

Научная статья
УДК 656.1
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-4-618-629>
EDN: ESUPZG



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ РОЗНИЧНОЙ ПРОДАЖИ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАДИЦИОННЫХ И ОНЛАЙН-ТЕХНОЛОГИЙ

Л.С. Трофимова ✉, В.С. Социховский

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),
г. Омск, Россия

✉ ответственный автор
trofimova_ls@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Статья посвящена повышению производительности транспортно-складских процессов с акцентом на анализ операций, выполняемых на складе. Решение задачи осуществлено на примере магазинов бытовой техники и электроники, но результаты решения могут быть распространены на системы розничной продажи, осуществляемой с использованием традиционных и онлайн-технологий. Выполнено дифференцированное оценивание производительности отдельных частей транспортно-складского хозяйства рассматриваемых видов магазинов – транспортных средств, осуществляющих доставку товаров, и работников склада. Анализируются проблемы, связанные с неравномерностью работы складов в периоды высокой покупательской активности. Актуальность исследования обоснована показателями статистики, подтверждающей рост продаж в данном рыночном сегменте. Целью исследования является повышение эффективности транспортно-складских процессов за счет разработки математической модели, определяющей взаимосвязь выработки склада магазинов бытовой техники и электроники с выработкой автотранспортных средств, осуществляющих перевозку товара.

Материалы и методы. Для формирования математической модели использовался метод оптимизации технологических процессов. Решение задачи выполняется методом перебора по натуральному показателю – выработке с учетом принятых ограничений. Элементы транспортно-складских процессов для математического описания включают в себя выработку каждого работника склада, выполняющего конкретную операцию; выработку каждого автотранспортного средства, обеспечивающего выполнение конкретной операции на складе. Планирование выполняется по дням конкретного месяца года.

Результаты и выводы. В разработанной математической модели определено, что выработка всех работников и единиц подвижного состава обеспечивает выполнение необходимых операций для обработки товара, поступившего на склад. Математическая модель направлена на формирование потребного количества работников склада и автотранспортных средств, с учетом выработки для выполнения всего объема работ по критерию эффективности – прибыль. Направление дальнейших исследований для практической реализации математической модели – определение вероятностных параметров модели – выработка работников склада и автотранспортных средств, время на обработку заказа по группам.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортно-складские процессы, склад магазина, автотранспортные средства

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Л.С. Трофимова – член редакционной коллегии журнала «Вестник СибАДИ». Журнал «Вестник СибАДИ» не освобождает от рецензирования рукописи ученых вне зависимости от их статуса.

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы благодарят редакционную коллегию и редакционный совет научного рецензируемого журнала «Вестник СибАДИ», анонимных рецензентов статьи.

Статья поступила в редакцию 12.05.2025; одобрена после рецензирования 17.06.2025; принята к публикации 22.08.2025.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

© Трофимова Л.С., Социховский В.С., 2025



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Трофимова Л.С., Социховский В.С. Математическая модель транспортно-складских процессов в системах розничной продажи, осуществляемой с использованием традиционных и онлайн-технологий // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, №. 4. С. 618-629. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-4-618-629>

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-4-618-629>

EDN: ESUPZG

MATHEMATICAL MODEL OF TRANSPORT AND WAREHOUSE PROCESSES IN RETAIL SALES SYSTEMS EVOLVING TRADITIONAL AND ONLINE TECHNOLOGIES

Liudmila S. Trofimova ✉, **Vladislav S. Sotsikhovskiy**
Siberian State Automobile and Highway University (SibADI),
Omsk, Russia
✉ corresponding author
trofimova_ls@mail.ru

ABSTRACT

Introduction. The article is devoted to increasing the productivity of transport and warehouse processes with an emphasis on the analysis of operations performed in the warehouse. Household appliances and electronics retailers have been taken as an example for solving the problem, but the results of the study can be extended to retail systems based on traditional and online technologies.

The productivity of integral parts of transportation and warehousing for the stores under investigation, such as vehicles for delivering goods and warehouse workers, has been given a differentiated assessment. The problems associated with unbalanced warehouse operation during peak sales periods are considered. The relevance of the study refers to statistical data confirming the growth of sales in this market segment. The purpose of the study is to develop a mathematical model that determines the relationship between the output of a warehouse of household appliances and electronics stores and the output of vehicles transporting goods.

Materials and methods. The method of optimization of technological processes was used to develop the mathematical model. The solution of the problem is achieved through using the search method for output physical indicator with the adopted restrictions taken into account. Elements of transport and warehouse processes for mathematical description include the output per each warehouse worker performing a specific operation; the output of each vehicle performing a specific task in the warehouse. Planning is considered on daily basis for the specific month of the year.

Results and conclusions. The developed mathematical model defines that the output of all workers and rolling stock units ensures the necessary operations for processing the goods received at the warehouse. The mathematical model prescribes the required number of warehouse workers and vehicles, taking into account the output of the entire work according to the efficiency criterion – profit. Directions for further research on practical implementation of the mathematical model include determining the probabilistic parameters of the model – output of warehouse workers and vehicles, time for processing an order by groups.

KEYWORDS: transport and warehouse processes; store warehouse; motor vehicles

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare no conflict of interest. L.S. Trofimova member of the editorial board of The Russian Automobile and Highway Industry Journal. The Russian Automobile and Highway Industry Journal does not exempt scientists from reviewing the manuscript, regardless of their status.

ACKNOWLEDGMENTS. The authors thank the editorial board and editorial board of the Scientific Peer-Reviewed Journal “The Russian Automobile and Highway Industry Journal” anonymous reviewers of the article.

The article was submitted: May 12, 2025; approved after reviewing: June 17, 2025; accepted for publication: August 22, 2025.

All authors have read and approved the final manuscript.

© Trofimova L.S., Sotsikhovskiy V.S., 2025



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Trofimova L.S., Sotsikhovskiy V.S. Mathematical model of transport and warehouse processes in retail sales systems evolving traditional and online technologies. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22 (4): 618-629. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-4-618-629>

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В статье представлена математическая модель для планирования транспортно-складских процессов при работе склада магазинов бытовой техники и электроники. Исследования связаны с изучением современного состояния розничной торговли в городе Омске и темпов её изменения, практики работы склада магазинов бытовой техники и электроники, автотранспортных средств, осуществляющих перевозку товара. Разработанная математическая модель позволяет подбирать работников склада и автотранспортные средства по их выработке, обеспечивающей продажу товара каждый день. Совокупность математических уравнений для реализации разработанной целевой функции – максимум прибыли, определяет взаимосвязь выработки склада магазинов бытовой техники и электроники с выработкой автотранспортных средств, осуществляющих перевозку товара. В данной математической модели предусмотрены ограничения, связанные с выполнением заказов по их количеству и выработке. Практическая реализация – планирование транспортно-складских процессов. Направление дальнейших исследований для практической реализации математической модели – определение вероятностных параметров модели – это выработка работников

склада и автотранспортных средств, время на обработку заказа по группам.

ВВЕДЕНИЕ

В эпоху цифровизации и стремительного развития e-commerce розничные сети бытовой техники и электроники сталкиваются с возрастающим давлением: потребители ожидают мгновенного доступа к широкому ассортименту продукции, быстрой доставки и персонализированного обслуживания. В этих условиях особая роль отводится транспортно-складским процессам внутри самих магазинов розничных сетей.

Согласно статистическим данным территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Омской области, оборот розничной торговли за 2023 г. составил 480179,6 млн руб., что на 11,7% больше по сравнению с предыдущим периодом.

Данные, представленные на сайте Федеральной службы государственной статистики, позволяют отследить динамику изменения доли розничной продажи бытовой техники и электроприборов в специализированных магазинах в период с 2019 по 2023 г. в Омской области. В таблице показано значение показателя по Омской области.

Таблица

Доля розничной продажи бытовой техники и электроприборов в % по товарным группам
Источник: составлено авторами.

Table

Share of retail sales of household appliances and electrical appliances in % by product groups
Source: compiled by the authors.

Наименование	Значение показателей по годам, %				
	2019	2020	2021	2022	2023
Осветительные приборы	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Бытовые электротовары	5,0	6,1	6,1	6,5	7,3
Аудио- и видеотехника	2,3	2,8	2,5	2,4	2,9
Компьютеры, периферийные устройства, персональные компьютеры, ноутбуки, клавиатуры, компьютерные мыши, пакеты MS Office, антивирусные программы	2,3	3,4	3,4	3,4	3,3
Фотоаппаратура, оптические приборы и средства измерений	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Телекоммуникационное оборудование	3,8	4,7	4,8	4,0	4,2

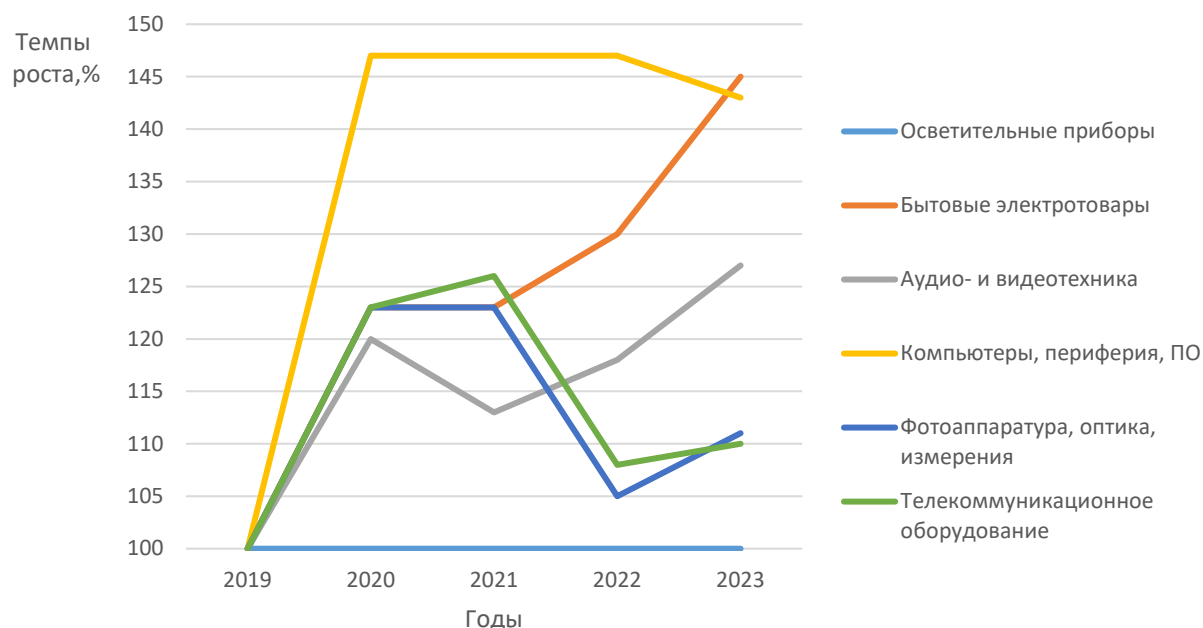


Рисунок 1 – Темпы роста доли розничной продажи бытовой техники и электроники
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Growth rate for retail sales of household appliances and electronics
Source: compiled by the authors.

Темпы роста доли розничной продажи бытовой техники и электроники приведены на рисунке 1. В период с 2019 по 2023 г. в структуре розничной торговли бытовой техникой и электроникой наблюдается рост доли бытовых электротоваров и аудио- видеотехники, при этом доли остальных категорий остаются стабильными или незначительно колеблются.

Крупные сети магазинов бытовой техники и электроники, стремясь к бесперебойному обеспечению товаром и удовлетворению покупательского спроса, сталкиваются с непростой дилеммой: как эффективно организовать приемку товара, особенно в пиковые дни покупательской активности. Данный сегмент относится к разделу «бизнес для потребителя» [1].

Научные и практические работники, занимающиеся исследованием проблем функционирования склада и транспортного процесса, отмечают необходимость использования диверсифицированного подхода к организации логистических транспортных потоков в формате построения бизнеса доставки [2]. Применение системного анализа является необходимым условием для планирования транспортно-складских процессов [3, 4].

Следует согласиться с авторами работы о том, что необходимым условием исследования транспортно-складских процессов яв-

ляется выявление «узких мест» и сроков выполнения процессов на разных складах [5]. Ключевым показателем эффективности логистических процессов является время транспортировки [6]. Существенной проблемой в применении инструментов моделирования в производственных процессах является сложность эффективной интеграции этих инструментов в логистические системы, что часто приводит к недоиспользованию производительности [7]. Существует острая необходимость в системах производственного моделирования для анализа как входящих, так и исходящих цепочек поставок. Эпоха проверки «на глаз» постепенно уходит в прошлое [8]. Интеграция стохастического моделирования обеспечивает более надежные решения для устранения неопределенностей, присущих логистическим операциям. Такая интеграция может повысить надёжность и применимость логистических решений в городских условиях [9]. Транспортно-складская логистическая система – это не просто набор ресурсов, а тщательно выстроенная иерархия подсистем. Она включает в себя квалифицированный персонал, сеть складских комплексов, разнообразный транспортный парк, специализированное оборудование и инфраструктуру. Все компоненты организованы и взаимосвязаны, чтобы

сконцентрировать ресурсы в нужном месте и в нужное время для выполнения поставленных логистических целей [10].

Н.Д. Протопопов [11] отметил, что при организации управления складом следует учитывать такие важные факторы, как взаимодействие с потоками, степень загрузки сотрудников и рациональное использование пространства на складе.

Е.С. Хоруженко и С.М. Мочалин [12] предложили модель планирования доставки грузов, которая позволяет оптимизировать транспортно-складские издержки в прямых цепях поставок. Модель позволяет проанализировать процесс поставки с целью определения наиболее оптимального варианта.

В работе¹ сделан акцент на автоматизацию складских процессов, однако без учета затрат времени на выполнение погрузо-разгрузочных операций с использованием автотранспортных средств.

А.Б. Левина, Ю.С. Якунина, Е.Ю. Трофименко [13] для планирования транспортно-складских процессов разработали показатель – уровень логистизации хозяйственных субъектов (торговых предприятий) на рынке, позволяющий оценить внедрение логистических подходов в деятельность предприятий торговли.

Для планирования транспортно-складских процессов использовались:

- метод имитационного моделирования дискретных событий [14, 15] при анализе стратегий комплектации заказов [14], принятии решения о наиболее подходящем месте для хранения [15];
- метод построения графа для операций, выполняемых на складе [16];
- динамическое моделирование с использованием гибридной парадигмы, основанной на моделировании дискретных событий и агентном моделировании, чтобы воспроизвести исторический процесс планирования на складе [17].

Обзор ранее выполненных исследований, которые проводились отечественными и зарубежными исследователями, подтверждает актуальность настоящей статьи. Моделирование транспортно-складских процессов в магазинах бытовой техники и электроники должно выполняться с учетом ликвидации «узких

мест», сроков выполнения этих процессов, производительности. Планирование по разработанной математической модели должно обеспечивать надежные управленческие решения для устранения неопределенностей.

В ранее выполненных исследованиях, которые проводились отечественными и зарубежными авторами, не в полной мере решены проблемы взаимосвязи транспортных и складских процессов при наличии критерия эффективности функционирования этих процессов – прибыли. Математические модели не решают проблемы подбора работников склада и автотранспортных средств с учетом их выработки.

Целью исследования является повышение эффективности транспортно-складских процессов за счет разработки математической модели, определяющей взаимосвязь выработки склада магазинов бытовой техники и электроники с выработкой автотранспортных средств, осуществляющих перевозку товара.

Задачи настоящего исследования:

- изучить практику работы склада магазинов бытовой техники и электроники и автотранспортных средств, осуществляющих перевозку товара;
- определить элементы транспортно-складских процессов для математического описания плановых показателей;
- выполнить формирование математических уравнений для реализации разработанной целевой функции, определяющей взаимосвязь выработки склада магазинов бытовой техники и электроники с выработкой автотранспортных средств, осуществляющих перевозку товара;
- установить направления дальнейших исследований для практической реализации математической модели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для формирования математической модели использовался метод оптимизации технологических процессов. В качестве критерия оптимизации выбран показатель – прибыль от выполнения транспортно-технологических процессов. Решение задачи выполняется методом перебора по натуральному показателю – выработке с учетом принятых ограничений [18, 19].

¹ Кондрашова Д.С., Хомякова А.А. Автоматизация управления логистическими процессами торгового предприятия // Сборник научных трудов вузов России «Проблемы экономики, финансов и управления производством». 2022. № 50. С. 43–47.

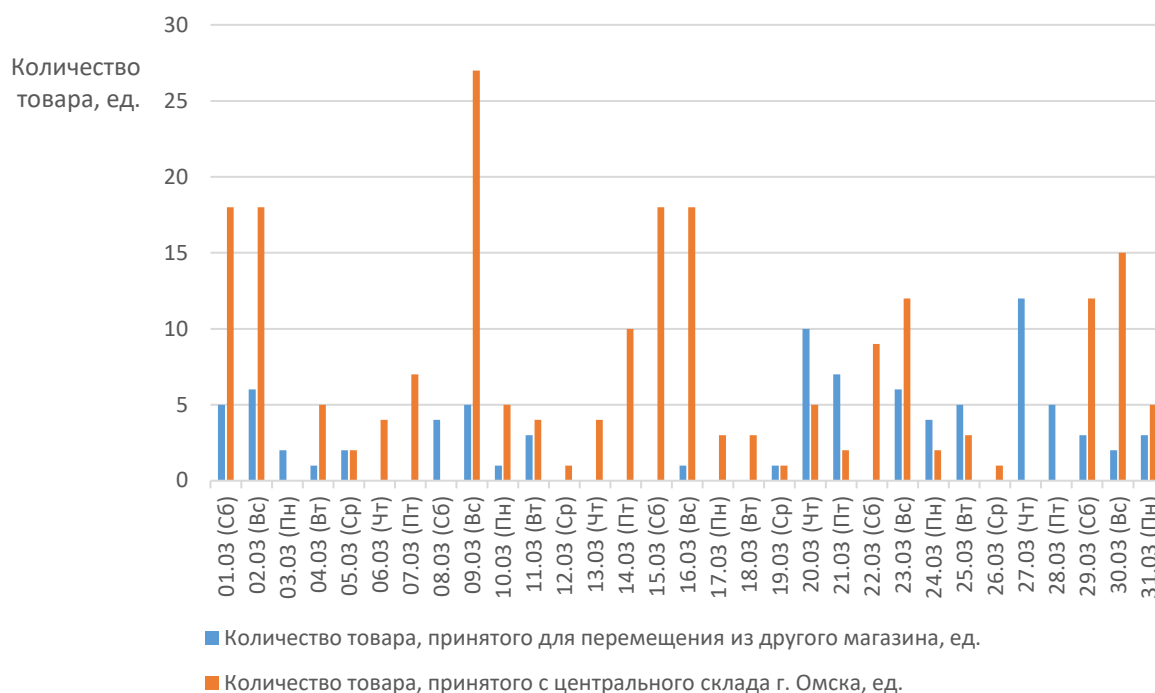


Рисунок 2 – Динамика изменения количества принимаемого товара в марте 2025 г.
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Dynamics of changes in the quantity of goods accepted in March 2025
Source: compiled by the authors.

Элементы транспортно-складских процессов для математического описания при планировании включают себя выработку каждого работника склада от 1 до В ($b = \overline{1, B}$), выполняющего конкретную операцию (рисунки 2, 3, 4) от 1 до 6 ($a = \overline{1, 6}$); выработку каждого автотранспортного средства от 1 до Х ($x = \overline{1, X}$), обеспечивающего выполнение конкретной операции на складе.

Операции, выполняемые на складе:

- 1 – прием товара, который был заказан онлайн, через сайт магазина, и в качестве пункта выдачи был выбран именно этот магазин;
- 2 – прием товара с центрального склада;
- 3 – прием товара с регионального склада;
- 4 – подбор интернет-заказов;
- 5 – отгрузка товара для перемещения на другой магазин;
- 6 – отгрузка товара, предназначенного под доставку для клиента.

Операции с 1-й по 4-ю требуют затрат времени на выполнение разгрузки груза и работы на складе; 5-я и 6-я операции требуют затрат времени на выполнение погрузки груза и работы на складе.

Планирование выполняется по дням конкретного месяца года от 1 до К ($k = \overline{1, K}$).

Для планирования используется булева переменная назначения:

- работника склада для выполнения работником конкретной операции, только после окончания предыдущей операции ($l_{b,a,k}$ – булева переменная назначения b-го работника склада на выполнение a-й операции в k-й день, $l_{b,a,k} = \overline{0,1}$, $l_{b,a,k} = \text{int}(l_{b,a,k})$);

- автотранспортного средства для выполнения автотранспортным средством конкретной операции, только после окончания предыдущей операции ($n_{x,a,k}$ – булева переменная назначения x-го автотранспортного средства, обеспечивающего выполнение a-й операции на складе в k-й день, $n_{x,a,k} = \overline{0,1}$, $n_{x,a,k} = \text{int}(n_{x,a,k})$).

В разработанной математической модели определено, что выработка всех работников и единиц подвижного состава обеспечивает выполнение необходимых операций для реализации товара, поступившего на склад. Время, необходимое для выполнения операций, должно быть меньше или равно частному от деления сменного времени в конкретный день на количество товара, поступившего на склад в этот день.

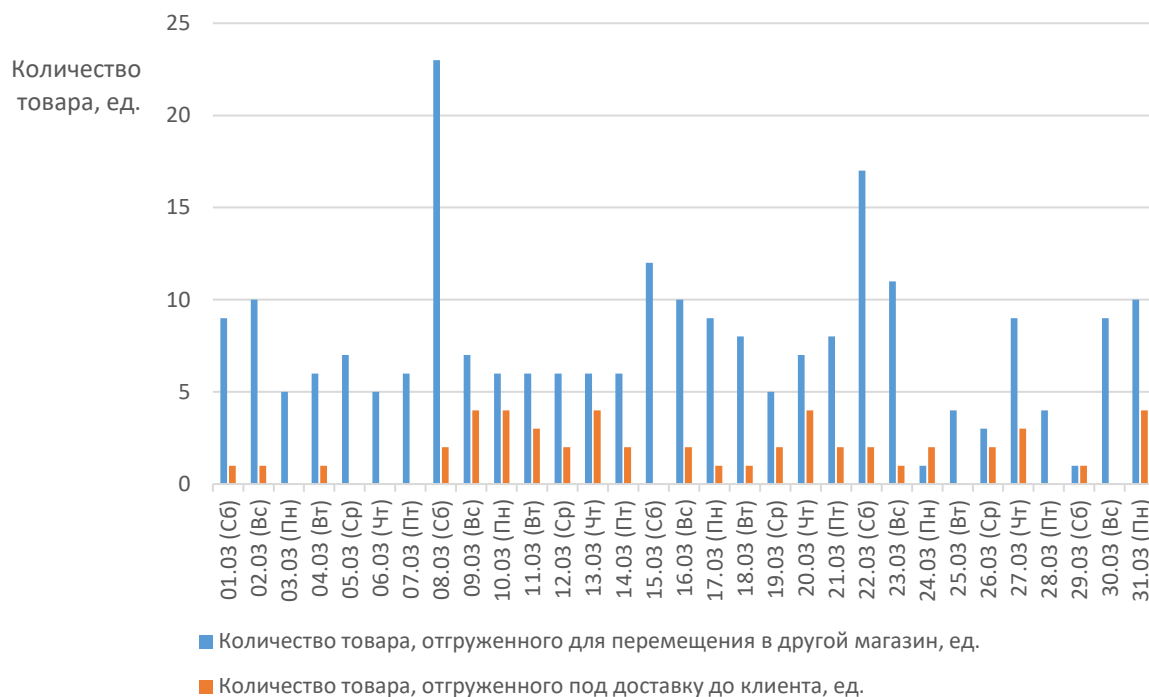


Рисунок 3 – Динамика изменения количества отгружаемого товара в марте 2025 г.
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Dynamics of change in the quantity of goods shipped in March 2025.
Source: compiled by the authors.

Математическая модель направлена на формирование потребного количества работников склада и автотранспортных средств, с учетом выработки для выполнения всего объема. В качестве вероятностных показателей используются выработка работника склада и выработка автотранспортного средства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование практики работы склада магазина одной крупной сети в г. Омске позволило установить количество принятых, отгруженных товаров, а также собранных интернет-заказов по дням недели в марте 2025 г. Изменение данных показателей представлено на рисунках 2, 3, 4.

На рисунке 2 представлено изменение количества принятых для перемещения товаров из другого магазина – это товары, которые были заказаны онлайн, через сайт магазина, и в качестве пункта выдачи был выбран именно этот магазин.

В марте 2025 г. количество данного товара варьировалось от 0 до 12 ед. Максимальное количество (12 ед.) было зафиксировано в

четверг, 27 марта 2025 г. Также имелись дни, когда товары из других магазинов не перемещались: 6 и 7 марта, с 12 по 15 марта, а также 17, 18, 22 и 26 марта 2025 г.

Кроме того, поставки товара на склад осуществляются с центрального склада. Наибольший объем поступления (27 ед.) зафиксирован 9 марта 2025 г. Минимальный объем, равный нулю, наблюдался 3, 8, 27 и 28 марта 2025 г.

Отгрузки со склада можно разделить на два вида: отгрузки для перемещения на другой магазин и отгрузки, предназначенные под доставку для клиента (рисунок 3). Отгрузки на доставку для клиента – это товары (в основном бытовая техника), которые клиент не может самостоятельно забрать из магазина. Их забирает транспортная компания, осуществляющая доставки грузов внутри города, доставляющая товар до квартиры покупателя.

Количество товара, отгруженного для перемещения в другой магазин, в марте 2025 г. изменяется от 1 до 23 ед. Максимальное количество (23 ед.) было зафиксировано в субботу, 8 марта 2025 г. Минимальный объем отгрузки, составляющий 1 ед., отмечен 24 и 29 марта.

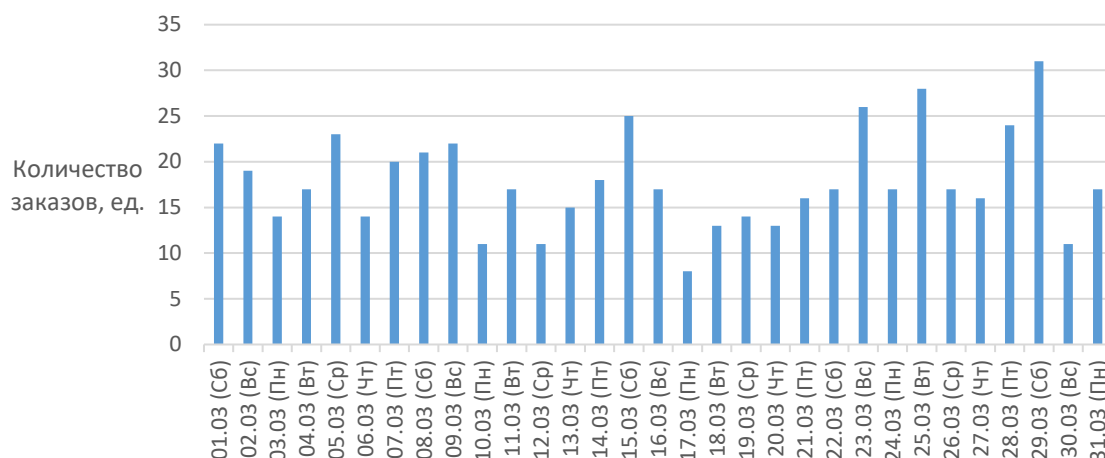


Рисунок 4 – Динамика изменения количества собранных интернет-заказов в марте 2025 г.
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Dynamics of change in the number of collected Internet orders in March 2025
Source: compiled by the authors.

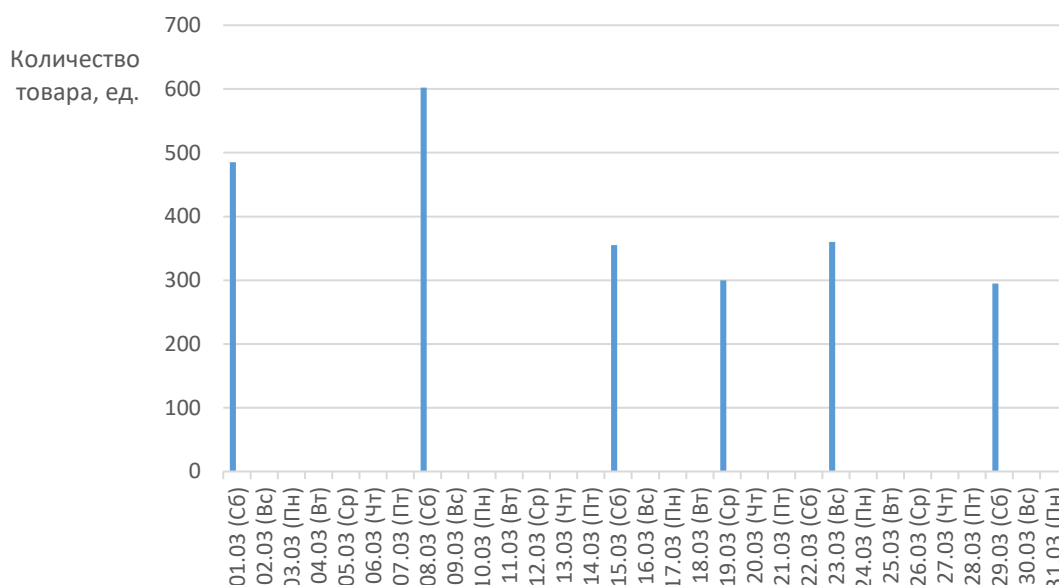


Рисунок 5 – График поставок с регионального склада в марте 2025 г.
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Schedule of deliveries from the regional warehouse in March 2025
Source: compiled by the authors.

Объем товара, который предназначен под отгрузку до клиента в марте изменялся от 0 до 4 ед. Максимальное количество отгруженного товара для доставки клиенту составило 4 ед. (9, 10, 13 и 31 марта), а минимальное – 0 ед. (3, 5, 6, 7, 15, 21, 25 и 27 марта).

Помимо приемки и отгрузки товаров в обязанности склада входит подбор интернет-заказов (рисунок 4).

В течение марта 2025 г. объем подобранных интернет-заказов колебался от 8 до 31 ед.:

наибольшее количество заказов было отмечено в субботу, 29 марта (31 заказ), а наименьшее – в понедельник, 17 марта (8 заказов).

Кроме того, в выходные дни на склад поступает товар с регионального склада, расположенного в городе Новосибирске (рисунок 5). Максимальная поставка была 08.03.2025 – 602 ед. товара, а минимальная 29.03.2025 – 295 ед.

Анализируя все выше представленные рисунки 2, 3, 4 и 5, можно сделать вывод о том,

что основной поток товара приходится на выходные дни. Однако именно в эти дни магазины в торговых центрах испытывают максимальную нагрузку.

Сотрудники склада вынуждены временно приостанавливать выполнение своих основных задач, связанных со сборкой и выдачей интернет-заказов, а также отгрузкой товара для приоритетной приемки вновь прибывших партий грузов. Параллельно функции по обработке интернет-заказов делегируются продавцам, что негативно сказывается на качестве обслуживания клиентов и эффективности выполнения их непосредственных обязанностей. Данная практика в сочетании с недостаточной квалификацией персонала способствует увеличению вероятности ошибок в складских процессах, возникновению расхождений в учетных данных, задержкам при выдаче заказов и, как следствие, приводит к финансовым потерям и снижению лояльности потребителей.

Результаты исследований практики позволили разработать математическую модель (формулы (1) – (7)).

Целевой функцией, определяющей взаимосвязь выработки склада магазинов бытовой техники и электроники с выработкой автотранспортных средств, осуществляющих перевозку товара, является прибыль (формула (1)).

$$\sum_{k=1}^K \Pi_k \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$\Pi_k = (D_k - Z_k); \quad (2)$$

$$D_k = \sum_{b=1}^B \sum_{a=1}^6 (W_{b,a,k} \cdot l_{b,a,k}) \cdot S_{b,a} + \sum_{i=1}^I \sum_{a=1}^6 (Q_{i,a,k} \cdot n_{i,a,k}) \cdot C_{i,a}; \quad (3)$$

$$Z_k = \sum_{b=1}^B \sum_{a=1}^6 (W_{b,a,k} \cdot l_{b,a,k}) \cdot F_{b,a} + \sum_{i=1}^I \sum_{a=1}^6 (Q_{i,a,k} \cdot n_{i,a,k}) \cdot N_{i,a}; \quad (4)$$

$$\begin{cases} \sum_{b=1}^B \sum_{a=1}^6 (W_{b,a,k} \cdot l_{b,a,k}) \geq U_k \\ \sum_{i=1}^I \sum_{a=1}^6 (Q_{i,a,k} \cdot n_{i,a,k}) \geq U_k \end{cases}; \quad (5)$$

$$\sum_{b=1}^B \sum_{a=1}^6 (W_{b,a,k} \cdot l_{b,a,k}) \cdot t_{b,a,k} \leq \frac{\Phi P B_k}{U_k}; \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{a=1}^6 (Q_{i,a,k} \cdot n_{i,a,k}) \cdot T_{i,a,k} \leq \frac{\Phi P B_k}{U_k}, \quad (7)$$

где Π_k – прибыль от выполнения транспортно-складских процессов за k -й день, руб.; D_k – доход от выполнения транспортно-складских процессов за k -й день, руб.; Z_k – затраты на выполнение транспортно-складских процессов за k -й день, руб.; $W_{b,a,k}$ – выработка b -го работника склада при выполнении a -й операции в k -й день, ед.; $l_{b,a,k}$ – булева переменная назначения b -го работника склада на выполнение a -й операции в k -й день, $l_{b,a,k} = 0, 1$, $l_{b,a,k} = \text{int}(l_{b,a,k})$; $Q_{x,a,k}$ – выработка x -го автотранспортного средства, обеспечивающего выполнение a -й операции на складе в k -й день, ед.; $n_{x,a,k}$ – булева переменная назначения x -го автотранспортного средства, обеспечивающего выполнение a -й операции на складе в k -й день, $n_{x,a,k} = 0, 1$, $n_{x,a,k} = \text{int}(n_{x,a,k})$; $S_{b,a}$ – величина тарифа для b -го работника склада при выполнении a -й операции, руб./ед.; $C_{x,a}$ – величина тарифа для x -го автотранспортного средства, обеспечивающего выполнение a -й операции на складе в k -й день, руб./ед.; $F_{b,a}$ – величина себестоимости при выполнении a -й операции b -м работником склада, руб./ед.; $N_{x,a}$ – величина себестоимости транспортного процесса для x -го автотранспортного средства, обеспечивающего выполнение a -й операции на складе в k -й день, руб./ед.; U_k – количество товара, поступившего на склад в k -й день, ед.; $t_{b,a,k}$ – время для b -го работника склада при выполнении a -й операции в k -й день, час; $T_{x,a,k}$ – время для x -го автотранспортного средства, обеспечивающего выполнение a -й операции на складе в k -й день, ч; $\Phi P B_k$ – время работы склада в k -й день, ч.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изучения практики работы склада магазинов бытовой техники и электроники и автотранспортных средств, осуществляющих перевозку товара, была установлена неравномерность поступления товара по дням недели каждого месяца, которая приводит к возникновению расхождений в учетных данных, задержкам при выдаче заказов и, как следствие, к финансовым потерям и снижению лояльности потребителей. Для планирования работы транспортно-складских процессов была разработана математическая модель, позволяющая подбирать работников склада и автотранспортные средства по их выработке, обеспечивающей продажу товара каждый день. Совокупность математических уравнений для реализации разработанной целевой функции – максимум прибыли, определяет взаимосвязь выработки склада магазинов бытовой техники и электроники с выработкой автотранспортных средств, осуществляющих перевозку товара. В разработанной математической модели определено, что выработка всех работников и единиц подвижного состава обеспечивает выполнение необходимых операций для обработки товара, поступившего на склад по времени и их количеству. Направления дальнейших исследований для практической реализации математической модели – определения вероятностных параметров модели – выработка работников склада и автотранспортных средств, время на обработку заказа по группам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Boysen N., René de Koster, Füßler D., The forgotten sons: Warehousing systems for brick-and-mortar retail chains. *European Journal of Operational Research*. 2021. Vol. 288, Is. 2. p. 361–381, <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.04.058>.
- Гузенко А.В., Гузенко Н.В. Диверсифицированный подход при организации мультиканальной продаж федеральной продовольственной сети // *Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ)*. 2022. № 3(79). С. 10–18. DOI: <https://doi.org/10.54220/v.rsue.1991-0533.2022.79.3.001>
- Павлов К.В., Зенькова И.В., Никифоров С.А. Оценка эффективного использования логистических центров при транспортировке мясомолочной продукции из Витебской области Беларуси на зарубежные рынки // *Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера: Вестник Научно-исследовательского центра корпоративного права, управления и венчурного инвестирования Сыктывкарского государственного универ-*
- ситета. 2022. Т. 2, № 4. С. 397–408. DOI: <https://doi.org/10.34130/2070-4992-2022-2-4-397>
- Павлов К.В., Зенькова И.В., Никифоров С.А. Эффективное использование логистических центров при транспортировке мясомолочной продукции из Беларуси на зарубежные рынки // *Экономика и финансы (Узбекистан)*. 2023. № 3. С. 38–48. DOI: https://doi.org/10.34920/EIF/VOL_2023_ISSUE_3_6
- Živičnjak M., Rogić K., Bajor I., Case-study analysis of warehouse process optimization, *Transportation Research Procedia*. 2022, Vol. 64. p. 215–223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.09.026>.
- Burganova N., Grznar P., Gregor M., Mozol Š. Optimisation of Internal Logistics, *Transport Time Through Warehouse Management: Case Study, Transportation Research Procedia*. 2021. Vol. 55. p. 553–560. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.021>.
- Santos O.M., Hernández-González J.C., Román-del-Valle M.A. Application of Simulation in the Management of the Operational Warehouse, *A Systematic Literature Review* Hernández, *Saudi Journal of Engineering and Technology Abbreviated Key Title: Saudi J Eng Technol*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.36348/sjet.2024.v09i10.003>.
- Abideen A., Fazeeda B. M. Improving the performance of a Malaysian pharmaceutical warehouse supply chain by integrating value stream mapping and discrete event simulation. *Journal of Modelling in Management*. 2021: 70–102. DOI: <https://doi.org/10.1108/JM2-07-2019-0159>.
- Moreno R.P.R., Lopes R.B., Ferreira J.V., Ramos A.L., Correia D.A Study of the Main Mathematical Models Used in Mobility, Storage, Pickup and Delivery in Urban Logistics, *A Systematic Review. Systems*. 2024. 12. 374. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems12090374>.
- Муравьева Н.А. Подход к классификации технологических процессов в транспортно-складских логистических системах // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2013. Т. 2, № 2(71). С. 316–318.
- Протопопов Н.Д. Оптимизационное решение для логистики автокомпонентов // *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2021. № 2. С. 45–55. DOI: <https://doi.org/10.255>
- Хоруженко Е.С., Мочалатин С.М. Планирование транспортно-складских затрат при организации поставок помашинными отправлениями // *Омский научный вестник*. 2015. № 3(139). С. 258–261.
- Левина А.Б., Якунина Ю.С., Трофименко Е.Ю. Оценка уровня логистизации торговых предприятий. // *Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика*. 2024. Т. 26, № 3. С. 134–148. DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2024.3.11>
- Aravindaraj K., Rajan Chinna P. A systematic literature review of integration of industry 4.0 and warehouse management to achieve Sustainable

Development Goals (SDGs). *Cleaner Logistics and Supply Chain*. 2022. vol. 5, 100072. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100072>.

15. Leon J.F., Li Y., Martin X.A., Calvet L., Panadero J., Juan A.A. A Hybrid Simulation and Reinforcement Learning Algorithm for Enhancing Efficiency in Warehouse Operations. *Algorithms*. 2023. 16: 408. DOI: <https://doi.org/10.3390/a16090408>

16. Разумовский А.В., Сарамуд М.В., Пикалов Я.Ю. Алгоритмы управления матричным складом на базе унифицированных транспортно-складских ячеек // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21, № 4. С. 54–70. DOI: <https://doi.org/10.25205/1818-7900-2023-21-4-54-70>

17. Zeng Y.Q., Li W.B., Li C.H., A dynamic simulation framework based on hybrid modeling paradigm for parallel scheduling systems in warehouses, *Simulation/Modelling Practice and Theory*. 2024. vol. 133. 102921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2024.102921>.

18. Трофимова Л.С. Методика текущего планирования работы автотранспортного предприятия при перевозке грузов в городе // Вестник СибАДИ. 2020. Т. 17, № 2(72). С. 234–247. DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-2-234-247>

19. Трофимова Л.С., Певнев Н.Г. Структура методологии текущего планирования работы грузового автотранспортного предприятия // Вестник СибАДИ. 2017. № 6(58). С. 63–71.

REFERENCES

1. Boysen N., René de Koster, Füllner D., The forgotten sons: Warehousing systems for brick-and-mortar retail chains. *European Journal of Operational Research*. 2021; Vol. 288, Iss. 2: 361–381, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.04.058>.

2. Guzenko A.V., Guzenko N.V. Diversified approach to organizing multichannel sales of federal food chain. *Vestnik of Rostov state university of economics (RINH)*. 2022; 3(79): 10–18. DOI: <https://doi.org/10.54220/v.rsue.1991-0533.2022.79.3.001>. (in Russ.)

3. Pavlov K.V., Zenkova I.V., Nikiforov S.A. Evaluation of the effective use of logistics centers in the transportation of meat and dairy products from the Vitebsk region of Belarus to foreign markets. *Corporate Governance and Innovative Economic Development of the North: Bulletin of the Research Center of Corporate Law, Management and Venture Investment of Syktyvkar State University*. 2022; Vol. 2, issue 4: 397–408. DOI: <https://doi.org/10.34130/2070-4992-2022-2-4-397>. (in Russ.)

4. Pavlov K.V., Zenkova I.V., Nikiforov S.A. Effective use of logistics centers in transportation of meat and dairy products from of belarus to foreign markets. *Economy and Finance (Uzbekistan)*. 2023; 3: 38–48. DOI: https://doi.org/10.34920/EIF/VOL_2023_IS-SUE_3_6. (in Russ.)

5. Živičnjak M., Rogić K., Bajor I., Case-study analysis of warehouse process optimization. *Trans-*

portation Research Procedia. 2022; Vol. 64: 215–223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.09.026>.

6. Burganova N., Grznar P., Gregor M., Mozol Š. Optimisation of Internal Logistics. *Transport Time Through Warehouse Management: Case Study, Transportation Research Procedia*. 2021; Vol. 55: 553–560. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.021>.

7. Santos O.M., Hernández-González J.C., Román-del-Valle M.A. Application of Simulation in the Management of the Operational Warehouse, A Systematic Literature Review Hernández. *Saudi Journal of Engineering and Technology Abbreviated Key Title: Saudi J Eng Technol*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.36348/sjet.2024.v09i10.003>

8. Abideen A., Fazeeda B. M. Improving the performance of a Malaysian pharmaceutical warehouse supply chain by integrating value stream mapping and discrete event simulation. *Journal of Modelling in Management*, 2021: 70–102. DOI: <https://doi.org/10.1108/JM2-07-2019-0159>.

9. Moreno R.P.R., Lopes R.B., Ferreira J.V., Ramos A.L., Correia D.A Study of the Main Mathematical Models Used in Mobility. Storage, Pickup and Delivery in Urban Logistics. *A Systematic Review. Systems* 2024; 12: 374. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems12090374>

10. Murav'eva N.A. Approach to the classification of technological processes in transportation and warehousing logistics systems. *Vestnik of Saratov State Technical University*. 2013; 2, no 2(71): 316–318. (in Russ.)

11. Protopopov N.D. Optimization solution for automotive component logistics. *Vestnik Rossijskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhny'e sistemy: modeli, analiz i upravlenie*. 2021; 2: 45–55. DOI 10.255. (in Russ.)

12. Xoruzhenko E.S., Mochalin S.M. Planning of transport and warehouse costs when organizing deliveries by machine shipments. *Omsk Scientific Bulletin*. 2015; 3(139): 258–261. (in Russ.)

13. Levina A.B., Yakunina Yu.S., Trofimenko E.Yu. Assessment of the Level of Logistisation of Trade Enterprises. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika. Journal of Volgograd State University. Economics*. 2024; vol. 26, no. 3: 134–148. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2024.3.11>

14. Aravindaraj K., Rajan Chinna P. A systematic literature review of integration of industry 4.0 and warehouse management to achieve Sustainable Development Goals (SDGs). *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 2022; vol. 5: 100072. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100072>.

15. Leon J.F., Li Y., Martin X.A., Calvet L., Panadero J., Juan A.A. A Hybrid Simulation and Reinforcement Learning Algorithm for Enhancing Efficiency in Warehouse Operations. *Algorithms*. 2023; 16: 408. <https://doi.org/10.3390/a16090408>.

16. Razumovsky A.V., Saramud M.V., Pikalov Y.Y. The algorithms for managing a matrix-based warehouse utilizing standardized transport and storage

cells. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*. 2023; vol. 21, no. 4: 54–70. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.25205/1818-7900-2023-21-4-54-70>

17. Zeng Y.Q., Li W.B., Li C.H. A dynamic simulation framework based on hybrid modeling paradigm for parallel scheduling systems in warehouses. *Simulation. Modelling Practice and Theory*. 2024; vol. 133: 102921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2024.102921>.

18. Trofimova L.S. The methodology of the current planning of a motor transport enterprise operation for the transportation of goods in the city. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17(2): 234–247. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-2-234-247>

19. Trofimova L.S., Pevnev N.G. Struktura metodologii tekushhego planirovaniya raboty` gruzovogo avtotransportnogo predpriyatiya. *Vestnik SibADI*. 2017; 6(58): 63–71. (in Russ.)

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Трофимова Л.С. Формирование математических уравнений для реализации разработанной целевой функции, определяющей взаимосвязь выработки склада магазинов бытовой техники и электроники с выработкой автотранспортных средств, осуществляющих перевозку товара; определение направлений дальнейших исследований для практической реализации математической модели (50%).

Социховский В.С. Результаты изучения практики работы склада магазинов бытовой техники и электроники и автотранспортных средств, осуществляющих перевозку товара; определение элементов транспортно-складских процессов для математического описания плановых показателей (50%).

CONTRIBUTIONS CO-AUTHORS

L.S. Trofimova Formation of mathematical equations for the implementation of the developed target function that determines the relationship between the output of a warehouse of household appliances and electronics stores and the output of vehicles transport-

ing goods; determination of areas for further research for the practical implementation of the mathematical model (50%).

V.S. Sotsikhovsky Results of a study of the practice of operating a warehouse of household appliances and electronics stores and vehicles transporting goods; determination of elements of transport and warehouse processes for the mathematical description of planned indicators (50%).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Трофимова Людмила Семеновна – д-р техн. наук, доц., заведующая кафедрой «Организация перевозок и безопасность движения» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, просп. Мира, д. 5).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7312-1557>,

SPIN-код: 6711-9953,

e-mail: trofimova_ls@mail.ru

Социховский Владислав Сергеевич – магистрант, направление 23.04.01 «Технология транспортных процессов» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, просп. Мира, д. 5).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9657-5735>

e-mail: Sotsikhovskiy@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Liudmila S. Trofimova – Dr. of Sci (Eng.), Head of the Organization Transportation and Traffic Safety Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (5 Prospekt Mira, Omsk, 644050).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7312-1557>,

SPIN-код: 6711-9953,

e-mail: trofimova_ls@mail.ru

Vladislav S. Sotsikhovskiy – postgraduate student, Transportation Process Management program, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (5 Prospekt Mira, Omsk, 644050).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9657-5735>

e-mail: Sotsikhovskiy@mail.ru