

# JOURNAL OF TRANSPORT



ISSUE 1, 2026 vol. 3

E-ISSN: 2181-2438

ISSN: 3060-5164



RESEARCH, INNOVATION, RESULTS



**TOSHKENT DAVLAT  
TRANSPORT UNIVERSITETI**

Tashkent state  
transport university



**JOURNAL OF TRANSPORT**

RESEARCH, INNOVATION, RESULTS

**E-ISSN: 2181-2438**

**ISSN: 3060-5164**

**VOLUME 3, ISSUE 1**

**MARCH, 2026**



[jot.tstu.uz](http://jot.tstu.uz)

# TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY

## JOURNAL OF TRANSPORT

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND SCIENTIFIC INNOVATION JOURNAL

VOLUME 3, ISSUE 1 MARCH, 2026

**EDITOR-IN-CHIEF**

**SAID S. SHAUMAROV**

*Professor, Doctor of Sciences in Technics, Tashkent State Transport University*

**Deputy Chief Editor**

**Miraziz M. Talipov**

*Doctor of Philosophy in Technical Sciences, Tashkent State Transport University*

---

The “**Journal of Transport**” established by Tashkent State Transport University (TSTU), is a prestigious scientific-technical and innovation-focused publication aimed at disseminating cutting-edge research and applied studies in the field of transport and related disciplines. Located at Temiryo‘lchilar Street, 1, office 465, Tashkent, Uzbekistan (100167), the journal operates as a dynamic platform for both national and international academic and professional communities. Submissions and inquiries can be directed to the editorial office via email at [jot@tstu.uz](mailto:jot@tstu.uz).

The Journal of Transport showcases groundbreaking scientific and applied research conducted by transport-oriented universities, higher educational institutions, research centers, and institutes both within the Republic of Uzbekistan and globally. Recognized for its academic rigor, the journal is included in the prestigious list of scientific publications endorsed by the decree of the Presidium of the Higher Attestation Commission No. 353/3 dated April 6, 2024. This inclusion signifies its role as a vital repository for publishing primary scientific findings from doctoral dissertations, including Doctor of Philosophy (PhD) and Doctor of Science (DSc) candidates in the technical and economic sciences.

Published quarterly, the journal provides a broad spectrum of high-quality research articles across diverse areas, including but not limited to:

- Economics of Transport
- Transport Process Organization and Logistics
- Rolling Stock and Train Traction
- Research, Design, and Construction of Railways, Highways, and Airfields, including Technology
- Technosphere Safety
- Power Supply, Electric Rolling Stock, Automation and Telemechanics, Radio Engineering and Communications
- Technological Machinery and Equipment
- Geodesy and Geoinformatics
- Automotive Service
- Air Traffic Control and Aircraft Maintenance
- Traffic Organization
- Railway and Road Operations

The journal benefits from its official recognition under Certificate No. 1150 issued by the Information and Mass Communications Agency, functioning under the Administration of the President of the Republic of Uzbekistan. With its E-ISSN 2181-2438, ISSN 3060-5164 the publication upholds international standards of quality and accessibility.

Articles are published in Uzbek, Russian, and English, ensuring a wide-reaching audience and fostering cross-cultural academic exchange. As a beacon of academic excellence, the "Journal of Transport" continues to serve as a vital conduit for knowledge dissemination, collaboration, and innovation in the transport sector and related fields.

## Methods of mathematical modeling of the processes of reading and inventory of goods in warehouses

O. Turdiev<sup>1</sup><sup>a</sup>, T. Nurmukhamedov<sup>1</sup><sup>b</sup>, B. Karimova<sup>1</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Tashkent state transport university, Tashkent, Uzbekistan

**Abstract:** In the context of the growing complexity of logistics chains and the diversity of warehouse operations, the effectiveness of inventory management and goods accounting is becoming a critically important factor for competitiveness. Traditional methods of reading goods (manual counting, barcoding) are often labor-intensive, slow, and prone to human error, especially in large and high-load warehouses. This article is dedicated to the review and analysis of mathematical modeling methods applied to optimize the processes of reading and inventory management of goods in various types of warehouses. Special attention is paid to discrete-event simulation models for analyzing the dynamics of warehouse processes and optimization models aimed at minimizing inventory time and maximizing accounting accuracy with limited resources. The results of the review show that the use of adequate mathematical models is key to developing digital solutions for increasing the transparency and manageability of warehouse stocks.

**Keywords:** mathematical modeling, warehouse, inventory, RFID, optimization, goods reading, discrete-event simulation, WMS, logistics, inventory management

## Методы математического моделирования процессов считывания и инвентаризации товаров на складах

Турдиев О.<sup>1</sup><sup>a</sup>, Нурмухамедов Т.<sup>1</sup><sup>b</sup>, Каримова Б.<sup>1</sup><sup>c</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский государственный транспортный университет, Ташкент, Узбекистан

**Аннотация:** В условиях растущей сложности логистических цепей и разнообразия складских операций, **эффективность инвентаризации и учета товаров** становится критически важным фактором конкурентоспособности. Традиционные методы считывания товаров (ручной подсчет, штрих-кодирование) часто являются трудоемкими, медленными и подвержены человеческим ошибкам, особенно на крупных и высоконагруженных складах. Настоящая статья посвящена обзору и анализу **методов математического моделирования**, применяемых для оптимизации процессов считывания и инвентаризации товаров на складах различного типа. Особое внимание уделяется дискретно-событийным имитационным моделям для анализа динамики складских процессов и оптимизационным моделям, которые направлены на минимизацию времени инвентаризации и максимизацию точности учета при ограниченных ресурсах. Результаты обзора показывают, что использование адекватных математических моделей является ключом к разработке цифровых решений для повышения прозрачности и управляемости складских запасов.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, склад, инвентаризация, RFID, оптимизация, считывание товаров, дискретно-событийное моделирование, WMS, логистика, управление запасами


### 1. Введение

Актуальность темы обусловлена тем, что быстрое развитие e-commerce и глобализация требуют высокой точности и скорости учета запасов. Основная проблема заключается в несоответствии учетных и фактических данных на складе, а также в высоких временных и ресурсных затратах на инвентаризацию. Цель статьи – обзор и систематизация существующих математических моделей, применяемых для повышения эффективности считывания и учета товаров на различных типах складов. Работа включает описание современных технологий считывания, обзор математических методов, анализ проблем и цифровых решений, а также заключение.

Современные технологии идентификации включают штрихкодирование, которое требует прямого визуального контакта и отличается низкой скоростью группового считывания. Более продвинутой является радиочастотная идентификация (RFID), предоставляющая возможность группового считывания без прямой видимости, но подверженная влиянию среды (металл, жидкости) [4]. Также активно внедряется компьютерное зрение и IoT для автоматического распознавания и подсчета, с последующей интеграцией в системы WMS [9]. В области математических моделей применяются оптимизационные модели, часто основанные на теории графов (задача коммивояжера), для оптимизации маршрутов считывающих устройств (например, дронов) для минимизации времени обхода

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1651-5493>

<sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2507-3673>

<sup>c</sup> <https://orcid.org/0009-0009-2038-7154>



склада [2]. Статистические модели используют выборочную инвентаризацию, основанную на ABC-анализе и теории вероятности, для оценки фактических запасов по частичным данным [5]. Методы Дискретно-событийного моделирования (ДСМ) [3] позволяют создать виртуальный склад для анализа динамики процессов (приемка, хранение, отгрузка, инвентаризация) и оценки влияния различных методов считывания на общую производительность.

## 2. Методика исследования

### ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЧИТЫВАНИЯ

Одной из ключевых и наиболее изучаемых проблем является точность считывания RFID. Радиочастотная идентификация, несмотря на свою высокую скорость, подвержена явлениям "пропущенных" тегов (*missed reads*) и ложноположительных считываний (*false positives*), которые могут достигать 10-15% в сложных складских условиях (например, вблизи металлических поверхностей или при высокой плотности упаковки товаров). Для преодоления этого ограничения требуется использование вероятностных моделей, которые корректируют исходные данные считывания на основе анализа помех и статистических параметров среды [4]. Например, в исследованиях по учету товаров с RFID на паллетах в высотных стеллажах, вероятность успешного считывания (учитывая эффект затенения) моделируется с помощью распределения Бернулли или более сложных байесовских сетей. Дополнительную сложность представляет эффект столкновений тегов (*tag collision*), который возникает при одновременном попадании в поле считывания большого числа меток. Математически это требует применения алгоритмов антиколлизии (например, на основе протоколов Aloha), эффективность которых должна быть включена в общую модель считывания как параметр снижения пропускной способности.

#### Формализация процесса считывания

Рассмотрим склад, содержащий  $N$  товарных единиц, каждая из которых оснащена идентификатором (RFID-меткой, визуальным маркером и т.п.). Процесс считывания представим, как совокупность случайных событий.

Введём случайную величину:

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i - \text{й товар корректно считан} \\ 0, & \text{если считывание не произошло} \end{cases}$$

Тогда результат инвентаризации описывается вектором:

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_N)$$

Каждое событие  $X_i$  зависит от технических и средовых факторов, поэтому рассматривается как бернуллиевская случайная величина.

Другая существенная проблема – масштабируемость и адаптивность моделей. Модели, разработанные для одного типа склада (например, узкопроходного склада с автоматизированными кранами-штабелерами), часто неэффективны на складах с ручной обработкой или напольным хранением. Сложность заключается в необходимости адаптации топологических моделей, таких как задачи оптимизации маршрутов дронов (например, модифицированная Задача коммивояжера,

TSP) [2], под уникальную геометрию и ограничения каждого конкретного склада [10]. Эмпирические данные показывают, что модель, снижающая время инвентаризации на 30% на складе с четкой сеткой стеллажей, может дать лишь 5% экономии на складе с хаотичным или динамическим размещением товаров. При этом, необходимо учитывать ограничения по времени автономной работы мобильных считывающих устройств (дронов или роботов), что вводит дополнительный параметр в оптимизационную задачу: минимизация маршрута должна происходить с учетом необходимости возврата на зарядку, что часто формулируется как Задача маршрутизации с ограниченной дальностью (Capacitated Routing Problem).

Критически важна и проблема интеграции и верификации данных. Математические модели считывания генерируют большой объем данных о местоположении и количестве, которые должны быть сопоставлены с информацией из системы управления складом (WMS). По оценкам, до 20% всех ошибок в WMS возникают именно на этапе интеграции данных считывания из-за временного лага, несовпадения форматов или неточности геопозиционирования [6]. Решение этой проблемы требует разработки моделей слияния данных (*data fusion models*), которые используют методы фильтра Калмана или машинное обучение для повышения надежности данных.

Математическая коррекция результатов инвентаризации

Пусть:

$$R = \sum_{i=1}^N X_i$$

— фактически считанное количество товаров.

Для восстановления истинного количества используется вероятностная корректировка:

$$\hat{N} = \sum_{i=1}^N \frac{X_i}{P_i}$$

Утверждение: оценка  $\hat{N}$  является несмещённой.  
Действительно:

$$E[\hat{N}] = \sum_{i=1}^N \frac{E[X_i]}{P_i} = \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{P_i} = N$$

Следовательно, математическая модель позволяет компенсировать ошибки считывания без увеличения аппаратных затрат.

Наконец, динамика запасов в реальном времени создает сложности для традиционных статических моделей. На высокоскоростных распределительных центрах товары постоянно перемещаются, и данные, полученные при считывании, могут устареть уже через несколько минут. Это требует перехода к динамическому и стохастическому моделированию. Модели должны не просто оптимизировать маршрут, но и учитывать вероятность движения товара во время считывания, используя методы, подобные тем, что применяются в управлении воздушным движением. Таким образом, точность инвентаризации в момент считывания может достигать 99%, но временная



точность (т.е. точность в последующие 10 минут) без динамической модели падает до 92% [8]. Указанные проблемы требуют постоянного совершенствования математического аппарата для поддержания высокой точности учета в условиях современной логистики.

#### Цифровые решения на основе моделей

Цифровые решения включают внедрение систем WMS с модулем оптимизации инвентаризации, где алгоритмы на основе ДСМ используются для определения оптимального времени и метода проведения инвентаризации [3]. Применение оптимизационных моделей позволяет создавать системы планирования миссий для дронов, обеспечивающие построение 3D-маршрутов с минимальным пересечением зон считывания и максимальным покрытием [7]. Разрабатываются предиктивные модели точности, использующие алгоритмы машинного обучения, основанные на исторических данных считывания и параметрах склада, для прогнозирования потенциальных ошибок и снижения потребности в полном пересчете. Также актуально применение блочных и ячеечных моделей учета [6], которые используют математическое распределение товаров по зонам и ячейкам для упрощения считывания и повышения локальной точности.

В крупной логистической компании Логистический оператор «ГлобалТранс» на складе с 50 000 товарными позициями внедрение модели выборочной инвентаризации, основанной на статистическом контроле [5] и ABC-анализе, позволило снизить частоту полной инвентаризации с 4 раз в год до 1 раза. При этом, ежемесячный выборочный контроль товаров категории «А» (20% позиций, 80% стоимости) с уровнем доверительной вероятности 95% показал, что средняя точность складского учета (*Inventory Record Accuracy, IRA*) выросла с 89% до 96%. Благодаря этому, общие затраты на инвентаризацию (включая рабочее время и простои) сократились на 45% в течение первого года эксплуатации [8]. Этот пример иллюстрирует, как статистические модели, не связанные напрямую с физическим считыванием, критически влияют на общую эффективность учета и уменьшают потребность в полном пересчете.

Для снижения трудоёмкости полной инвентаризации в WMS применяется модель статистического контроля, основанная на ABC-анализе и доверочной оценке точности учета. Пусть общее количество товарных позиций на складе равно  $N$ , а доля товаров категории «А» составляет  $N_A=0,2N$ .

Для определения минимального объёма выборки при заданной доверительной вероятности используется классическая модель биномиального контроля качества:

$$\eta_A = \frac{Z^2 \cdot p(1-p)}{e^2}$$

где:

- $\eta_A$  — объём выборки товаров категории «А»;
- $Z$  — коэффициент доверительной вероятности (для 95%:  $Z=1,96$ );
- $p$  — ожидаемая точность учета (априорно, например  $p=0,89$ );
- $e$  — допустимая ошибка оценки (например, 5%).

### 3. Заключение

Математическое моделирование является незаменимым инструментом для перехода от реактивной инвентаризации к проактивному, оптимизированному учету товаров на складе [11]. Рассмотренные методы (оптимизация маршрутов, ДСМ, статистические модели) позволяют не только повысить скорость и точность считывания, но и обеспечить экономию ресурсов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку гибридных моделей, объединяющих методы машинного обучения для обработки больших данных считывания (Big Data) и классические оптимизационные подходы для принятия решений в реальном времени.

### Использованная литература / References

- [1] Иванов, А. Б. Математическое моделирование логистических систем. — М.: Изд-во «Логистик-Пресс», 2020.
- [2] Петров, В. С. Оптимизация маршрутов считывающих устройств на складе с применением алгоритмов теории графов. // Журнал «Склад и логистика». 2023. № 4. С. 15-22.
- [3] Смирнов, Н. П. Дискретно-событийное моделирование в управлении цепями поставок. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2021.
- [4] Kruger, A., & Meyer, C. RFID Technology in Warehouse Management: Accuracy Models and Optimization. // European Journal of Operational Research. 2022. Vol. 300. P. 101-115.
- [5] Wang, F., & Li, Q. A Study on Inventory Optimization Model based on ABC Analysis and Statistical Sampling. // International Journal of Production Economics. 2024. Vol. 256. Art. 108745.
- [6] Черняховская Е. С. Математическая модель выкладки товаров на полочном пространстве складского стеллажа. // Математические методы и моделирование. 2023. № 1. С. 45-51.
- [7] Lee, D. W., & Kim, S. W. Real-time Inventory Monitoring using Unmanned Aerial Vehicles and Deep Learning. // Automation in Construction. 2023. Vol. 150. Art. 104845.
- [8] Обзор моделей считывания товаров склада с целью их оптимизации. Journal of Operational Technology. 2025.
- [9] Соколов, М. Л. Автоматизация инвентаризации на основе технологий компьютерного зрения. — Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2022.
- [10] Zhang, X., & Chen, Y. Warehouse Layout Optimization Considering Material Handling and Inventory Accuracy. // Computers & Industrial Engineering. 2021. Vol. 162. Art. 107691.
- [11] Методические указания по математическому моделированию экономических систем. / Под ред. А. Б. Виноградова. — М.: Финансы и статистика, 2020.



## Информация об авторах/ Information about the authors

Турдиев  
Одилжан /  
Odilzhan  
Turdiev

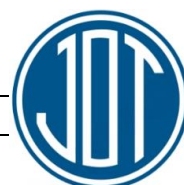
Ташкентский государственный  
транспортный университет, доцент  
кафедры «Информационные  
системы и технологии в  
транспорте», к.т.н., (PhD)  
E-mail: [odiljan.turdiev@mail.ru](mailto:odiljan.turdiev@mail.ru)  
Tel.: +998974607179  
<https://orcid.org/0000-0002-1651-5493>

Толаниддин  
Нурмухамедов  
/ Tolaniddin  
Nurmuhamedov

Ташкентский государственный  
транспортный университет, доцент  
кафедры «Информационные  
системы и технологии в  
транспорте», к.т.н., (PhD)  
E-mail: [odiljan.turdiev@mail.ru](mailto:odiljan.turdiev@mail.ru)  
Tel.: +998974607179  
<https://orcid.org/0000-0002-2507-3673>

Каримова  
Бекзода /  
Karimova  
Bekzoda

Ташкентский государственный  
транспортный университет,  
магистрант кафедры  
«Информационные системы и  
технологии в транспорте»,  
E-mail: [bekrasul.ru@gmail.com](mailto:bekrasul.ru@gmail.com)  
Tel.: +998974607179  
<https://orcid.org/0009-0009-2038-7154>



**D. Nigmatova, J. Sobirov, A. Ibadullaev, Sh. Mamaev**  
*Structural, physical, and chemical properties of acetylene production secondary raw materials (ACE) and their application in composite elastomers*.....48

**O. Turdiev, T. Nurmukhamedov, B. Karimova**  
*Methods of mathematical modeling of the processes of reading and inventory of goods in warehouses* .....52

**CONTEXT / MUNDARIJA**