

УДК: 001.895, 004.8, 625

## О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

**Озеров А.В.**

Начальник Международного управления, АО «НИИАС»,  
E-mail: a.ozеров@vniias.ru, Москва, Россия

Главный специалист Международного управления АО «НИИАС»,  
E-mail: A.Marshova@vniias.ru, Москва, Россия

### Аннотация

В статье обсуждается проблема нехватки кадров в железнодорожной отрасли, особенно среди машинистов, и предлагается решение через автоматизацию управления движением поездов. Автоматизация позволяет снизить потребность в персонале, увеличить пропускную способность железнодорожных линий, а также повысить безопасность и энергоэффективность перевозок. Рассматривается фактор восприятия беспилотных технологий пассажирами и их отношение к различным уровням автоматизации. Обсуждается технологическая готовность решений для внедрения беспилотных систем в железнодорожной отрасли.

### Ключевые слова:

Беспилотный транспорт, уровни автоматизации, система технического зрения, искусственный интеллект, машинное обучение, датасеты, уровень технологической готовности.

**Маршова А.С.**

## ON SOME ASPECTS OF TRAIN AUTOMATION IN RAILWAY TRANSPORT

**Ozerov A.V.**

Head of International Department, JSC NIIAS,  
E-mail: a.ozеров@vniias.ru, Moscow, Russia

**Marshova A.S.**

Chief Specialist of International Department, JSC «NIIAS»,  
E-mail A.Marshova@vniias.ru, Moscow, Russia

### Abstract

The article discusses the problem of personnel shortage in the railway industry, especially among train drivers, and proposes a solution through train automation. Automation allows reducing the need for personnel, increasing the capacity of railway lines, and improving the safety and energy efficiency of transportation. The factor of perception of unmanned technologies by passengers and their attitude towards different levels of automation are considered. The technological readiness of solutions for the implementation of unmanned systems in the railway industry is discussed.

### Keywords:

Autonomous transport, grades of automation, computer vision, artificial intelligence, machine learning, datasets, technology readiness level.

Одной из значимых проблем, с которыми сталкивается сегодня железнодорожная отрасль, является недостаток кадров рабочих профессий, включая машинистов. Согласно опросу исследовательского центра портала по подбору персонала, за 2023 год спрос на железнодорожников вырос в 1,5 раза, при этом количество резюме увеличилось всего на 3% [1]. При постоянном возрастании количества перевозок нехватка локомотивных бригад может привести к переработкам, отменам поездов и снижению общего качества обслуживания. Негативные последствия недостатка кадров уже испытывают многие европейские страны. Например, в одном из регионов Германии в начале 2024 года пять процентов поездов были отменены в короткие сроки из-за нехватки машинистов [2]. В Шотландии количество отмененных поездов в один из дней достигло более 25% [3]. Планируемый в ближайшие годы выход на пенсию значительного числа машинистов, очевидно, только усугубит проблему в отсутствие достаточного количества новых сотрудников.

Одним из способов решения данной проблемы является передача управления транспортными средствами автоматическим системам. Технически обученный персонал в кабине больше не понадобится. Таким образом, движение поездов можно будет обеспечивать с меньшим количеством специалистов. Это также повышает гибкость системы, поскольку доступность поездов перестает зависеть от доступности экипажа. Системы автоматизации не только сокращают потребность в персонале, но и повышают пропускную способность за счет уменьшения интервалов между поездами и увеличение скоростей движения. Таким образом, при появлении затора можно пустить больше поездов без необходимости привлечения дополнительного персонала. В часы малоинтенсивного движения также возможно повысить частоту движения за счет введения более коротких составов. Уменьшение интервалов между поездами в беспилотных системах снижает время ожидания пассажиров и ускоряет процесс посадки/высадки, что сокращает время пребывания состава на станции.

В соответствии с классификацией, предложенной Международным союзом общественного транспорта (UITP), существует несколько уровней автоматизации движения поездов (GoA).

**GoA1:** Неавтоматизированное управление поездом

В кабине находится машинист, который отвечает за управление поездами на основе напольной или локомотивной сигнализации, открытие и закрытие дверей, наблюдение за путем и остановку поездов в случае чрезвычайной ситуации. Кроме того, автоматическая система обеспечения безопасности движения поезда (АТР) предотвращает небезопасное движение поездов в отношении сигналов и скорости поезда.

**GoA2:** Полуавтоматическое управление поездом

Автоматическая система управления по-

ездом (АТО) управляет движением поезда с помощью команд ускорения и замедления. Движение поезда контролируется системой АТР. Машинист в кабине наблюдает за путем и останавливает поезд в случае опасной ситуации. Открытие и закрытие дверей может осуществляться автоматически или выполняться машинистом.

**GoA3:** Управление поездом без машиниста

В отличие от GoA 2, в кабине нет машиниста, который следит за путем и останавливает поезд в случае опасной ситуации. На борту есть обслуживающий персонал. Безопасное отправление поезда со станции, включая закрытие дверей, может быть обязанностью обслуживающего персонала или может выполняться автоматически.

**GoA4:** Автоматическое управление поездом

В отличие от GoA 3, на борту нет обслуживающего персонала. Поэтому безопасное отправление поезда со станции, включая закрытие дверей, должно выполняться автоматически.

Среди ожидаемых преимуществ автоматизации также находится энергоэффективность. Потребление энергии в городских железнодорожных системах зависит от многих факторов, таких как подвижной состав, системы освещения и системы кондиционирования воздуха. Около 40-50% от общего потребления энергии приходится на тягу поездов [4]. Поскольку процессы ускорения, тяги и торможения управляемого автоматически поезда являются оптимизированными и не подвержены колебаниям, связанным с человеческим фактором, такие поезда действительно потребляют меньше энергии. Сообщается, что потребление энергии может быть сокращено на 30% в зависимости от степени автоматизации [5].

С точки зрения снижения эксплуатационных расходов сложно дать однозначную оценку беспилотным системам управления. Из-за высокого уровня автоматизации первоначальная стоимость таких систем намного выше традиционных. Основным источником снижения затрат представляется сокращение персонала. Упомянутая выше экономия энергии, получаемая за счет более эффективной эксплуатации поездов, также должна снизить эксплуатационные затраты. Кроме того, спрос пассажиров на системы метро возрастает с увеличением частоты движения поездов и повышением комфорта поездки [6]. Следовательно, пассажиропоток при автоматических системах управления должен увеличиться, если более короткие поезда будут следовать с увеличенной частотой.

На успешность внедрения автономных транспортных систем оказывает влияние восприятие их пассажирами. В целом восприятие беспилотных транспортных средств является положительным, тем не менее, многие отмечают важность присутствия персонала на борту для обеспечения личной безопасности пассажиров, разрешения нестандартных ситуаций, а также оказания помощи людям с ограниченными возможностями. Анализ ответов пассажиров в [7] показал высо-

кую готовность к использованию беспилотных поездов с присутствием бортпроводников (GoA3) и низкую готовность к использованию полностью автономного поезда без персонала на борту GoA4.

Многие люди могут чувствовать себя небезопасно, если движение железнодорожного транспортного средства не будет контролироваться человеком, поэтому пассажиры требуют резервной системы управления в виде удаленного машиниста-оператора [8]. При этом участники выразили опасения, что в случае инцидента операторы не смогут проанализировать ситуацию также легко и качественно, как машинист или бортпроводник, поскольку не испытывают ее сами. Таким образом, респонденты высказывали беспокойство, что удаленные операторы будут менее эффективны в решении проблемы, поскольку они находятся на расстоянии. Кроме того, участники интервью ожидали значительных задержек в разрешении инцидентов и что эти задержки будут еще больше, если потребуются вмешательства человека на месте, поскольку персоналу потребуется время, чтобы добраться до беспилотного транспортного средства. При этом важным фактором также становятся вопросы кибербезопасности при удаленном управлении поездом, так как надежная защита от кибератак и вторжений является критически важной для обеспечения безопасности пассажиров, сохранности инфраструктуры и бесперебойной работы транспортных систем.

Надежность и безопасность оцениваются как наиболее значимые аспекты качества обслуживания железнодорожного транспорта и являются важными факторами доверия к системе, как и предыдущий опыт взаимодействия с автоматизированным транспортным средством. Большинство исследований показывают высокий уровень доверия к используемым технологиям и низкий уровень обеспокоенности потенциальным риском аварий [9], [10], [11], [12], [13].

Безопасность железнодорожного транспорта зависит от различных факторов, включая физическое состояние железнодорожной системы, подвижной состав, организацию движения, а также профессиональные навыки и удовлетворительную работу сотрудников. С введением автоматических систем можно ожидать повышения показателей в каждом из этих аспектов. Автоматизация исключает человеческий фактор, связанный с утомляемостью, ошибками и непредвиденными реакциями машиниста, что повышает безопасность и надежность перевозок. Беспилотные поезда способны работать с высокой точностью и регулярностью, что оптимизирует использование инфраструктуры и улучшает организацию перевозок. Кроме того, системы мониторинга и диагностики, интегрированные в автоматизированные поезда и инфраструктуру, позволяют оперативно выявлять и анализировать технические неисправности, что сокращает время на их обнаружение и устраняет необходимость в ручном контроле. Автоматизация

также обеспечивает более равномерное и предсказуемое распределение нагрузки на рельсы и сооружения, что снижает риск преждевременного износа и повышает долговечность инфраструктурных элементов.

В целом, восприятие пассажирами автоматических поездов без машиниста зависит от множества факторов, включая уровень комфорта, безопасности и информированности о новых технологиях. По мере того, как общество привыкает к автоматизации и доверяет алгоритмам управления, восприятие таких поездов становится все более положительным. Это подтверждается успешными примерами внедрения автоматических систем в различных городах мира, где пассажиры оценили преимущества более быстрого, регулярного и удобного обслуживания.

Во всем мире преимущества беспилотных систем управления движением поездов используются при организации железнодорожных линий, функционирующих в режиме метро. На данный момент в разных странах мира более 123 автономных железнодорожных систем уже работают без персонала на борту [14], в основном это трамвайные системы и отдельные линии метрополитена. Однако эти системы находятся в закрытых сетях — либо в туннелях, либо на эстакадах, либо на изолированных маршрутах. Это означает, что для них не требуются дополнительные средства автоматического обнаружения препятствий. Напротив, при движении в открытой железнодорожной системе такие средства становятся необходимостью.

Полностью автоматизированная эксплуатация железной дороги требует широкого спектра современных технологий. Функцию человеческого глаза берут на себя современные цифровые датчики, включающие в себя радары, лидары, видеокамеры, тепловизионные камеры, ультразвуковые датчики. Полученные от датчиков данные обрабатываются при помощи методов компьютерного зрения и технологий искусственного интеллекта, позволяющих обеспечивать своевременное обнаружение и классификацию посторонних объектов на путях, а также объединяются с другими данными, такими как высокоточная цифровая карта маршрута [15].

Чтобы системы могли принимать решения и реагировать на окружающую среду, данные датчиков записываются в транспортное средство заранее, и моделируется множество сценариев, обучая систему обнаруживать железнодорожные пути, распознавать препятствия и инфраструктурные объекты, классифицировать найденные объекты, определять расстояние, выявлять аномалии. Важно подчеркнуть, что система может обнаруживать и распознавать только те объекты, на которых она была обучена, поэтому существенным вопросом остается наличие и доступность датасетов — наборов данных с датчиков, на которых размечены необходимые объекты [16]. В сфере железнодорожного транспорта количество доступных открытых датасетов значительно меньше, чем в секторе автомобиль-

ного транспорта. Ограниченный доступ к железнодорожной инфраструктуре и высокая стоимость создания качественных размеченных датасетов приводят к тому, что компании, разрабатывающие такие наборы данных, обычно не делают их общедоступными, что затрудняет автоматизацию. Среди открытых датасетов в области железнодорожного транспорта можно указать несколько [17]:

- RailSem19 – 8500 изображений железнодорожных и трамвайных сцен из 38 стран;
- FRSign – 105352 изображений французских железнодорожных сигналов, размеченных рамками;
- GERALD – 5000 изображений немецких сигналов;
- RAWPED – 26000 изображений пешеходов, размеченных рамками;
- OSDaR23 – 1534 размеченных изображений и 204091 объектов для разметки.

После получения данных от различных средств технического зрения и диагностики система автоматического управления движением поезда должна принять решение о соответствующей ситуации реакции. Для этого необходимо предусмотреть различные сценарии эксплуатации беспилотного поезда, учитывающие алгоритмы работы систем и поведение персонала в обычных и нестандартных условиях. Например, специалистами АО «НИИАС» и ОАО «РЖД» разработаны и утверждены 39 сценариев функционирования автоматической системы для Московского центрального кольца (МЦК) [18]. В ходе исследований и тестовых поездок были рассмотрены и проанализированы все возможные эксплуатационные сценарии и инциденты, а также детализированы и согласованы действия всех систем и участников процесса перевозок. Шесть сценариев описывают стандартное функционирование систем, включая отправление и прибытие электропоездов, следование по маршруту, а также посадку и высадку пассажиров. Наибольшая группа сценариев охватывает работу систем в условиях нестандартных ситуаций, таких как сход подвижного состава, проблемы с буксовыми узлами, появление препятствий на пути или наезд на человека. 16 сценариев предусматривают различные неисправности электропоезда или инфраструктуры.

Разработанные сценарии уже нашли свое применение. В последних числах августа 2024 года на МЦК впервые был запущен беспилотный электропоезд уровня автоматизации GoA3 (рис.1). Управление поездом осуществляется автоматической системой с использованием нейронных сетей, которая анализирует обстановку и принимает решение. На данном этапе машинист по-прежнему находится в кабине, выполняя функции контроля и управления дверьми при посадке и высадке пассажиров, однако впоследствии поезд будут курсировать без персонала на борту. Полностью беспилотный поезд для МЦК предполагается запустить к 2026 году, для чего необходимо осуществить перепроекти-

рование поезда, а также модернизацию инфраструктуры, на которой он будет эксплуатироваться [19].



Рисунок 1. Беспилотный электропоезд "Ласточка" на МЦК

Если рассматривать решения в области обеспечения уровня автоматизации управления движением поездов GoA3-4 с точки зрения уровня готовности технологии (УГТ), то в настоящее время в разных странах этот уровень выглядит по-разному, но применительно к странам, являющимся лидерами в этом направлении, этот уровень может оцениваться в диапазоне от УГТ6 до УГТ9.

При оценке УГТ исходят из критериев, предлагаемых в международном стандарте определения уровней технологической готовности (см. таблицу 1) [20].

Таблица 1

Уровни готовности технологии

Уровни готовности технологии	Описание
УГТ1	Исследование базовых концептов
УГТ2	Формулирование концепции технологии (решения)
УГТ3	Аналитическая апробация концепции
УГТ4	Апробация макета в лабораторных условиях
УГТ5	Апробация компонентов технологии (решения) в условиях, приближенных к реальным
УГТ6	Демонстрация прототипа в условиях, приближенных к реальным
УГТ7	Демонстрация прототипа в эксплуатационных условиях
УГТ8	Верификация технологии (решения)
УГТ9	Внедрение технологии (решения) в производство
УГТ9.1	Начало внедрения/ эксплуатации
УГТ9.2	Внедрение/ эксплуатация на ограниченном (пилотном) участке
УГТ9.3	Масштабное внедрение (тиражирование)/ эксплуатация

С учетом проведенного анализа по проектам GoA3-4 в разных странах мира, можно сделать вывод, что в основном работа на текущий момент идет по следующим направлениям:

- Демонстрация прототипа в условиях, приближенных к реальным;
- Демонстрация прототипа в эксплуатационных условиях;
- Верификация технологии (решения).

Отдельный вопрос – внедрение технологии (решения) в производство, который касается в первую очередь производителей подвижного состава и их готовности оперативно решать задачи адаптации существующих конструкций под установку новых датчиков и оборудования, а также оперативно создавать новые локомотивы без кабины машиниста.

Для полноценной комплексной оценки готовности данного инновационного решения, разумеется, должен учитываться целый ряд унифицированных параметров – обеспечивающих систем, характеризующих развитие и сбалансированность инновационного проекта, а именно:

- технологическая готовность;
- производственная готовность;
- инженерная готовность;
- организационная готовность;
- рыночная готовность.

Несмотря на важность критериев УГТ, необходимо также учитывать влияние комплекса факторов, тесно взаимосвязанных друг с другом и имеющих разный уровень зрелости: бортовое и напольное оборудование, аппаратное и программное обеспечение, безопасность и производительность беспилотных перевозок, качество и эффективность «технического зрения» при различных погодных условиях и в разное время суток, релевантность нормативно-правовой базы и т.д. Чтобы объективно оценивать УГТ, необходимо основываться на наименьшем значении уровня зрелости наиболее значимого среди перечисленных выше факторов, рассматривая его в качестве лимитирующего. Для всех беспилотных железнодорожных систем наиболее значимым фактором является безопасность перевозок, которая оказывает непосредственное влияние на оценку УГТ.

Сопоставление современных тенденций развития железнодорожной инфраструктуры разных стран мира позволяет сделать вывод о том, что уровень готовности технологии необходимо оценивать с учетом изолированности системы. Применительно к уровню автоматизации GoA4 в настоящее время можно говорить об УГТ9.1 – 9.2, если речь идет о проектах, реализуемых на территориях депо и сортировочных станций, а также на железнодорожных линиях, функционирующих в режиме, мало отличающемся от работы метро (закрытая система, по которой с заданными интервалами курсирует однородный подвижной состав). Что касается магистральных и региональных железнодорожных линий, на сегодняшний день уровень автоматизации GoA4 является для них пока что достаточно сложным

с точки зрения практической реализации. Следовательно, в этом случае речь может идти лишь об уровне автоматизации GoA3, достигшем уровня технологической готовности не выше УГТ 7 или 8.

Одновременно с этим необходимо признать высокую интенсивность проведения научных исследований и испытаний в области беспилотных железнодорожных перевозок, проходящих в настоящее время в Германии, Франции, Великобритании, Нидерландах, России, Китае, а также в ряде других стран. Количество публикаций по тематике беспилотного транспорта увеличивается как и количество патентов в данной области. В АО «НИИАС» также активно ведется интеллектуальная деятельность по направлению беспилотного управления поездами. Специалистами института было подготовлено и зарегистрировано около 40 патентов и программ для ЭВМ, написано не менее 65 научных публикаций по данной тематике.

Активный интерес к автоматизации транспорта в мире позволяет с достаточно высокой долей уверенности утверждать, что уже к 2026 году сразу в нескольких странах могут появиться пассажирские и/или грузовые поезда с уровнем автоматизации GoA3-4, выполняющие перевозки на ограниченных участках магистральных и региональных железнодорожных линий, т.е. соответствующие уровню технологической готовности УГТ9.1.

Таким образом, 2026 год может стать началом нового этапа в развитии беспилотных железнодорожных перевозок. Разработанная для получения разрешений на допуск к эксплуатации полностью автоматического подвижного состава нормативно-техническая документация и внесение соответствующих изменений в законодательство станут мощным стимулом для развития рынка бортового и напольного оборудования, а также аппаратного и программного обеспечения, необходимых для организации безопасных, энергоэффективных и высокопроизводительных беспилотных железнодорожных перевозок. Возможность участия в тендерах на поставку компонентов для железнодорожных систем с уровнем автоматизации GoA3-4 большого количества производителей оборудования не только позволит значительно снизить цены на него, но и будет способствовать появлению на рынке инновационных решений, позволяющих поднять на принципиально новый уровень технические характеристики лидаров, радаров, ультразвуковых датчиков, видеокамер и других критически важных компонентов для беспилотных поездов, а также соответствующего программного обеспечения. Это также может оказать значительное влияние на повышение инвестиционной привлекательности беспилотных железнодорожных перевозок в целом.

Что касается уровня технологической готовности УГТ9.3, означающего применение полностью беспилотных технологий на магистральных и региональных железнодорожных линиях,

делать выводы о перспективах его достижения исходя из текущего состояния отрасли преждевременно. Данный вопрос напрямую связан со сроками верификации, валидации и стандартизации решений в области беспилотных поездов в разных странах мира.

Кроме того, значительная часть железнодорожных линий во всем мире в силу ряда причиннепозволяетвпринципеповышатьуровень автоматизации выполняемых по ним перевозок

до уровня GoA3 без предварительного выполнения масштабных работ по их комплексной реконструкции и модернизации. Следовательно, наиболее критическими факторами для дальнейшего развития беспилотных перевозок на магистральных и региональных линиях являются объемы инвестиций, направляемых на модернизацию и развитие железнодорожной инфраструктуры различными странами мира.

## Список литературы

### Список литературы

1. Вакансий в железнодорожной отрасли за год стало больше в 1,5 раза [Электронный ресурс] / URL: <https://www.superjob.ru/research/articles/114209/vakansij-v-zheleznodorozhnoj-otrasli-za-god-stalo-bolshe-v-1/>.
2. Fully automated, driverless driving: A response to the shortage of skilled labour in the rail industry [Электронный ресурс] / URL: <https://digitale-schiene-deutschland.de/en/news/2024/Fullyautomateddriving>.
3. Holly Lennon ScotRail cancels hundreds of services amid driver shortage [Электронный ресурс] / URL: <https://news.stv.tv/scotland/scotrail-cancels-hundreds-of-services-amid-driver-shortage>.
4. Long T (2010) Research on metro energy management system. *Urban Mass Transit* 2:77–79.
5. Siemens (2012) Fact sheet. Corporate Communications and Government Affairs, Siemens AG, Munchen.
6. Ossent T (2010). Paris experience in driverless metro: increasing capacity, reducing costs. In: Paper presented at the proceedings of the world metrorail congress 2010, London.
7. Aurore Lemonnier, Sonia Adélé, Corinne Dionisio. Acceptability of autonomous trains with different Grades of Automation by potential users: a qualitative approach. *Travel Behaviour and Society*, 2023, 33,pp.
8. Cogan B., Tandetzki J., Milius B. Passenger acceptability of teleoperation in railways // *Future Transportation*. – 2022. – Т. 2. – №. 4. – С. 956-969.
9. Christie, D., Koymans, A., Chanard, T., Lasgouttes, J.-M., & Kaufmann, V. (2016). Pioneering driverless electric vehicles in Europe: The City Automated Transport System (CATS). *Transportation Research Procedia*, 13, 30-39. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.004>.
10. Hilgarter, K., & Granig, P. (2020). Public perception of autonomous vehicles: A qualitative study based on interviews after riding an autonomous shuttle. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 72, 226-243. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.05.012>.
11. Rehrl, K., & Zankl, C. (2018). Digibus©: results from the first self-driving shuttle trial on a public road in Austria. *European Transport Research Review*, 10(2), 51. <https://doi.org/10.1186/s12544-018-0326-4>.
12. Salonen, A.O., & Haavisto, N. (2019). Towards autonomous transportation. Passengers' experiences, perceptions and feelings in a driverless shuttle bus in Finland. *Sustainability*, 11(3), 588. <https://doi.org/10.3390/su11030588>.
13. Stark, K., Gade, K., & Heinrichs, D. (2019). What Does the Future of Automated Driving Mean for Public Transportation? *Transportation Research Record*, 2673(2), 85-93. <https://doi.org/10.1177/0361198119827578>.
14. M. Kostrzewski, A. Eliwa, A. Dawood Autonomy of urban light rail transport systems and its influence on users, expenditures, and operational costs
15. Озеров А.В., Охотников А.Л. Техническое зрение в современной системе управления движением поездов // *Интеллектуальные транспортные системы: Материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 25 мая 2023 года. Москва: Российский университет транспорта, 2023. С. 620-625. DOI: 10.30932/9785002182794-2023-620-625.*
16. Попов. П.А. Применение технологий искусственного интеллекта для железнодорожного транспорта // *Техника железных дорог. 2024. № 1 (65) С. 22-25.*
17. Subhadip K. AI-Driven Advancements: Feasibility Study of Automatic Train Operation in Mainline. DOI:10.13140/RG.2.2.35527.92328.
18. Попов П.А., Цветков А.А., Кудряшов С.В. Сценарии работы системы автоматического управления на МЦК // *Железнодорожный транспорт. 2023. № 9. С. 41-43.*
19. По МЦК пустили первую беспилотную «Ласточку» [Электронный ресурс] / URL: <https://www.rbc.ru/society/28/08/2024/66cf013d9a79472403f8e41c>. ISO 16290:2013 Space systems – Definition of the Technology Readiness Levels (TRLs) and their criteria of assessment.