

ОБЗОР ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

А.Ю. Ключин, А.Ю. Смирнов

© Ключин А.Ю., Смирнов А.Ю., 2026

***Аннотация.** В статье показано, что для государственных органов, городских планировщиков и бизнеса важным становится внедрение интеллектуальных систем, которые дают возможность принимать решения в реальном времени и адаптироваться к меняющимся условиям. Отмечено, что необходимо всесторонне использовать области применения нейросетевых методов в транспортных задачах, анализировать преимущества и ограничения таких подходов.*

***Ключевые слова:** транспортная система, бизнес-процессы, интеллектуальные транспортные системы, нейросети.*

В последние десятилетия транспортная система (ТС) городов и стран переживает значительную трансформацию под влиянием урбанизации, роста мобильности населения и объемов грузоперевозок. Увеличение числа транспортных средств, плотность движения и усложнение логистических цепочек приводят к ухудшению пропускной способности дорог, большим затратам времени на дорогу, росту энергопотребления и выбросов вредных веществ, а также повышают риск аварий. Одновременно с этим развиваются цифровые технологии: повсеместно появляются сенсоры и телематические устройства, доступно огромное количество данных (от счетчиков трафика и GPS-треков до видеопотоков с уличных камер и данных из систем управления перевозками). Эти данные открывают новые возможности для управления транспортом, но требуют соответствующих инструментов для их анализа и использования [1].

Актуальность выбранной темы обусловлена сочетанием трех факторов: значительного увеличения объемов данных в ТС; необходимости повышения эффективности, безопасности и экологичности ТС; быстрого развития архитектур нейросетей (например, сверточных сетей для обработки изображений, рекуррентных сетей и трансформеров для временных рядов, графовых нейронных сетей для моделирования дорожной сети, а также методов обучения для задач управления) [2].

В реальных условиях транспортные задачи становятся более сложными. К числу прикладных задач относят [3]:

1. Оптимизацию маршрутов (Routing Problem).

Пример: найти кратчайший или наименее затратный маршрут доставки. Это задача коммивояжера, задача маршрутизации транспорта с ограничениями по времени и грузоподъемности (Vehicle Routing Problem, VRP).

2. Управление транспортными потоками.

Пример: задачи прогнозирования загруженности дорог, модели распределения потоков (Wardrop Equilibrium), управление светофорными циклами для минимизации заторов.

3. Задачи пассажирских перевозок.

Пример: планирование расписаний автобусов, поездов, авиарейсов, балансировка загрузки маршрутов в часы пик.

4. Задачи грузоперевозок и складской логистики.

Пример: оптимизация распределения грузов по складам, минимизация «пустых пробегов» грузового транспорта, планирование мультимодальных перевозок (авто + ж/д + морской транспорт).

5. Задачи безопасности и мониторинга.

Пример: выявление нарушений (например, опасного вождения), использование системы видеонаблюдения для анализа дорожной обстановки.

Приведем классические методы решения транспортных задач, применявшиеся до эпохи искусственного интеллекта:

1. Линейное программирование – для задач распределения ресурсов.

2. Графовые алгоритмы (алгоритм Дейкстры, Беллмана – Форда) – для нахождения кратчайших путей.

3. Эвристики и метаэвристики (генетические алгоритмы, муравьиные колонии, имитация отжига) – для сложных задач маршрутизации.

4. Математическая статистика – для прогнозирования пассажиропотоков и спроса.

Данные методы сталкиваются с проблемами масштабируемости (при росте числа транспортных узлов задачи становятся вычислительно непосильными); динамичности (классические модели плохо учитывают изменяющиеся условия (например, пробка, возникшая внезапно); сложности данных (современные транспортные системы генерируют мультимодальные данные GPS, видео, сенсоры, которые плохо укладываются в простые математические модели).

Все вышеописанные ограничения стали предпосылкой для применения нейронных сетей и других методов искусственного интеллекта [5].

Нейросети позволяют обрабатывать данные в реальном времени; учитывать нелинейные зависимости между факторами (например, влияние погоды на движение); адаптироваться к динамическим изменениям

дорожной ситуации; анализировать сложные типы данных (изображения, временные ряды, графы).

Искусственные нейронные сети (ИНС) – это математические модели, вдохновленные принципами работы нервной системы человека. Простейший вид сети – перцептрон, предложенный Ф. Розенблаттом в 1958 году. Настоящий прорыв произошел с развитием многослойных сетей и алгоритма обратного распространения ошибки (backpropagation) в 1980-е годы, что позволило обучать глубокие сети (deep learning). Сегодня глубокие нейронные сети стали основой для компьютерного зрения, обработки речи, анализа данных и транспортных приложений.

Рассмотрим архитектуры нейросетей и их применимость [6].

Различные типы нейросетей лучше подходят для разных типов транспортных данных.

1. Полносвязные сети (Multilayer Perceptron).

Применение: простые задачи прогнозирования (например, предсказание спроса на такси в городе).

Особенности: каждая нейронная единица связана со всеми элементами предыдущего слоя.

Недостатки: плохо масштабируются на сложные данные (изображения, временные ряды).

2. Сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks, CNN).

Основная идея: использование сверток для выделения признаков из изображений.

Применение в ТС: распознавание дорожных знаков; обнаружение автомобилей и пешеходов на видео; анализ состояния дорог (ямы, разметка).

Пример: система компьютерного зрения в беспилотных автомобилях.

3. Рекуррентные сети (Recurrent Neural Networks, RNN) и LSTM (Long Short-Term Memory).

Особенность: наличие «памяти», учитывающей последовательность данных.

Применение в ТС: прогнозирование пробок по временным рядам; анализ последовательности GPS-координат; прогноз спроса на общественный транспорт.

Модификации: LSTM и GRU, решающие проблему «затухающего градиента» и хорошо работающие с долгосрочными зависимостями.

4. Трансформеры.

Принцип: механизм внимания (attention), позволяющий модели выделять наиболее важные элементы в последовательности.

Применение в ТС: долгосрочное прогнозирование пассажиропотоков; анализ мультимодальных данных (например, GPS + метеоданные + + расписания).

Преимущество: трансформеры уже вытесняют RNN в задачах прогнозирования временных рядов.

5. Графовые нейронные сети (Graph Neural Networks, GNN).

Особенность: данные представляются в виде графа (узлы и связи).

Применение в ТС: моделирование дорожной сети (узлы – перекрестки, ребра – дороги); прогнозирование трафика на транспортных сетях; анализ логистических цепочек.

Пример: GNN применяются для построения интеллектуальных навигационных систем.

6. Обучение с подкреплением (Reinforcement Learning, RL).

Принцип: агент взаимодействует со средой, получает награду за правильные действия и штраф за ошибочные.

Применение в ТС: управление светофорами для минимизации заторов; навигация беспилотных автомобилей; планирование маршрутов грузового транспорта в реальном времени.

Пример: DeepMind разрабатывает RL-модели для оптимизации движения в умных городах.

Проанализируем возможности нейросетей в транспортных задачах [7].

1. Работа с большими данными. Нейросети способны обучаться на огромных массивах данных (от GPS-треков такси до видеопотоков с тысяч камер).

2. Выявление скрытых закономерностей. Классические методы часто предполагают линейные зависимости, тогда как нейросети могут находить нелинейные и сложные паттерны.

3. Прогнозирование в реальном времени. Обработка данных потокового характера позволяет строить модели, предсказывающие загруженность дорог или спрос на транспортные услуги.

4. Интеграция мультимодальных данных. Нейросети могут объединять разные типы данных: временные ряды (трафик), изображения (камеры), текст (отчеты о ДТП), графы (дорожные сети).

5. Адаптивность. Сеть может переобучаться по мере поступления новых данных, подстраиваясь под изменяющиеся условия (например, сезонность пассажиропотока).

Рассмотрим области применения нейросетей в ТС [8].

1. Прогнозирование трафика.

Одной из наиболее востребованных задач является предсказание транспортных потоков.

Требуется определить, как изменится интенсивность движения на дороге или перекрестке через определенное время. На вход подаются данные о загруженности в предыдущие моменты, данные с датчиков, камеры, GPS-информация.

Используемые методы: RNN/LSTM – анализируют временные ряды трафика; трансформеры – показывают лучшие результаты при долгосрочном прогнозировании; GNN – моделируют дороги как граф и учитывают пространственные связи.

Пример применения: система прогнозирования пробок на основе GNN, позволяющая снизить среднее время поездки на 10–15 % и предоставляющая данные для систем навигации.

Достигаются следующие практические эффекты:

сокращение времени поездки за счет выбора альтернативного маршрута;

оптимизация работы служб такси;

снижение выбросов CO₂ благодаря уменьшению времени простоя в пробках.

2. Оптимизация маршрутов.

Классическая задача маршрутизации транспорта (VRP) в условиях реального города становится крайне сложной из-за динамики пробок и ограничений по времени доставки.

Используемые подходы: обучение с подкреплением (RL) – агент обучается выбирать оптимальные маршруты, минимизируя время и затраты; гибридные модели (нейросети + алгоритмы графов) – сначала вычисляется базовый путь (например, алгоритмом Дейкстры), затем нейросеть корректирует его в реальном времени.

Пример применения: компании быстрых доставок грузов применяют нейросети для оптимизации маршрутов доставки посылок с учетом трафика и времени работы клиентов, что позволяет снизить затраты на логистику на 12 %.

3. Управление общественным транспортом.

Общественный транспорт – важнейший элемент городской мобильности. Эффективность его работы зависит от грамотного планирования расписаний и маршрутов.

Используемые подходы: LSTM для прогнозирования; RL для оптимизации.

Примеры применения:

1) прогнозирование пассажиропотока на базе LSTM и трансформеров, которые предсказывают количество пассажиров на конкретном маршруте в зависимости от времени суток, дня недели и сезона. Это позволяет увеличивать количество автобусов в часы пик и сокращать рейсы в «мертвые» часы;

2) оптимизация расписаний с помощью RL, дающая возможность адаптировать расписание автобусов и поездов метро, чтобы уменьшить время ожидания, повысить загруженность рейсов и сократить количество «пустых» поездок;

3) системы управления интервалами движения на базе нейросетей, анализирующие данные с валидаторов и видеонаблюдения, чтобы автоматически корректировать интервалы.

4. Логистика и грузоперевозки.

Логистика – это один из наиболее капиталоемких секторов, где нейросети дают значительный экономический результат.

Используемые методы: CNN и компьютерное зрение – для контроля загрузки складов (распознавания грузов, автоматической инвентаризации); LSTM и трансформеры – прогнозирования спроса и планирования поставок; RL – распределения транспорта в реальном времени.

Примеры применения:

1) активное использование нейросетей компаниями для управления складами, оптимизации складских запасов и прогнозирования спроса, что позволяет быстрее обрабатывать заказы;

2) планирование мультимодальных маршрутов (морской + ж/д + автотранспорт);

3) прогнозирование спроса на перевозки;

4) маршрутизация грузовиков с учетом пробок и окон доставки;

5) минимизация «пустых пробегов».

5. Беспилотный транспорт.

Одним из самых ярких направлений применения нейросетей в транспорте является разработка автономных автомобилей.

Используемые методы: восприятие окружающей среды (Perception); CNN – для распознавания объектов (машин, пешеходов, светофоров); Segmentation Networks – для выделения дорожной разметки, бордюров и препятствий.

Примеры применения:

1) прогнозирование поведения участников движения. Трансформеры и RNN предсказывают траектории движения соседних автомобилей и пешеходов;

2) принятие решений и планирование движения. Обучение автомобиля безопасному и эффективному вождению (RL);

3) интеграция данных. Использование датчиков LiDAR, камер и радаров совместно (sensorfusion), чтобы нейросети могли объединять разные источники информации;

4) использование CNN автопроизводителями для анализа изображений с камер;

5) применение гибридных архитектур CNN+LSTM для прогнозирования поведения участников движения;

6) тестирование беспилотников с использованием RL для принятия решений.

6. Интеллектуальное управление дорожным движением.

Кроме отдельных автомобилей и компаний, нейросети применяются в масштабах городских транспортных систем.

Используемые методы: RL – в умных светофорах для управления фазами сигналов с целью сокращения числа пробок; CNN – в интеллектуальных системах мониторинга для обработки потока с камер в целях подсчета автомобилей.

Примеры применения:

1) повсеместное внедрение в городах системы управления светофорами с использованием RL в целях сокращения времени ожидания автомобилей на перекрестках на 25 %, а также уменьшения выбросов на 20 %;

2) прогнозирование ДТП на основе исторических данных, выявление опасных участков дороги.

Таким образом, можно назвать основные преимущества применения нейросетей:

1. Высокая точность прогнозов при анализе больших массивов транспортных данных.

2. Способность учитывать множество факторов (время суток, погодные условия, дорожные происшествия).

3. Адаптивность: нейросеть обучается на новых данных и подстраивается под изменения в транспортной системе.

4. Возможность применения в реальном времени (например, использование беспилотных автомобилей).

Рассмотрим также ограничения применения нейросетей:

1. Огромные объемы данных для обучения.

2. Высокая вычислительная сложность, ввиду чего необходимо мощное оборудование.

3. Проблема «черного ящика» (сложно объяснить, почему нейросеть приняла то или иное решение).

4. Уязвимость к ошибкам и некорректным входным данным.

Итак, применение нейронных сетей позволяет существенно повысить эффективность ТС, сократить затраты и улучшить безопасность движения. Однако при всех преимуществах остаются недостатки, заключающиеся в необходимости наличия больших вычислительных ресурсов, трудностях интерпретации решений и высокой зависимости от качества данных.

В перспективе ожидается более широкое распространение нейросетевых технологий в транспортной сфере, особенно в сочетании с умными городами и интернетом вещей. Можно предположить, что в будущем они станут базовым инструментом для управления транспортными системами и повседневными перевозками.

Библиографический список

1. Вельможин А.В., Гудков В.А., Миротин Л.Б. Теория транспортных процессов и систем: учебник для вузов. М.: Транспорт, 1998. 167 с.
2. Бураков М.В. Нейронные сети и нейроконтроллеры: учебное пособие. СПб.: ГУАП, 2013. 284 с.
3. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А.В. Колесников [и др.]. М.: ИПИ РАН, 2011. 295 с.
4. Власов А.А. Адаптивные системы управления дорожным движением в городах: монография. Пенза: ПГУАС, 2012. 183 с.
5. Воронин В.В. Нейронные сети: модели и алгоритмы. М.: Физматлит, 2020. 256 с.
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2018. 1104 с.
7. Public Acceptance of Autonomous Vehicle Technologies: Attitudes, Behaviors, and Intentions of Users / J. Scott [et al.] // Contemporary Readings in Law and Social Justice. 2020. Vol. 12. No 1. P. 23–29.
8. Tabares S. Certified Corporations: An Approach to Tensions of Sustainable-driven Hybrid Business Models in an Emerging Economy // Journal of Cleaner Production. 2021. P. 313–322.

A REVIEW OF NEURAL NETWORK APPLICATIONS IN INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS

A.Yu. Klyushin, A.Yu. Smirnov

***Abstract.** This article demonstrates that the implementation of intelligent systems that enable real-time decision-making and adapt to changing conditions is becoming increasingly important for government agencies, urban planners, and businesses. It is noted that it is necessary to comprehensively use the areas of application of neural network methods in transport problems and to analyze the advantages and limitations of such approaches.*

***Keywords:** transportation system, business processes, intelligent transportation systems, neural networks.*

Об авторах:

КЛЮШИН Александр Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Тверь. E-mail: klalex@inbox.ru

СМИРНОВ Артем Юрьевич – студент, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», Тверь. E-mail: gastqwerty@mail.ru

About the authors:

KLYUSHIN Aleksandr Yuryevich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems, Tver State Technical University, Tver. E-mail: klalex@inbox.ru

SMIRNOV Artem Yuryevich – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: gastqwerty@mail.ru

УДК 004.021

ТРАНСФОРМАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОДАЖАМИ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПЛАТФОРМЫ НА БАЗЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В.А. Комиссаров, В.Н. Богатиков, А.Ю. Ключин

© Комиссаров В.А., Богатиков В.Н.,
Ключин А.Ю., 2026

***Аннотация.** В статье показано, что в условиях цифровой трансформации экономики информационно-аналитические системы управления продажами становятся критическим фактором конкурентоспособности предприятий. Возрастающие объемы клиентских данных и необходимость быстрого принятия решений и персонализации взаимодействия требуют внедрения интеллектуальных систем автоматизации продаж.*

***Ключевые слова:** информационно-аналитические системы управления продажами, бизнес-процессы, интеллектуальные системы, искусственный интеллект.*

Исследования показывают, что предприятия с внедренными информационно-аналитическими системами управления продажами (ИАСУП) демонстрируют рост эффективности продаж на 25–50 % благодаря оптимизации бизнес-процессов, улучшению качества данных и применению предиктивной аналитики. Информационно-аналитические системы управления продажами представляют собой комплексное программно-аппаратное решение для автоматизации, анализа и оптимизации процессов взаимодействия с клиентами. Системы объединяют функции CRM (Customer Relationship Management), SFA (Sales Force Automation) и BI (Business Intelligence) [1].

Концептуальные принципы ИАСУП следующие: клиентоориентированность – персонализированный подход к каждому клиенту;