

*Научная статья*

УДК 658.511.3

DOI: <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.4.3>

## АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗМЕЩЕНИЯ ГРУЗОВ НА СКЛАДЕ В КОМПАНИЯХ 3PL-ЛОГИСТИКИ

Олег Карванен\*, Алексей Гинцяк

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,  
[olegkarvanen@yandex.ru](mailto:olegkarvanen@yandex.ru), [gintsyak\\_am@spbstu.ru](mailto:gintsyak_am@spbstu.ru)

\*Автор, ответственный за переписку: [olegkarvanen@yandex.ru](mailto:olegkarvanen@yandex.ru)

### Аннотация

В работе исследуются показатели эффективности размещения грузов на складе в компаниях 3PL-логистики. Представлена система показателей эффективности размещения грузов на складе, разделенных на группы: показатель эффективности заполнения ячеек склада, показатель заполненности склада и показатель актуальности конфигурации склада. Показатель актуальности конфигурации склада имеет особую ценность для компаний 3PL-логистики, поскольку позволяет оценивать соответствие текущих размеров ячеек с учетом изменяющегося состава грузов и принимать стратегические решения о необходимости изменения конфигурации склада. Представлена логическая схема принятия решений о проведении мероприятий по оптимизации размещения грузов на складе в зависимости от величины показателей. Результаты работы могут быть использованы для построения комплексной системы управления эффективностью размещения грузов на складе в компаниях 3PL-логистики.

**Ключевые слова:** 3PL-логистика, конфигурация склада, эффективность размещения.

**Цитирование:** Карванен, О., Гинцяк, А., 2025. Алгоритм принятия решения об оптимизации размещения грузов на складе в компаниях 3PL-логистики. Sustainable Development and Engineering Economics 4, 3. <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.4.3>

Эта работа распространяется под лицензией [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

© Карванен О., Гинцяк А., 2025. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

*Research Article*

DOI: <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.4.3>

## DECISION-MAKING ALGORITHM FOR OPTIMIZING CARGO STORAGE IN 3PL LOGISTICS COMPANIES

Oleg Karvanen\*<sup></sup>, Aleksei Gintciak<sup></sup>

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia, olegkarvanen@yandex.ru, gintsyak\_am@spbstu.ru

\*Corresponding author: olegkarvanen@yandex.ru

### Abstract

The paper examines the efficiency indicators of cargo storage in 3PL logistics companies. A system of indicators of the efficiency of cargo placement in a warehouse is presented, divided into groups: an indicator of the efficiency of filling warehouse cells, an indicator of warehouse occupancy and an indicator of the relevance of the warehouse configuration. The indicator of the relevance of the warehouse configuration is of particular value for 3PL logistics companies, as it allows them to assess the compliance of current cell sizes taking into account the changing cargo composition and make strategic decisions about the need to change the warehouse configuration. A logical scheme of making decisions on measures to optimize the placement of goods in a warehouse, depending on the magnitude of the indicators, is presented. The results of the work can be used to build a comprehensive management system for the efficiency of cargo storage in 3PL logistics companies.

**Keywords:** 3PL, warehouse configuration, location efficiency.

**Citation:** Karvanen, O., Gintciak, A., 2025. Decision-making algorithm for optimizing cargo storage in 3PL companies. *Sustainable Development and Engineering Economics* 4, 3. <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.4.3>

This work is licensed under a [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

© Karvanen O., Gintciak, A., 2025. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

## 1. Введение

Управление эффективностью размещения грузов на складе является условием конкурентоспособности оператора третьей стороны (3PL-оператора), поскольку позволяет корректно оценивать потенциал хранения грузов на складе, возможность принять грузы в определенных объемах, планировать операции по увеличению эффективности размещения грузов. Хранение является одной из наиболее весомых операций 3PL-оператора.

Компании 3PL-логистики сталкиваются со специфическими сложностями при управлении эффективностью размещения грузов на складе, вызванными непостоянством состава клиентов, различием грузов по весогабаритным характеристикам, условиям хранения. К таким сложностям относятся нестабильность структуры грузов и объемов их хранения.

Для управления эффективностью размещения грузов на складе 3PL-оператор использует показатели оценки эффективности размещения. Показатели эффективности размещения взаимосвязаны, и принимаемые решения по оптимизации размещения зависят от значений сразу нескольких показателей. Значение одного показателя может быть критическим само по себе, но конечное решение по оптимизации размещения будет зависеть от значений и других показателей.

Показатели эффективности размещения должны рассматриваться в системе. Система показателей эффективности размещения грузов на складе позволяет принимать грамотные решения по оптимизации размещения, учитывая значения всех показателей.

Поскольку решения по оптимизации размещения грузов несут весомые издержки и могут требовать привлечения в работу персонала высокого уровня компетенций, 3PL-оператору важно правильно оценивать целесообразность проведения того или иного мероприятия. Именно рассмотрение показателей эффективности размещения грузов в системе позволяет объективнее оценивать текущую ситуацию и выбирать грамотные решения.

Цель работы – представить схему показателей эффективности размещения грузов на складе и алгоритм принятия решений об оптимизации размещения грузов, учитывающий особенности 3PL-логистики (непостоянство структуры грузов, объемов хранения). Новизна работы обоснована введением показателя актуальности конфигурации склада и рассмотрением показателей эффективности размещения грузов в системе, позволяющей оценивать целесообразность тех или иных мероприятий по оптимизации размещения грузов на складе.

## 2. Материалы и методы

В ходе исследования был рассмотрен опыт в оптимизации размещения грузов на складе 3PL-оператора ООО «Ди-Эл-Джи Карго» с подкреплением типового характера этих проблем анализом общедоступных источников, в том числе научной литературы. Особенное внимание было уделено вопросу актуальности конфигурации склада, наиболее специфичному для компаний 3PL-логистики.

ООО «Ди-Эл-Джи Карго» является компанией регионального масштаба, имеет четыре помещения, совокупно около 30000 м<sup>2</sup> складских площадей. На складах компании хранятся разные грузы: бытовая техника, одежда, пищевая и химическая продукция, телекоммуникационное оборудование. Клиенты компании – представители малого, среднего и крупного бизнеса.

### 3. Обзор литературы

В научных работах в вопросах эффективности размещения грузов заслуженное внимание уделяется функционалу систем управления складом (WMS-систем). WMS-системы позволяют добиваться высокой эффективности выполнения различных складских операций, в том числе хранения, поскольку способны подбирать оптимальные ячейки для грузов при заданных правилах хранения (Al Bashar, 2024; Andrejić & Pajić, 2024; Alamsah et al., 2024; Ailyn & Lapine, 2024).

Авторы отмечают преимущества использования методики ABC-анализа при планировании размещения грузов (Yan, 2024; Lehmusto, 2024; Seanbudda et al., 2025), а также предлагают альтернативные алгоритмы, включая генетические (Qin et al., 2013; Kmieciak, 2025). В (Qin et al., 2013) предложен способ определения зонирования склада за счет генетических алгоритмов. Стоит отметить, что применение данных алгоритмов и методик зачастую рассматривается в контексте их внедрения в функционал WMS-систем. Более того, ошутима тенденция применения машинного обучения при разработке WMS-систем: продвинутая аналитическая составляющая может послужить двигателем технологического прогресса WMS-систем (De Assis, 2024; Hajdu, 2024; Jararweh et al., 2025; Kocaoglu, 2024). В (Li et al., 2024) описывается методика построения интеллектуального складирования с применением глубокого машинного обучения.

Помимо WMS-систем, в научных работах уделяется внимание грамотной планировке склада для оптимизации размещения грузов и, как следствие, увеличения производительности других операций (Mohamud et al., 2023; Nord Nilsson & Eriksson, 2023). Авторы предлагают использование давно и успешно применяемых инструментов бережливого производства, таких как, например, 5S, карта потока создания ценности, «5 почему» (Hanggara, 2024; Osman et al., 2025; Ilmi et al., 2024; Harendsa & Pulansari, 2025; Fares et al., 2025; Benmimoun et al., 2024).

В (Shadchenko et al., 2020; Sirotkin, 2020) упомянуты конкретные операции по оптимизации размещения имеющихся грузов на складе: «компрессия» остатков товаров в ячейках штучного отбора и перемещение их в ячейки, более подходящие по размеру.

Стоит отметить, что в вопросах эффективности размещения грузов на складе в научных работах уделяется внимание инструментам и методам преимущественно на этапах планирования размещения грузов. При этом редко рассматриваются работы по оптимизации размещения уже имеющихся грузов, а также по изменению конфигурации склада (включая изменение размеров ячеек). При этом проблема непостоянства структуры грузов и объемов их хранения присуща компаниям 3PL-логистики и требует систематического мониторинга показателей для принятия взвешенных решений по проведению определенных операций по оптимизации размещения – уплотнению ячеек, изменению конфигурации склада. Налаженная система управления эффективностью размещения грузов на складе позволяет 3PL-оператору своевременно реагировать на изменения структуры грузов и объемов их хранения, обеспечивая достаточное количество мест хранения для грузов действующих и новых клиентов, а также повышать производительность складских операций.

### 4. Результаты

Для оценки эффективности размещения грузов на складе используется система показателей, разделенных на три основные группы:

*Показатель эффективности заполнения ячеек склада*

Базовым показателем для оценки общей эффективности заполнения ячеек склада используется показатель эффективности заполнения ячеек склада:

$$\text{Эффективность заполнения ячеек склада, \%} = \frac{(\sum \text{Объем груза})}{(\sum \text{Объем занятой ячейки})} * 100\%. \quad (1)$$

Поскольку при размещении груза в ячейку необходим зазор (для подъема груза на вилах погрузочно-разгрузочной техникой), при расчете высоты груза учитывается высота зазора и поддона.

*Показатель заполненности склада по ячейкам*

Показатель заполненности склада по ячейкам позволяет понять, насколько критичен уровень заполненности склада сейчас: когда заполнены практически все ячейки склада, WMS-система подбирает для новых грузов оптимальную ячейку из имеющихся, размеры которых могут быть существенно больше, чем сами грузы. В таком случае показатель эффективности заполнения ячеек склада неизбежно снижается.

$$\text{Заполненность склада по ячейкам, \%} = \frac{(\text{Количество занятых ячеек склада})}{(\text{Количество всех ячеек склада})} * 100\%. \quad (2)$$

Представленные выше формулы (1) и (2) являются типовыми и активно используются в современных WMS-системах. Следующая же формула для вычисления показателя актуальности конфигурации склада является авторской разработкой.

*Показатель актуальности конфигурации склада*

Поскольку на складе 3PL-оператора часто меняется структура грузов, конфигурация может быстро терять актуальность. WMS-система подбирает для грузов оптимальные по размерам ячейки, однако, несмотря на то что выбранная ячейка лучше остальных может подходить для груза, ее размеры могут быть все равно слишком большими для этого груза, что неизбежно снижает показатель эффективности размещения на складе. Показатель актуальности конфигурации склада позволяет оценить, насколько ячейки имеющихся размеров позволяют эффективно размещать грузы, насколько возможно повысить эффективность размещения грузов без изменения конфигурации склада.

Основным инструментом оптимизации размещения грузов без изменения конфигурации склада является уплотнение ячеек, которое происходит за счет перемещения грузов из нескольких ячеек в одну ячейку или перемещения грузов в ячейки более подходящих размеров.

Изменение конфигурации склада включает более трудоемкие процессы, связанные с предварительным анализом подходящих высот ячеек, перевесом балок, изменением в WMS-системе характеристик ячеек (размера, принадлежности к зоне). При изменении конфигурации склада в работу привлекается больше квалифицированных специалистов, расходуется больше трудовых ресурсов.

Показатель актуальности конфигурации склада равен отношению грузов, для которых есть ячейка подходящих весогабаритных характеристик, к общему количеству грузов. Под грузом в данном контексте мы понимаем паллет с товаром, который размещается в ячейку. Ячейка имеет подходящие весогабаритные характеристики для размещения груза при соответствии по ширине и длине, допустимой разнице в высоте (рекомендуется, чтобы высота ячейки не была выше 10 см высоты груза), а также при достаточной грузоподъемности.

Исходя из достаточности количества ячеек для хранения грузов соответствующих размеров формируется показатель актуальности конфигурации склада:

$$\text{Актуальность конфигурации склада, \%} = \frac{\text{(Количество грузов с подходящей ячейкой)}}{\text{(Количество всех грузов)}} * 100\%. \quad (3)$$

При анализе эффективности размещения грузов на складе 3PL-оператору необходимо определить целевые и критические значения показателей эффективности размещения. Решение о проведении конкретных работ по оптимизации размещения грузов должно приниматься на основании значений всех этих показателей.

На рис. 1 представлена схема принятия решений по организации работ по оптимизации размещения с учетом показателей эффективности размещения грузов.

Для показателя эффективности заполнения ячеек склада (1) на основании эмпирического опыта рекомендуется определять целевое значение от 95% и выше. Данное значение взято из практического опыта ООО «Ди-Эл-Джи Карго». При значении показателя (1) ниже целевого 3PL-оператору необходимо проводить работы по оптимизации размещения грузов. Безусловно, значение показателя эффективности заполнения ячеек склада (1) может быть более или менее критическим в зависимости от близости к целевому. От этого будет зависеть приоритетность организации мероприятий по оптимизации размещения грузов.

Допустима следующая градация показателя эффективности заполнения ячеек склада:

ниже 75% – неудовлетворительно;

75–84% – удовлетворительно;

85–94% – хорошо;

95% и выше – отлично.

При критически высоком значении показателя заполненности склада по ячейкам (2) (на практике – от 95% и выше) неизбежно снижается показатель эффективности заполнения ячеек склада (1), поскольку WMS-система подбирает для размещения груза оптимальную ячейку из оставшихся, маловероятно подходящих по характеристикам. Наиболее вероятны и необходимы мероприятия по оптимизации размещения грузов на складе именно после таких критических периодов заполненности склада.

Допустима следующая градация показателя заполненности склада по ячейкам (2) при оценке целесообразности проведения мероприятий по оптимизации размещения:

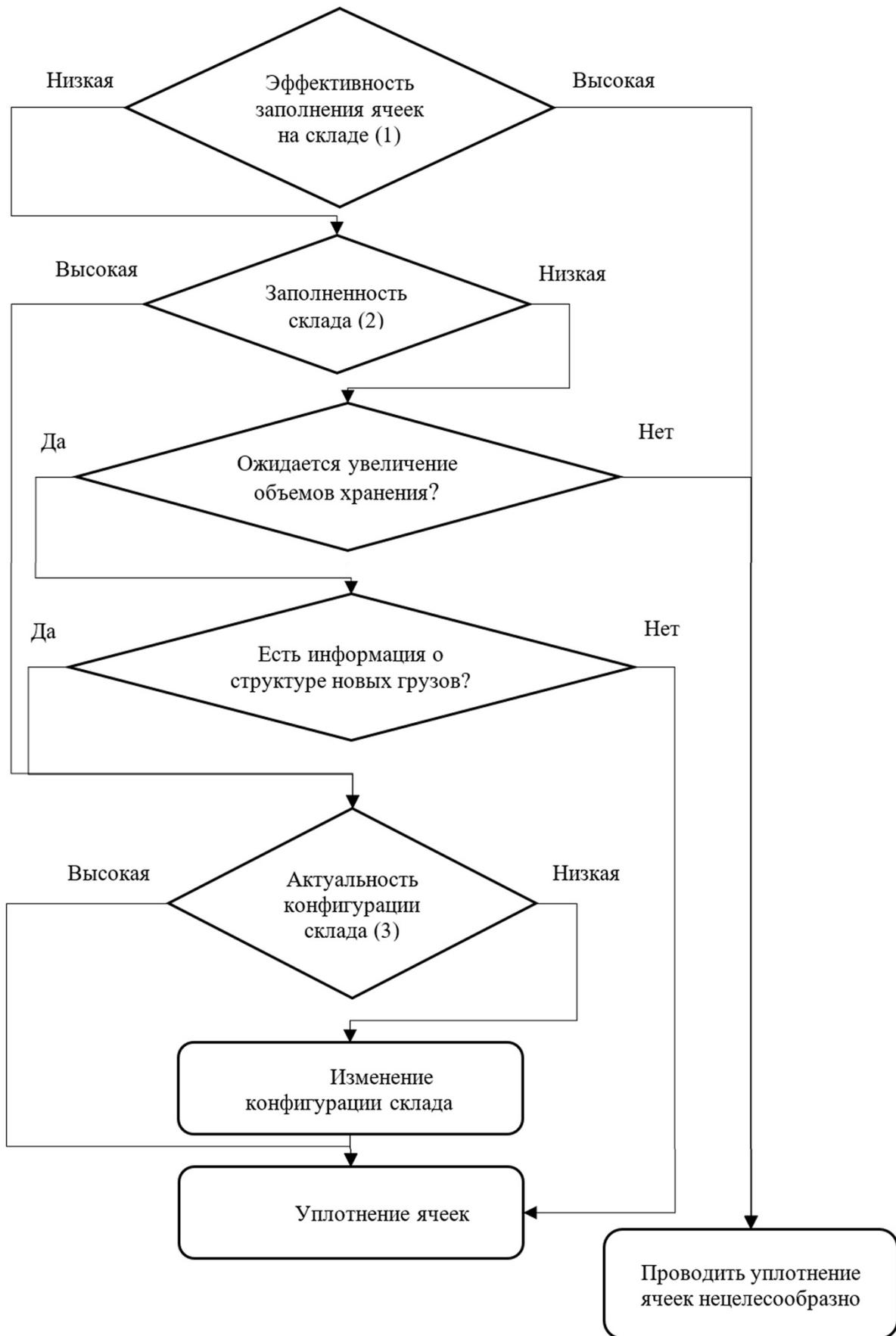
ниже 60% (включая ожидаемое увеличение объемов) – низкая, проведение мероприятий по уплотнению ячеек нецелесообразно;

60% и выше (включая ожидаемое увеличение объемов) – высокая, проведение мероприятий по уплотнению ячеек целесообразно.

Допустима следующая градация показателя актуальности конфигурации склада (3) при оценке необходимости изменения размеров ячеек:

ниже 80% – необходимо изменение конфигурации склада перед проведением уплотнений ячеек.

выше 80% – уплотнение ячеек допустимо без изменения конфигурации склада.



**Рисунок 1.** Логическая схема принятия решений в зависимости от значений показателей эффективности размещения

Все пороговые значения определены на основании эмпирического опыта, связанного с управлением складом 3PL-логистики.

Отдельно стоит отметить необходимость настройки получения обратной связи об ожидаемой динамике объемов хранения груза и структуре новых грузов от соответствующих функций компании. Автоматизация данных операций возможна путем их перевода в смарт-процессы в CRM-системах.

При настройке в WMS-системе автоматического расчета представленных показателей эффективности размещения грузов обеспечивается наглядность результатов применения алгоритма.

Процесс изменения конфигурации склада представляет весьма трудоемкий процесс аналитических вычислений и планирования ресурсов. Уплотнение ячеек представляет собой куда более автоматизированный процесс, регулируемый WMS-системой, при условии предварительной проверки корректности регистрации грузов в WMS-системе.

Представленный алгоритм рекомендуется использовать руководству склада на еженедельной основе. Данная периодичность обусловлена возможностью выбирать для работ по оптимизации размещения грузов на складе периоды низкой интенсивности: зачастую это выходные дни, когда объемы работ по приемке грузов, комплектации и отгрузке заказов минимальны. Такие условия позволяют обеспечить достаточное количество персонала, техники и свободный доступ к ячейкам хранения для их уплотнения и изменения конфигурации. Работы по оптимизации размещения попутно позволяют минимизировать простои ресурсов (в первую очередь – человеческих), вызванные низкой интенсивностью работ в определенные периоды.

Алгоритм находится на стадии внедрения в систему управления эффективностью размещения грузов на складе в ООО «Ди-Эл-Джи Карго». Для более продуктивного использования алгоритма внедрена система предварительных аудитов размещения грузов в WMS-системе: на основании перечня критериев правильного размещения еженедельно проверяется корректность размещения грузов, выявляются и устраняются ошибки, тормозящие производительность складских процессов (например, некорректно заведенные весогабаритные характеристики товара, размещение грузов в запрещенные ячейки вследствие перемещений в обход задания WMS-системы), и таким образом подготавливаются корректные данные для расчета и анализа показателей (1), (2), (3).

Также для ускорения расчета показателей разработан универсальный отчет в WMS-системе, позволяющий оперативно выгружать требуемые данные. Расчет показателя актуальности конфигурации склада производится с помощью инструментария Python.

В ближайших планах проработки алгоритма стоит описание системы управления эффективностью размещения грузов на складе с учетом использования алгоритма и запуск еженедельных работ по оптимизации размещения грузов на складах компании. Управление показателем эффективности заполнения ячеек склада (1) лежит в ответственности руководства складов и является составляющей их мотивации (KPI).

## 5. Обсуждение

Формирование показателей эффективности размещения грузов на складе служит отправной точкой для проведения сложной аналитики и создания системы управления

эффективностью размещения грузов на складе. Для получения и обработки большого объема данных в контексте управления эффективностью размещения грузов на складе 3PL-оператору необходимо применять цифровые инструменты (Gintciak et al., 2023, Lundaeva et al., 2025), к которым относятся системы WMS и ERP, а также вспомогательные BI-инструменты в случае, если функционала WMS и ERP недостаточно (Karvanen & Gintciak, 2025).

Показатель актуальности конфигурации склада (3) наиболее специфичен для компаний 3PL-логистики, позволяет принимать стратегические решения в оптимизации размещения грузов на складе, оценивая текущие условия хранения с учетом показателей эффективности заполнения ячеек склада (1) и заполненности склада по ячейкам (2).

Конечное решение по оптимизации размещения зависит от значений показателей в совокупности.

Представленная логическая схема принятия решений может постоянно дорабатываться с учетом изменяющихся приоритетов 3PL-оператора, имеющихся производственных мощностей, технологического уровня развития клиентов. Также могут возрасти количество и конкретика принимаемых решений по оптимизации размещения, например проведения уплотнений определенных зон, ячеек определенных высот. Детальный расчет экономической эффективности процессов уплотнения ячеек и изменения конфигурации склада позволит точнее оценивать целесообразность проводимых работ по оптимизации размещения грузов на складе.

Формализация и автоматизация процессов изменения конфигурации склада, получения обратной связи о динамике объемов хранения и структуры грузов являются перспективным направлением будущих исследований.

## 6. Заключение

В качестве результата исследования представлены система показателей эффективности размещения грузов на складе для компаний 3PL-логистики и схема принятия решений в зависимости от значения этих показателей. В ходе исследования был рассмотрен опыт в оптимизации размещения грузов на складе 3PL-оператора ООО «Ди-Эл-Джи Карго».

Показатели эффективности размещения грузов на складе следует рассматривать в системе ввиду их тесной взаимосвязи.

Результаты работы могут быть использованы для построения комплексной системы управления эффективностью размещения грузов на складе в компаниях 3PL-логистики

## Список литературы

- Ailyn, D., Lapine, C., 2024. Advanced warehouse management systems and inventory optimization for SMEs.
- Al Bashar, M.A., 2024. Roadmap to Modern Warehouse Management System. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science* Volume 6 (5) 11. <https://doi.org/10.56726/IRJMETTS57356>
- Alamsah, U., Muftiadi, A., Arifianti, R., 2024. Comparative analysis of outsourcing and in house warehouse management system to improve productivity and stock accuracy. *JPII (Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia)* 10 (4) 908–919. <https://doi.org/10.29210/020244964>
- Andrejić, M., Pajić, V., 2024. Managing Warehouse Risks for 3PL Providers: A Novel Approach Based on FMECA-DEA. *Journal of Organizations, Technology and Entrepreneurship* 2 (2) 113–121. <https://doi.org/10.56578/jote020204>
- Benmimoun, R., El Kihel, A., Embarki, S., El Bachir, K., 2024. Combining Lean Tools and 4.0 Technologies: Application in a Logistic Warehouse, in: *International Conference on Digital Technologies and Applications*. Springer, Cham, pp. 485–495. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-68653-5\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-031-68653-5_46)
- De Assis, R.F., Faria, A.F., Thomasset-Laperrière, V., Santa-Eulalia, L.A., Ouhimmou, M., de Paula Ferreira, W., 2024. Machine Learning in Warehouse Management: A Survey. *Procedia Computer Science* 232, 2790–2799. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.096>

- Fares, N., Lloret, J., Kumar, V., Frederico, G.F., Kamach, O., Garza-Reyes, J.A., 2025. Lean implementation case study for manual order picking and packing in warehousing operations. *International Journal of Lean Six Sigma ahead-of-print (ahead-of-print)*. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2024-0097>
- Hajdu, N, 2024. Advancing Organizational Analytics: A Strategic Roadmap for Implementing Machine Learning in Warehouse Management System, Master's Thesis. University of Oulu.
- Hanggara, F.D, 2024. Warehouse analysis using 5s and abc classification method on CV. Karya Jaya. *Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri* 21 (2), 245–253. <https://doi.org/10.24014/sitekin.v21i2.28982>
- Harenda, N.P., Pulansari, F., 2025. Analysis of Finished Product Warehouse Activity Flow Using Lean Warehouse Method. *ITEJ (Information Technology Engineering Journals)* 10 (1), 29–38. <https://doi.org/10.24235/itej.v10i1.202>
- Ilmi, M.N., W, E.P., Winursito, Y.C., 2024. Implementation of Lean Warehouse to Improve The Performance of Warehouse Activities at PT. ABC. *The Indonesian Journal of Computer Science* 13 (1). <https://doi.org/10.33022/ijcs.v13i1.3785>
- Jararweh, A., Yatim, A.R., Al-Bataineh, H., Al-Younes, M., 2025. Development and Implementation of Dimensional Weight Algorithms for Improved Efficiency in Warehouse Management Systems. *International Journal of Recent Technology and Applied Science (IJORTAS)* 7 (1), 17–25. <https://doi.org/10.36079/lamintang.ijortas-0701.751>
- Kmiecik, M., 2025. Creating a genetic algorithm for third-party logistics' warehouse delivery scheduling via a large language model. *Journal of Modelling in Management* 20 (4), 1138–1162. <https://doi.org/10.1108/JM2-06-2024-0192>
- Kocaoglu, B. Enterprise Applications in Logistics (Data Processing), in: *Logistics Information Systems: Digital Transformation and Supply Chain Applications in the 4.0 Era*. Springer, Cham, pp. 121–180.
- Lehmusto, R., 2024. Optimizing Warehouse Operations: ABC Analysis and Strategic Enhancements for Case Company, Bachelor's Thesis. Metropolia University of Applied Sciences.
- Li, A., Zhuang, S., Yang, T., Lu, W., Xu, J., 2024. Optimization of logistics cargo tracking and transportation efficiency based on data science deep learning models. *Applied and Computational Engineering* 69, 71–77.
- Mohamad, I.H., Kafi, Md.A., Shahron, S.A., Zainuddin, N., Musaet, S., 2023. The Role of Warehouse Layout and Operations in Warehouse Efficiency: A Literature Review. *Journal Européen des Systèmes Automatisés* 56 (1), 61–68. <https://doi.org/10.18280/jesa.560109>
- Nord Nilsson V., Eriksson K. Improving Warehouse Efficiency: An Exploratory Analysis of Pallet Handling in a Production Warehouse: A Case Study at a Small and Medium-sized Enterprise within the Surface Treatment Industry. – 2023.
- Osman, M.K., Mohamad, E., Kamarudin, N., Rahman, A.A., 2024. Warehouse operations optimisation through the implementation of lean methodology: A comprehensive review. *Multidisciplinary Reviews* 8 (4) e2025110. <https://doi.org/10.31893/multirev.2025110>
- Qin, G., Li, J., Jiang, N., Li, Q., 2013. Warehouse Optimization Model Based on Genetic Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering* 2013 (1), 619029. <https://doi.org/10.1155/2013/619029>
- Seanbudda, P., Noomthursat, A., Utakavapee, S., Keawsrichun, T., Anthachai, N., 2025. Increasing Efficiency in Warehouse Management by Using ABC Analysis of Outlet Mall Company Limited, Udonthani Branch. *National & International Conference* 18 (1), 93–99.
- Yan, X., 2024. The Consulting Research of ABC Warehouse. *Advances in Economics, Management and Political Sciences* 72, 137–147. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/72/20240663>
- Yue, T., Sherwood, D. *Managing Lean Success: A Warehouse Balancing Act (A)*. School of Management, Erasmus University, Rotterdam, 2024.
- Гинцяк А.М., Бурлуцкая Ж.В., Федяевская Д.Э., Поспелов К.Н., Ракова В.В. Цифровое моделирование социотехнических и социально-экономических систем: монография. СПб.: Политех-Пресс, 2023. 164 с.
- Карванен О.А., Гинцяк А.М. Проблемы в сфере 3PL-логистики в условиях цифровизации // *Автоматизация в промышленности*. 2025. № 3. С. 59–63.
- Лундаева К.А., Гинцяк А.М., Поспелов К.Н., Бурлуцкая Ж.В., Редько С.Г. Комплексный подход к валидации цифровых моделей: исследование подходов и метрик // *Информационные технологии и вычислительные системы*. 2025. № 2. С. 100–112. <https://doi.org/10.14357/20718632250209>
- Сироткин А.А. Цифровизация складской логистики // *Актуальные проблемы современного транспорта*. 2020. Т. 3. № 3. С. 52–58.
- Шадченко Н. Ю. К вопросу об оптимизации работы склада розничной торговой сети // *Базис*. 2020. Т. 2. № 8. С. 5–8.

## References

- Ailyn, D., Lapine, C, 2024. Advanced warehouse management systems and inventory optimization for SMEs.
- Al Bashar, M.A., 2024. Roadmap to Modern Warehouse Management System. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science* Volume 6 (5), 11. <https://doi.org/10.56726/IRJMETSS7356>
- Alamsah, U., Muftiadi, A., Arifianti, R., 2024. Comparative analysis of outsourcing and in house warehouse management system to improve productivity and stock accuracy. *JPPi (Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia)* 10 (4) 908–919. <https://doi.org/10.29210/020244964>
- Andrejić, M., Pajić, V., 2024. Managing Warehouse Risks for 3PL Providers: A Novel Approach Based on FMECA-DEA. *Journal of Organizations, Technology and Entrepreneurship* 2 (2), 113–121. <https://doi.org/10.56578/jote020204>
- Benmimoun, R., El Kihel, A., Embarki, S., El Bachir, K., 2024. Combining Lean Tools and 4.0 Technologies: Application in a Logistic Warehouse, in: *International Conference on Digital Technologies and Applications*. Springer, Cham, pp. 485–495. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-68653-5\\_46](https://doi.org/10.1007/978-3-031-68653-5_46)
- De Assis, R.F., Faria, A.F., Thomasset-Laperrière, V., Santa-Eulalia, L.A., Ouhimmou, M., de Paula Ferreira, W., 2024. Machine Learning in Warehouse Management: A Survey. *Procedia Computer Science* 232, 2790–2799. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.02.096>
- Fares, N., Lloret, J., Kumar, V., Frederico, G.F., Kamach, O., Garza-Reyes, J.A., 2025. Lean implementation case study for manual order picking and packing in warehousing operations. *International Journal of Lean Six Sigma ahead-of-print (ahead-of-print)*. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2024-0097>
- Gintciak, A.M., Burlutskaya, Zh.V., Fedyaevskaya, D.E., Pospelov, K.N., Rakova, V.V., 2023. Digital Modeling of Sociotechnical and Socio-Economic Systems. Politekh-Press, St. Petersburg.
- Hajdu, N, 2024. Advancing Organizational Analytics: A Strategic Roadmap for Implementing Machine Learning in Warehouse Management System, Master's Thesis. University of Oulu.
- Hanggara, F.D, 2024. Warehouse analysis using 5s and abc classification method on CV. Karya Jaya. *Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri* 21 (2), 245–253. <https://doi.org/10.24014/sitekin.v21i2.28982>

- Harends, N.P., Pulansari, F., 2025. Analysis of Finished Product Warehouse Activity Flow Using Lean Warehouse Method. *ITEJ (Information Technology Engineering Journals)* 10 (1), 29–38. <https://doi.org/10.24235/itej.v10i1.202>
- Ilmi, M.N., W, E.P., Winursito, Y.C., 2024. Implementation of Lean Warehouse to Improve The Performance of Warehouse Activities at PT. ABC. *The Indonesian Journal of Computer Science* 13 (1). <https://doi.org/10.33022/ijcs.v13i1.3785>
- Jararweh, A., Yatim, A.R., Al-Bataineh, H., Al-Younes, M., 2025. Development and Implementation of Dimensional Weight Algorithms for Improved Efficiency in Warehouse Management Systems. *International Journal of Recent Technology and Applied Science (IJORTAS)* 7 (1), 17–25. <https://doi.org/10.36079/lamintang.ijortas-0701.751>
- Lundaeva, K.A., Gintciak, A.M., Pospelov, K.N., Burlutskaya, Zh.V., Redko, S.G., 2025. An integrated approach to the validation of digital models: a study of approaches and metrics. *Information Technologies and computing Systems* 2, 100–112. <https://doi.org/10.14357/20718632250209>
- Karvanen, O.A., Gintciak, A.M., 2025. Problemy v sfere 3PL-logistiki v usloviyakh tsifrovizatsii [Problems in the field of 3PL logistics in the context of digitalization]. *Automation in Industry* 3, 59–63.
- Kmieciak, M., 2025. Creating a genetic algorithm for third-party logistics' warehouse delivery scheduling via a large language model. *Journal of Modelling in Management* 20 (4), 1138–1162. <https://doi.org/10.1108/JM2-06-2024-0192>
- Kocaoglu, B. *Enterprise Applications in Logistics (Data Processing)*, in: *Logistics Information Systems: Digital Transformation and Supply Chain Applications in the 4.0 Era*. Springer, Cham, pp. 121–180.
- Lehmusto, R., 2024. *Optimizing Warehouse Operations: ABC Analysis and Strategic Enhancements for Case Company*, Bachelor's Thesis. Metropolia University of Applied Sciences.
- Li, A., Zhuang, S., Yang, T., Lu, W., Xu, J., 2024. Optimization of logistics cargo tracking and transportation efficiency based on data science deep learning models. *Applied and Computational Engineering* 69, 71–77.
- Mohamad, I.H., Kafi, Md.A., Shahron, S.A., Zainuddin, N., Musaed, S., 2023. The Role of Warehouse Layout and Operations in Warehouse Efficiency: A Literature Review. *Journal Européen des Systèmes Automatisés* 56 (1), 61–68. <https://doi.org/10.18280/jesa.560109>
- Nord Nilsson, V., Eriksson, K., 2023. Improving Warehouse Efficiency: An Exploratory Analysis of Pallet Handling in a Production Warehouse: A Case Study at a Small and Medium-sized Enterprise within the Surface Treatment Industry. *Jönköping University*.
- Osman, M.K., Mohamad, E., Kamarudin, N., Rahman, A.A., 2024. Warehouse operations optimisation through the implementation of lean methodology: A comprehensive review. *Multidisciplinary Reviews* 8 (4) e2025110. <https://doi.org/10.31893/multirev.2025110>
- Qin, G., Li, J., Jiang, N., Li, Q., 2013. Warehouse Optimization Model Based on Genetic Algorithm. *Mathematical Problems in Engineering* 2013 (1), 619029. <https://doi.org/10.1155/2013/619029>
- Seanbudda, P., Noomthursat, A., Utakavapee, S., Keawsrichun, T., Anthachai, N., 2025. Increasing Efficiency in Warehouse Management by Using ABC Analysis of Outlet Mall Company Limited, Udon Thani Branch. *National & International Conference* 18 (1), 93–99.
- Shadchenko, N., 2020. To the question of retail trade network warehouse operation optimization. *Basis* 2 (8), 5–8.
- Sirotkin, A.A., 2020. Digitalization of warehouse logistics. *Actual problems of modern transport* 3 (3), 52–58.
- Yan, X., 2024. The Consulting Research of ABC Warehouse. *Advances in Economics, Management and Political Sciences* 72, 137–147. <https://doi.org/10.54254/2754-1169/72/20240663>
- Yue, T., Sherwood, D. *Managing Lean Success: A Warehouse Balancing Act (A)*. School of Management, Erasmus University, Rotterdam, 2024.

Статья поступила в редакцию 23.11.2025, одобрена после рецензирования 07.12.2025, принята к публикации 14.12.2025.

The article was submitted 23.11.2025, approved after reviewing 07.12.2025, accepted for publication 14.12.2025.

#### Информация об авторах:

1. Олег Карванен, магистр, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация. <https://orcid.org/0009-0003-4611-1574>, olegkarvanen@yandex.ru
2. Алексей Гинцяк, канд. техн. наук, без звания, Заведующий лабораторией, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, <https://orcid.org/0000-0002-9703-5079>, gintsyak\_am@spbstu.ru

#### About the authors:

1. Oleg Karvanen, Master, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0009-0003-4611-1574>, olegkarvanen@yandex.ru
2. Aleksei Gintciak, Head of the laboratory, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, <https://orcid.org/0000-0002-9703-5079>, gintsyak\_am@spbstu.ru