



АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК

К. Д. Демин, А. Д. Шишкова

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Глубокое обучение представляет собой метод машинного обучения, основанный на искусственных нейронных сетях с множеством слоев, позволяющих извлекать сложные паттерны из большого объема данных. Мы рассматриваем перспективность применения глубокого обучения для оптимизации логистических систем и цепей поставок. Проанализированы основные преимущества данного подхода, такие как способность обрабатывать и анализировать большие объемы структурированных и неструктурированных данных, улучшение точности прогнозирования спроса и повышение эффективности операций в логистике. Описываются различные задачи, в которых могут применяться глубокие нейронные сети, включая прогнозирование спроса, оптимизацию маршрутов доставки, управление запасами и принятие решений на основе данных.

Ключевые слова: логистика, искусственный интеллект, цепи поставок, глубокое обучение, нейронные сети.

Для цитирования:

Демин, К. Д. Анализ применения глубокого обучения для современных логистических систем и цепей поставок / К. Д. Демин, А. Д. Шишкова // Системный анализ и логистика. – 2023. – № 3(37). – с. 169 – 175. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-3-169-175.

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF DEEP LEARNING FOR MODERN LOGISTICS SYSTEMS AND SUPPLY CHAINS

K. D. Demin, A. D. Shishkova

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Deep learning is a machine learning method based on artificial neural networks with multiple layers that allow you to extract complex patterns from a large amount of data. We are considering the prospects of using deep learning to optimize logistics systems and supply chains. The main advantages of this approach are analyzed, such as the ability to process and analyze large volumes of structured and unstructured data, improving the accuracy of demand forecasting and increasing the efficiency of logistics operations. Various tasks in which deep neural networks can be used are described, including demand forecasting, optimization of delivery routes, inventory management and data-based decision-making.

Keywords: logistics, artificial intelligence, supply chains, deep learning, neural networks.

For citation:

Demin, K. D. Analysis of the application of deep learning for modern logistics systems and supply chains / K. D. Demin, A. D. Shishkova // System analysis and logistics. – 2023. – № 3(37). – p. 169 – 175. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-3-169-175.

Введение

Современные логистические системы и цепи поставок претерпевают существенное развитие и играют ключевую роль в глобальной экономике. Эти системы обеспечивают эффективное перемещение товаров и услуг от производителей к конечным потребителям. В условиях постоянно меняющихся рыночных условий, динамичных требований со стороны потребителей и усиливающейся конкуренции, эффективное управление логистическими процессами становится жизненно важным аспектом успешной деятельности предприятий.

В последнем десятилетии происходит значительный научно-технический прорыв в области искусственного интеллекта, приводящий к интенсивному использованию методов глубокого обучения в различных отраслях. Глубокие нейронные сети продемонстрировали выдающиеся результаты в анализе данных, обнаружении образов и прогнозировании сложных временных рядов. В сфере логистики применение глубокого обучения предоставляет новые



возможности для оптимизации и автоматизации управления запасами, прогнозирования спроса, планирования маршрутов доставки и других аспектов управления логистическими системами.

Таким образом, внедрение интеллектуальных логистических сред способно обеспечить эффективные и экономичные решения для логистических компаний. На сегодняшний день, в некоторых важных исследовательских работах изучались методы доставки с использованием интеллектуальной логистики, также в нескольких работах обсуждалась эффективность интеллектуальных операций доставки с использованием передовых технологий, таких как искусственный интеллект (AI), методы многоцелевой оптимизации и Интернет вещей (IoT) [1]. Далее мы подробно рассмотрим данные аспекты.

Системы доставки с применением искусственного интеллекта

Интеллектуальные системы в логистике обязаны эффективно удовлетворять трем важнейшим аспектам. В первую очередь, это требования к процессу доставки. Во-вторых, они должны соответствовать потребностям динамичного сотрудничества и операционного процесса [2]. Объединяя и удовлетворяя эти аспекты, интеллектуальные системы в логистике способствуют повышению эффективности и координации.

Основной вызов, препятствующий бесперебойному проведению логистических операций, связан с определением наиболее оптимального маршрута. Этот вызов можно разделить на три ключевых аспекта:

- попытка избежать пересечения маршрутов: путь доставки не должен пересекаться с другими видами логистической деятельности, чтобы предотвратить конфликты и задержки;
- минимизация времени доставки: необходимо сокращать время доставки, чтобы соответствовать целям уменьшения времени ожидания клиентов и повышения оперативности всей системы;
- улучшение традиционных алгоритмов: традиционные алгоритмы должны быть усовершенствованы, чтобы преодолеть ограничения, связанные с проблемой выбора наиболее краткого пути.

Таким образом, интеллектуальные логистические системы обязаны удовлетворять высоким стандартам эффективности, особенно в условиях стремительного роста онлайн-продаж, и обеспечивать динамичную координацию всех заинтересованных сторон.

Рассмотрим динамику влияния технологий за 2022-2023 годы. Диаграммы, приведенные ниже, отображают эти тенденции в отрасли цепей поставок.

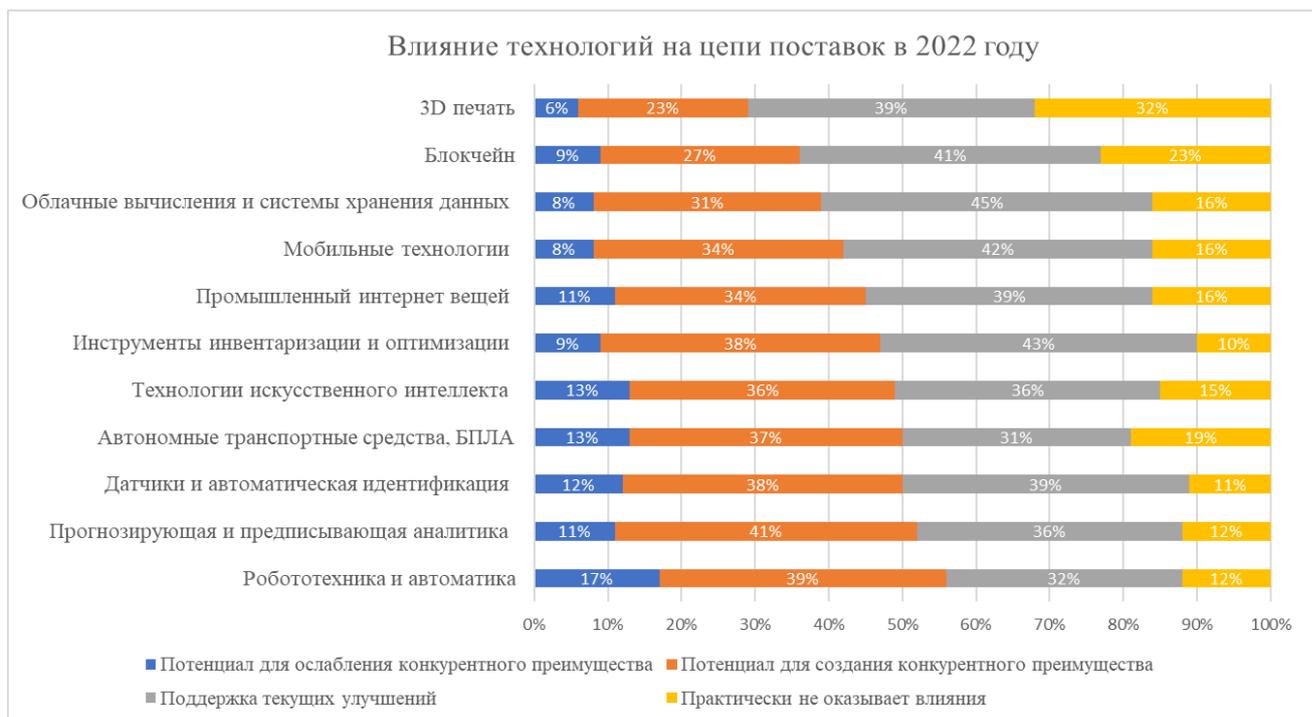


Рис. 1. Влияние технологий на цепи поставок в 2022 году

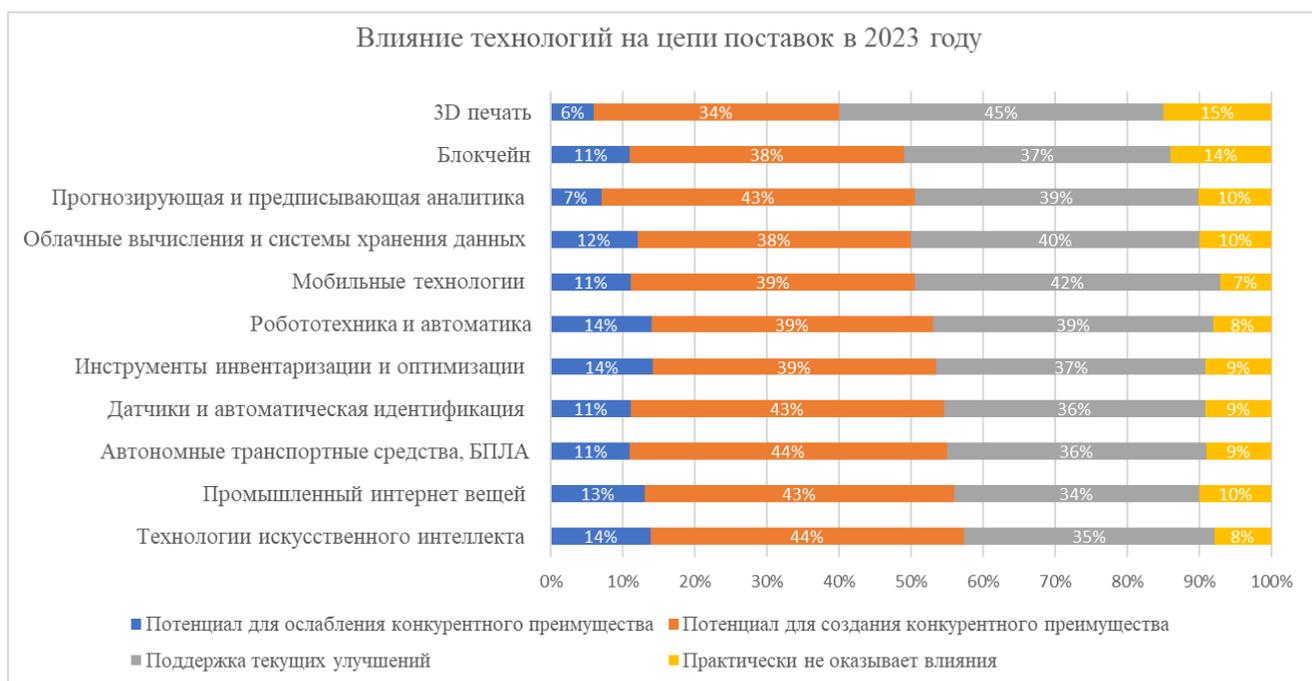


Рис. 2. Влияние технологий на цепи поставок в 2023 году

За последний год мы наблюдаем значительное увеличение спроса к искусственному интеллекту. Этот интерес проявляется в увеличении запросов на ИИ-решения, а также в заметном расширении инвестиций и исследовательских усилий в данной области.



Обзор применения алгоритмов глубокого обучения в системе доставки

Как было сказано ранее, основная проблематика состоит из трёх аспектов:

- попытка избежать пересечения маршрутов;
- минимизация времени доставки;
- улучшение традиционных алгоритмов.

Рассмотрим подходы к применению глубокого обучения более детально.
Избегание пересечения маршрутов.

Анализ движения и данных о маршрутах:

Глубокое обучение может использоваться для анализа больших объемов данных о движении транспортных средств, таких как GPS-данные и записи маршрутов. Нейронные сети могут обучаться на этой информации и извлекать сложные закономерности в движении транспорта, идентифицировать наиболее плотно населенные маршруты и области, где часто возникают пересечения.

Прогнозирование потенциальных конфликтов:

Глубокие нейронные сети могут прогнозировать будущие маршруты и вероятность их пересечения на основе текущего движения и прогнозов плотности движения [3].

Модели могут использоваться для создания карт риска, которые помогают операторам выбирать маршруты, минимизирующие риск конфликтов и задержек.

Минимизация времени доставки

Прогнозирование времени доставки:

Глубокое обучение может анализировать исторические данные о времени доставки на различных маршрутах, учитывая различные факторы, такие как погода, плотность движения и дорожные условия. Нейронные сети могут создавать модели, которые предсказывают оптимальные моменты отправки и маршруты, чтобы сократить время доставки [4].

Оптимизация времени ожидания клиентов:

Глубокое обучение также может учитывать требования клиентов к времени ожидания.

Модели могут принимать во внимание приоритеты клиентов и автоматически пересчитывать маршруты для минимизации времени ожидания на каждом пункте доставки.

Улучшение традиционных алгоритмов

Интеграция глубокого обучения в алгоритмы оптимизации:

Глубокое обучение может быть интегрировано в традиционные алгоритмы оптимизации маршрутов [5].

Например, нейронные сети могут служить частью функции стоимости для более точной оценки качества маршрута в алгоритмах, таких как алгоритмы Хелда-Карпа или генетической оптимизации.

Обучение с подкреплением:

Глубокое обучение может использовать методы обучения с подкреплением, чтобы учитывать долгосрочные последствия выбора маршрутов [6].

Нейронные сети могут обучаться, используя данные о результатах доставки (например, время доставки и уровень удовлетворенности клиентов), чтобы оптимизировать выбор маршрутов в будущем.

Алгоритмы глубокого обучения в системе доставки

Сегментация изображений с применением сверточных нейронных сетей (CNN)

Методика: CNN являются мощным инструментом для сегментации изображений транспортных потоков [7]. Они используются для автоматического выявления областей на изображениях, где наблюдается наибольшая активность движения.



Входными параметрами сверточного слоя являются:

- тензор размером $W_1 \times H_1 \times D_1$;
- 4 гиперпараметра: fc , fs , S , P (где fc -количество фильтров в слое, fs - высота и ширина тензора фильтров, S - шаг свертки, P -дополнение нулями).

Выходным параметром слоя является тензор размером: $W_2 \times H_2 \times D_2$,

$$\text{где } W_2 = \frac{(W_1 - fs + 2P)}{S + 1};$$

$$H_2 = \frac{(H_1 - fs + 2P)}{S + 1}$$

Применение: Путем анализа активности на дорожных снимках, CNN могут выявлять области с высокой плотностью автомобильного движения, что полезно для выделения интенсивно используемых маршрутов.

использование рекуррентных нейронных сетей (RNN) для временных рядов

Методика: RNN позволяют моделировать зависимости во временных рядах данных. Они могут анализировать изменения плотности движения на различных участках маршрутов и прогнозировать будущие движения на основе исторических данных [7]:

$$h_t = \sigma(W_h \times x_t + U_h \times h_{t-1}),$$

где h_t - скрытое состояние в момент времени t ;

x_t - входные данные в момент времени t ;

σ - функция активации;

W_h

U_h

- *Применение:* RNN могут использоваться для прогнозирования времени в пути на основе данных о движении и изменениях в нем.

и

использование графовых нейронных сетей (GNN):

Методика: GNN специализируются на анализе сложных структур данных, представляющих сеть дорог и пересечений. Они могут выявлять паттерны и связи между участками дорог, где часто возникают пробки или инциденты.

Применение: GNN позволяют более глубоко понимать структуру дорожной сети и определять факторы, влияющие на интенсивность движения [7].

в

применение сетей с механизмами внимания (Attention Networks)

Методика: Модели с механизмами внимания позволяют идентифицировать области с повышенной активностью движения, уделяя особое внимание важным деталям на изображениях.

в

$$A = \text{softmax}(Q \times K^T) \times V$$

, где Q - запрос;

K - ключ, представляющий аспекты входных данных;

V - значения, связанные с каждым ключом;

softmax - функция активации, используемая для нормализации весов.

я

Применение: Это полезно для определения пересечений, зон с наибольшими пробками и маршрутов, которые нуждаются в дополнительной оптимизации.

использование алгоритмов обучения с подкреплением (Reinforcement Learning - RL):

Методика: RL позволяет агентам обучаться выбирать действия для оптимизации целевой функции, учитывая информацию о движении и дорожной ситуации.

х

с

с

т



Применение: В контексте управления транспортными маршрутами, RL может помочь агентам (например, системам управления трафиком) выбирать оптимальные маршруты, минимизируя время в пути и улучшая общую производительность дорожной сети.

С учетом представленных выше достоинств и потенциальных сфер применения, методы глубокого обучения представляют собой существенный инструмент для улучшения производительности и эффективности логистических систем. Тем не менее, стоит подчеркнуть, что эффективная реализация данных методов на практике требует обширного доступа к избыточным объемам данных, значительной вычислительной мощности и глубокого экспертного опыта в процессе обучения и настройки глубоких нейронных сетей [8].

Заключение

Исследование применения глубокого обучения в современных логистических системах и цепях поставок указывает на потенциал данного подхода для улучшения эффективности и оптимизации логистических процессов и управления цепями поставок. Глубокое обучение способно обрабатывать большие объемы данных, обнаруживать скрытые закономерности, прогнозировать спрос и улучшать предсказательные модели. Это может быть использовано для автоматизации задач, таких как прогнозирование запасов, оптимизация маршрутов доставки, управление складами и другие.

Тем не менее, необходимо тщательно анализировать и учитывать потенциальные ограничения и риски, связанные с применением глубокого обучения, такие как сложность и требовательность к ресурсам, необходимость качественных данных, а также проблемы приватности и безопасности. При правильном применении и интеграции глубокого обучения в логистические системы и цепи поставок можно достичь существенного улучшения эффективности, снижения затрат и повышения качества обслуживания, что является значимым вкладом в дальнейшее развитие этой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sicari S. Smart transport and logistics: A node-RED implementation / S. Sicari, A. Rizzardi and A. Coen-Porisini // *Internet Technol.* – 2019. – №2. – С. 88.
2. Choi T.-M. Risk management and coordination in service supply chains: Information logistics and outsourcing / T.-M. Choi, S. W. Wallace and Y. Wang // *J. Oper. Res. Soc.* – 2016. – №2. – С. 159-164.
3. Рогулин Р. С. Прогнозирование и планирование спроса: кейс искусственного интеллекта при управлении цепочками поставок / Р. С. Рогулин // *Регион: системы, экономика, управление.* – 2023. – №1 (60). – С. 172-180.
4. Bateh D. Machine Impact in Supply Chain Management / D. Bateh // *The International Journal of Business Management and Technology.* – 2019. – №3(3). – С. 13-18.
5. Abolghasemi M. Machine Learning Applications in Time Series Hierarchical Forecasting / M. Abolghasemi, R. J. Hyndman, G. Tarr & C. Bergmeir // *Journal arXiv (Computer Science, Mathematics).* – 2019. – С. 1-12.
6. Tsukasa D. Inventory management of new products in retailers using model-based deep reinforcement learning / Demizu Tsukasa, Fukazawa Yusuke, Morita Hiroshi // *Expert Systems with Applications.* – 2023. – №229. – С. 134-147.
7. Mediavillaa M. A. Review and analysis of artificial intelligence methods for demand forecasting in supply chain management / Mario Angos Mediavillaa, Fabian Dietricha, Daniel Palma // *Procedia CIRP.* – 2022. – №107. – С. 1126–1131.
8. Almuet M. Z. Intelligent agent framework for knowledge acquisition in supply chain management / M. Z. Almuet & F. Zawaideh // *International Journal of Scientific & Technology Research.* – 2019. – №8 (9). – С. 1984–1994.
9. Турдубаев С.К. Цифровизация транспортной сети - тренд современной логистики / С. К. Турдубаев, З. М. Кенешбаева, И. У. Давыдов // *Вестник.* – 2022. – №1 (25).



– С. 194-201.

10. Issaoui Y. An Advanced System to Enhance and Optimize Delivery Operations in a Smart Logistics Environment / Y. Issaoui, A. Khiat, K. Haricha, A. Bahnasse and H. Ouajji // IEEE Access. – 2022. – №10. – С. 6175-6193.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Демин Константин Дмитриевич –

Студент магистратуры

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: kostyadyomin@gmail.com

Шишкова Александра Дмитриевна –

Студент магистратуры

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: alexandrashishkova27@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Demin Konstantin Dmitrievich –

Graduate student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: kostyadyomin@gmail.com

Shishkova Aleksandra Dmitrievna –

Graduate student

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: alexandrashishkova27@gmail.com