

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Аламов А.У., Ситников А.В.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Мигалевич С.А. – магистр техн. наук, ст. преподаватель кафедры информатики*

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию возможностей применения методов машинного обучения для оптимизации логистических процессов. В работе рассмотрены ключевые методы машинного обучения, такие как обучение с учителем, обучение без учителя и глубокое обучение, а также их применение в прогнозировании спроса, управлении запасами, маршрутизации транспорта и автоматизации складских операций.

**Ключевые слова:** машинное обучение, логистические процессы, оптимизация логистики, прогнозирование спроса, управление запасами, маршрутизация транспорта, автоматизация складов.

**Введение.** Современные логистические системы сталкиваются с возрастающими вызовами, связанными с необходимостью повышения эффективности, снижения издержек и обеспечения высокой точности прогнозирования спроса. В условиях глобализации и роста конкуренции традиционные методы управления логистическими процессами зачастую оказываются недостаточно гибкими и адаптивными. Это обуславливает необходимость внедрения инновационных подходов, среди которых особое внимание уделяется методам машинного обучения. Данные технологии предоставляют уникальные возможности для обработки больших объемов данных и выявления скрытых закономерностей, что в свою очередь способствует оптимизации ключевых аспектов логистики, таких как управление запасами, маршрутизация транспорта и прогнозирование спроса.

Машинное обучение открывает новые возможности для автоматизации процессов и повышения их адаптивности к изменяющимся рыночным условиям. Например, использование алгоритмов классификации и регрессии помогает точно прогнозировать спрос на товары, что позволяет минимизировать излишки и избежать дефицита. Методы кластеризации применяются для сегментации рынка и оптимизации распределения товаров, а алгоритмы обучения с подкреплением эффективно решают задачи динамической маршрутизации, учитывая такие переменные, как трафик, погодные условия и другие факторы. Внедрение нейронных сетей и глубокого обучения также открывает новые горизонты для реального времени управления цепями поставок и прогнозирования нестабильностей.

В данной работе рассматриваются ключевые аспекты применения машинного обучения для оптимизации логистических процессов, анализируются его преимущества и ограничения, а также исследуются перспективы дальнейшего развития этих технологий в логистике.

**Основная часть.** Современные логистические системы функционируют в условиях высокой динамичности и неопределенности, что обусловлено глобализацией рынков, ростом ожиданий потребителей и увеличением сложности цепочек поставок. Традиционные подходы к управлению логистическими процессами, основанные на статических моделях и ручном анализе данных, зачастую не способны оперативно адаптироваться к изменяющимся условиям. Это приводит к неоптимальному использованию ресурсов, увеличению издержек и снижению уровня обслуживания клиентов. В таких условиях особую актуальность приобретают методы машинного

обучения, которые позволяют автоматизировать анализ больших объемов данных, выявлять скрытые закономерности и принимать обоснованные решения в режиме реального времени.

Вдобавок, растущая доступность вычислительных мощностей и развитие технологий сбора данных создают благоприятные условия для внедрения искусственного интеллекта в логистику. Машинное обучение открывает новые возможности для оптимизации ключевых процессов, таких как прогнозирование спроса, управление запасами, маршрутизация транспорта и планирование складских операций. Это не только способствует повышению эффективности логистических систем, но и обеспечивает их устойчивость к внешним вызовам, таким как колебания спроса, сбои в цепочках поставок и изменения рыночной конъюнктуры. Таким образом, применение методов машинного обучения становится не просто инновационным трендом, а необходимым условием для поддержания конкурентоспособности в современных условиях [1].

Машинное обучение предлагает широкий спектр методов, которые могут быть успешно применены для оптимизации логистических процессов. Одним из наиболее востребованных подходов является обучение с учителем, которое используется для решения задач прогнозирования и классификации. Деревья решений и случайные леса применяются для классификации заказов или определения приоритетов доставки, что помогает оптимизировать распределение ресурсов. Эти методы особенно полезны в условиях, где доступны исторические данные, на основе которых можно строить точные модели.

Значимую роль играют методы глубокого обучения и нейронные сети, которые демонстрируют высокую эффективность в решении сложных задач, таких как динамическая маршрутизация или прогнозирование в условиях нестабильности. Например, рекуррентные нейронные сети (*RNN*) и их модификации, такие как *LSTM* (*Long Short-Term Memory*), успешно применяются для анализа временных рядов и прогнозирования спроса с учетом сезонности, и других факторов [2]. Эти методы позволяют не только повысить точность решений, но и обеспечить гибкость логистических систем в условиях неопределенности.

Применение машинного обучения в логистике охватывает широкий спектр ключевых процессов, позволяя значительно повысить их эффективность и адаптивность. Важным направлением является прогнозирование спроса. Используя методы временных рядов, такие как *ARIMA* [3], или более сложные алгоритмы, такие как рекуррентные нейронные сети (*RNN*), компании могут с высокой точностью предсказывать будущий спрос на товары. Это позволяет оптимизировать уровни запасов, минимизировать излишки и избежать дефицита, что имеет критическое значение в условиях сезонных колебаний или нестабильности рынка.

Следующей ключевой областью применения машинного обучения является оптимизация маршрутов и управление транспортом. Алгоритмы, такие как генетические алгоритмы или методы обучения с подкреплением, позволяют оптимизировать маршруты доставки с учетом множества переменных, включая пробки, погодные условия, ограничения по времени и стоимость топлива. Оптимизация маршрутов позволяет уменьшить время доставки и снизить транспортные расходы.

Кроме этого, машинное обучение активно применяется в управлении складскими операциями. С помощью компьютерного зрения и алгоритмов глубокого обучения компании могут автоматизировать процессы сортировки, упаковки и размещения товаров на складе. Например, нейронные сети могут анализировать изображения товаров и автоматически определять их категории, что ускоряет процесс обработки заказов. Вдобавок, методы машинного обучения используются для оптимизации размещения товаров на складе, в результате сокращается время поиска и доставки товаров, что приводит к повышению эффективности складских процессов.

Перспективы развития машинного обучения в логистике связаны с дальнейшей

интеграцией передовых технологий и расширением возможностей для автоматизации и оптимизации процессов. Одной из ключевых тенденций является развитие интернета вещей (*IoT*) [4], который позволяет собирать данные с датчиков, установленных на транспорте, складах и товарах, в режиме реального времени. Это открывает новые горизонты для применения машинного обучения, например, для мониторинга состояния грузов, прогнозирования технического обслуживания транспортных средств и оптимизации маршрутов с учетом текущих условий. Комбинация *IoT* и машинного обучения позволит создавать «умные» логистические системы, способные самостоятельно адаптироваться к изменениям и минимизировать риски.

Другой перспективной областью является использование цифровых двойников (*digital twins*) – виртуальных копий физических объектов или процессов. Цифровые двойники, основанные на машинном обучении, позволяют моделировать и анализировать логистические процессы в виртуальной среде, что дает возможность тестировать различные сценарии и оптимизировать решения до их реализации в реальности.

**Заключение.** Внедрение методов машинного обучения в логистику открывает новые горизонты для повышения эффективности, снижения издержек и улучшения качества обслуживания клиентов. Современные технологии, такие как прогнозирование спроса, оптимизация маршрутов, управление запасами и автоматизация складских операций, демонстрируют значительный потенциал для трансформации традиционных логистических процессов.

Перспективы развития машинного обучения в логистике связаны с дальнейшей интеграцией передовых технологий, таких как интернет вещей (*IoT*), цифровые двойники и автономные транспортные системы. Эти инновации обеспечивают создание более гибких, устойчивых и интеллектуальных логистических систем, способных адаптироваться к меняющимся условиям.

### Список литературы

1. Woschank, M. et al. A review of further directions for artificial intelligence, machine learning, and deep learning in smart logistics. // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12.9. – P. 3760.
2. DiPietro, R. et al. Deep learning: RNNs and LSTM. // *Handbook of medical image computing and computer assisted intervention*. – 2020. – Pp. 503–519.
3. Ho, S. L., Xie, M. The use of ARIMA models for reliability forecasting and analysis. // *Computers & industrial engineering*. – 1998. – Vol. 35 – Pp. 213–216.
4. Mouha, R. A. R. A. Internet of things (IoT). // *Journal of Data Analysis and Information Processing*. – 2021. – Vol. 9.02. – P. 77.

UDC 004.80.000

## OPTIMIZATION OF LOGISTICS PROCESSES USING MACHINE LEARNING METHODS

Alamov A.U., Sitnikov A.V.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Migalevich S.A. – Master of Tech. Sci., senior lecturer at the department of computer science*

**Annotation.** The article is devoted to the study of the possibilities of using machine learning methods to optimize logistics processes. The work considers key machine learning methods, such as supervised learning, unsupervised learning, and deep learning, as well as their application in demand forecasting, inventory management, transport routing, and automation of warehouse operations.

**Keywords:** machine learning, logistics processes, logistics optimization, demand forecasting, inventory management, transportation routing, warehouse automation.