная библиотека, разработанная компанией Яндекс и реализующая уникальный патентованный алгоритм построения моделей машинного обучения, использующий одну из оригинальных схем градиентного бустинга);

– LightGBM (представляет собой распределенную среду повышения градиента с открытым исходным кодом для машинного обучения, первоначально разработанную Microsoft. Он основан на алгоритмах дерева решений и используется для ранжирования, классификации и других задач машинного обучения);

– XGBoost (библиотека кодом, используемая в машинном обучении и предоставляющая функциональность для решения задач, связанных с регуляризацией градиентного бустинга).

Или моделями глубокого обучения:

– Многослойный перцептрон (англ. Multilayered perceptron, MLP — нейронная сеть прямого распространения сигнала (без обратных связей), в которой входной сигнал преобразуется в выходной, проходя последовательно через несколько слоёв);

– Долгая краткосрочная память (англ. Long short-term memory, LSTM — разновидность архитектуры рекуррентных нейронных сетей. Как и большинство рекуррентных нейронных сетей, LSTM-сеть является универсальной в том смысле, что при достаточном числе элементов сети она может выполнить любое вычисление, на которое способен обычный компьютер, для чего необходима соответствующая матрица весов, которая может рассматриваться как программа).

Прогнозы спроса, полученные с помощью возможностей инструментов прогнозирования, становятся основой для оптимизации управления запасами на складе. Эти прогнозы используют для определения необходимых уровней запасов и автоматического заказа товаров при необходимости. Это позволяет минимизировать риски, связанные с недостатком товаров или избыточными запасами. Ниже представлены модели, которые могут быть выбраны для прогнозирования временных рядов и сравнения их между собой [6, 9, 14, 15]. Модели авторегрессии скользящего среднего:

– ARIMA (интегрированная модель авторегрессии — скользящего среднего — модель и методология анализа временных рядов);

– SARIMA (модель сезонного авторегрессионного скользящего среднего с семью структурными параметрами);

– ARIMAX (математическая модель для анализа временных рядов, объединяющая в себе интегрированную авторегрессию, скользящее среднее и возможность учёта дополнительных внешних факторов);

– SARIMAX (общий метод прогнозирования временных рядов, который можно разделить на трендовую и периодическую части; каждую часть можно разделить на авторегрессионную, дифференциальную и гладкую части).

Прогнозы также влияют на управление поставками. Зная, какие товары будут востребованы в будущем, склады могут качественнее планировать заказы у поставщиков и оптимизировать поставки. Это позволяет снизить задержки и обеспечить непрерывное обслуживание клиентов.

Анализ эффективности прогнозов является неотъемлемой частью оптимизации управления. Путём сравнения фактических данных с прогнозами можно выявить области, где прогнозы могут быть улучшены и оптимизированы. Это обратная связь позволяет постоянно совершенствоваться и уточнять прогнозы, делая их более точными и надёжными.

**Адаптивная стратегия комплектации заказов:** При динамичности и неопределённости в спросе стратегия комплектации заказов может меняться. Например, при резком увеличении заказов на определённый товар, системы могут автоматически перераспределять ресурсы для его комплектации, что позволяет эффективно справляться с повышенным спросом.

Для решения проблемы адаптивной стратегии комплектации заказов на складах с автоматизированными конвейерными линиями, методики структуризации могут предложить комплексный подход, охватывающий несколько важных этапов:

1) Анализ текущих процессов комплектации заказов является отправной точкой. Исследование этапов процесса позволяет выявить, где именно возникают потребности в адаптации в зависимости от изменяющихся условий и требований заказов, переменчивости спроса, сезонные колебания и появление новых продуктов, можно более точно определить, где требуется быстрая адаптация стратегии комплектации.

2) Внедрение технологических решений, таких как системы управления складом (WMS) с возможностями машинного обучения, предоставляет возможность автоматизированного мониторинга изменений в заказах и принятия оперативных решений по адаптации стратегии. Особенно важным шагом является разработка алгоритмов адаптации и методов оптимизации эргономики склада [1]. Алгоритмы должны быть спроектированы для анализа данных о заказах в реальном времени и предлагать оптимальные стратегии комплектации, которые сильно зависят от распределения зон хранения. Рассмотрим наиболее частые методы и стратегии, учитывающие характеристики товаров [11], их частоту обращения и другие факторы:

– АВС-анализ (метод основывается на классификации товаров по степени их важности. Товары делятся на три группы: А (высокая важность), В (средняя важность) и С (низкая важность). Затем для каждой группы выделяются соответствующие зоны хранения. Товары из группы А обычно располагают ближе к зоне отгрузки для быстрого доступа);

– XYZ-анализ (метод классификации также основывается на степени важности, но учитывает прогнозируемую степень изменчивости спроса. Товары делятся на три группы: X (высокая изменчивость), Y (средняя изменчивость) и Z (низкая изменчивость). Каждая группа может иметь свою зону хранения в зависимости от необходимости частого доступа);

– Матрица скорости оборачиваемости и кубикации (метод учитывает как частоту обращения товаров, так и объем, который они занимают. Товары делятся на категории в зависимости от того, насколько часто они обращаются (высокая, средняя, низкая) и насколько объёмны (крупные, средние, мелкие) они являются. Зоны хранения назначаются на пересечении этих категорий);

– Метод Графового анализа (в этом методе используется граф, где вершины представляют товары, а ребра — связи между товарами, основанные на их частоте совместного использования. Применяя методы кластерного анализа, выделяются группы товаров, которые часто используются вместе. Эти группы могут быть размещены ближе друг к другу на складе);

– Принципы зонирования (склад разделяется на различные зоны в соответствии с функциональными характеристиками, такими как зона приёмки, зона отгрузки, зона кросс-докинга и другие. Затем товары распределяются в соответствии с их потребностью в этих зонах).

**Сценарное моделирование:** С помощью методик анализа можно создавать сценарии для различных возможных будущих событий. Это помогает складам планировать действия в условиях неопределённости и быстро реагировать на различные сценарии.

Сценарное моделирование предоставляет отличный инструмент для сравнения различных методов оптимизации и выбора наиболее эффективного варианта [7]. В контексте оптимизации зон хранения на складе с автоматизированными конвейерными линиями, сценарное моделирование может быть выполнено следующим образом:

На первом этапе определяются ключевые параметры, включая частоту обращения товаров, последовательность движения тары по автоматизированным линиям, степень изменчивости спроса, объёмы товаров и пространственные характеристики склада.

На втором этапе, создаются математические модели для каждого метода оптимизации, отражающие взаимосвязь между параметрами автоматизированных линий и организацией зон хранения. ABC-анализ, например, может быть представлен математической функцией, учитывающей и важность, и частоту обращения товаров.

Третий этап включает в себя разработку сценариев, в которых мы варьируем значения ключевых параметров. Это позволяет увидеть, как

каждый метод ведёт себя в различных условиях, от изменений в структуре спроса до вариаций в логистических потоках на складе.

Следующий шаг — внесение реальных данных в модели для создания более точных симуляций. Затем запускается сценарное моделирование, анализируются результаты по эффективности зон хранения, скорости обработки заказов и другим ключевым показателям производительности. Сравнение результатов различных сценариев и методов помогает выделить оптимальные варианты. Решения принимаются на основе этого анализа. Можно, использовать комбинированный подход или проведение дополнительных итерации моделирования для более точных данных.

Другими немаловажными аспектами которые оказывают влияние на учёт динамичности и неопределённости к которым могут быть применены методики и средства оптимизации являются:

**Адаптивное управление запасами:** Системы управления запасами могут быть настроены на автоматическую реакцию на изменения спроса и поставок. Это означает, что при неопределённых условиях система может быстро пересчитать оптимальные запасы и стратегии комплектации заказов.

**Управление изменяющимися поставками:** Динамичность в поставках может создавать сложности в планировании. Системный подход позволяет адаптировать стратегии при появлении новых поставщиков или изменении условий существующих контрактов.

**Мониторинг и учёт данных в реальном времени:** Современные технологии позволяют складам получать и обрабатывать данные в режиме реального времени. Это значит, что они могут мгновенно реагировать на изменения внешних условий и реорганизовывать операции, чтобы справляться с динамичным окружением.

Таким образом, комплексный подход, основанный на широком комплексе методов системного анализа в связке с современными технологиями автоматизации, играет важную роль в развитии складской логистики. Этот подход позволяет лучше понимать и оптимизировать сложные логистические системы, что в конечном итоге способствует улучшению качества обслуживания клиентов и снижению операционных издержек.

В настоящее время проводятся опытные работы, которые позволят на практике оценить эффективность и развить описанные выше подходы и инструментальные средства.

#### **Список литературы**

1. Дыбская В.В. Логистика складирования: учебник. – М.; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 794 с.
2. Льюноградский Л.А. Системная матрица. – Самара: «Издательство СНЦ РАН», 2013. – 22 с.

3. Мокшин В.В., Якимов И.М., Юльметьев Р.М., Мокшин А.В. Рекурсивно-регрессионная самоорганизация моделей анализа и контроля сложных систем // *Нелинейный мир*. – 2009. – Т. 7, № 1. – С. 66–76.

4. Саиян С.А., Лезина И.В. Использование нейронных сетей на основе многослойного персептрона для прогнозирования статистических данных на примере погоды [Электронный ресурс] // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. – 2013. – Т. 1, № 9. – С. 381–382. – EDN TAPWKN. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-neyronnyh-setey-na-osnove-mnogosloynogo-perseptrona-dlya-prognozirovaniya-statisticheskikh-dannyh-na-primere-pogody> (дата обращения: 27.09.2023).

5. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем и системный анализ: учебник для вузов. – 3-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2024. – 562 с. – ISBN 978-5-534-14945-6.

6. Трегуб А.В., Трегуб И.В. Методика построения модели ARIMA для прогнозирования динамики временных рядов // *Вестник Московского государственного университета леса. – Лесной вестник*. – 2011. – № 5. – С. 179–183. – EDN OGJYID. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-postroeniya-modeli-arima-dlya-prognozirovaniya-dinamiki-vremennyh-ryadov> (дата обращения: 07.10.2023).

7. Ханова А.А, Бондарева И.О. Сценарный подход к анализу качества логистического обслуживания предприятия с использованием имитационной модели // *Научно-технические ведомости СПбГПУ*. – 2010. – № 5. – С. 122–130.

8. Di-ni Wang, Lang Li, Da Zhao. Corporate finance risk prediction based on LightGBM // *Information Sciences*. – 2022. – Vol. 602. – Pp. 259–268. – ISSN 0020-0255. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2022.04.058>.

9. Chotani Asmita. Forecasting of billet price using ARIMAX model // *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. – 2020. – Vol. 07, Issue 09 (Sep 2020), pp 1645-1650. <https://www.irjet.net/archives/V7/i9/IRJET-V7I9284.pdf>.

10. Gumus M., Kiran M.S. Crude oil price forecasting using XGBoost // 2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), Antalya, Turkey. – 2017. – Pp. 1100–1103. – DOI: 10.1109/UBMK.2017.8093500.

11. Burganova N., Grznar P., Gregor M., Mozol Š. Optimisation of internal logistics transport time through warehouse management: case study // 14th International scientific conference on sustainable, modern and safe transport. *Transportation Research Procedia*. – 2021. – Vol. 55. – Pp. 553–560. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.021>.

12. Gao Ya, Wang R., Zhou E. Stock prediction based on optimized LSTM and GRU models // *Scientific Programming*, Vol. 2021. – London, UK: Hindawi, 2021. – Article ID 4055281, 8 pages. – DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/4055281>.

13. Ding Jingyi, Chen Ziqing, Xiaolong Li, Lai Baoxin. Sales forecasting based on CatBoost // Conference: 2020 2nd International Conference on Information Technology and Computer Application (ITCA), 18–20 December 2020, Guangzhou, China. – 2020. – Pp. 636–639. – DOI: 10.1109/ITCA52113.2020.00138.

14. Vaswani A., Prasad P.Ch., Padhi P.K. Time series analysis: an application of SARIMA model in general trade to forecast sales [Electronic Source] // *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*. – 2023. – Vol. 25, Issue 03, March 2023. – Pp. 55–68. – ISSN:1007-6735. – URL: <https://jusst.org/time-series-analysis-an-application-of-sarima-model-in-general-trade-to-forecast-sales/> (date of access: 21.09.2023).

15. Vimal M.R., Naseem Sh.M.B. Time series analysis: forecasting with SARIMAX model and stationarity concept // 2020 JETIR, December 2020. – Vol. 7, Issue 12. – Pp. 156–161.