

УДК: 629.06, 656.2

Мировые тенденции развития систем автоматического управления движением поездов

Global trends in the development of automatic train control systems

Охотников А.Л., Заместитель начальника Департамента, начальник Отдела, АО «НИИАС»,

E-mail: a.ohotnikov@vnias.ru, Москва, Россия

Okhotnikov A.L., Deputy Head of Department, Head of the Section, JSC «NIAS»,

E-mail: a.ohotnikov@vnias.ru, Moscow, Russia

Волкова И.А., Специалист II категории, АО «НИИАС»,

E-mail: i.volkova@vnias.ru, Москва, Россия

Volkova I.A., Specialist of the 2nd category, JSC «NIAS»,

E-mail: i.volkova@vnias.ru, Moscow, Russia



Аннотация

В статье представлен российский и зарубежный опыт развития и функционирования систем автоматического управления движением поездов (САУ ДП). Приведены основные параметры проектов по созданию беспилотных транспортных систем, такие как Thameslink, Crossrail, Digital S-Bahn, AutoHaul, VAL, ATOMIC, Mail Rail и др. Проведен анализ тенденций развития беспилотных технологий, их технических средств и программных компонентов на примере мировых производителей. Достигнутые результаты представленных проектов закладывают основу будущего развития беспилотных транспортных систем с учетом применения современных технологий в области искусственного интеллекта для повышения безопасности и эффективности перевозочного процесса.

Ключевые слова: автономный транспорт, система автоматического управления движением поездов, дистанционное управление, беспилотные транспортные системы, техническое зрение, обнаружение препятствий.



Abstract

The article presents Russian and foreign experience in the development and operation of automatic train control systems (ATCS). The main parameters of projects for the creation of unmanned transport systems, such as Thameslink, Crossrail, Digital S-Bahn, AutoHaul, VAL, ATOMIC, Mail Rail, etc. are given. The analysis of trends in the development of unmanned technologies, their technical means and software components on the example of world manufacturers is carried out. The achieved results of the presented projects lay the foundation for the future development of unmanned transport systems, taking into account the use of modern technologies in the field of artificial intelligence to improve the safety and efficiency of the transportation process.

Keywords: autonomous transport, automatic train control system, remote control, unmanned transport systems, technical vision, obstacle detection.



Введение

Беспилотные (полностью автоматические) технологии, основанные на использовании искусственного интеллекта и технического зрения, все больше находят применение в различных областях, особенно в транспортных системах. По данным аналитиков рынок автономных поездов в 2021 году оценивался в 7,89 млрд долларов США, и ожидается, что к 2027 году он достигнет 11,09 млрд долларов США при среднегодовом темпе роста в 5,85% в течение прогнозируемого периода (2022–2027 годы) [1]. Системы автоматического управления движением поездов (САУ ДП), как одно из направлений развития полной автоматизации, являются перспективными, позволят в будущем повысить гибкость и безопасность при одновременном снижении операционных затрат.

Системы автоматического управления движением поездов уже давно используются практически на всех материках, в таких странах, как Япония, Китай, Австралия, Америка и многих европейских государствах. Однако во многих странах такие системы находятся только на этапе внедрения (рис. 1). Автоматизация транспорта активно изучается в международных исследовательских инициативах и глобальных проектах, связанных с развитием железнодорожной области.

В Европе набирает обороты проект, финансируемый совместным предприятием Europe's Rail (EU-Rail), куда вошли большинство разработчиков технических средств железнодорожного транспорта и операторов инфраструктуры. В рамках проекта EU-Rail реализуется деятельность по разработке, апробации и адаптации инновационных технологий и решений в области автономного железнодорожного транспорта. Данные мероприятия проводятся в целях повышения привлекательности и конкурентоспособности европейского железнодорожного транспорта.

Такие проекты, как FP2-R2DATO, включающие в себя разработку и внедрение высокотехнологичных решений в области искусственного интеллекта и систем автоматического управления, способствуют развитию перспективных разработок и их внедрению в реальную эксплуатацию. Ожидается, что к 2025 году будут достигнуты ощутимые результаты FP2-R2DATO по ключевым темам: автоматическое управление поездом (АТО), гибридные европейские системы управления движением поездов (ETCS) 3-го уровня, подвижные блок-участки 3-го уровня, цифровые технологии (подключение 5G и стандартизированная встроенная ИКТ-платформа), а также созданы рекомендации и методы для быстрого и экономичного развертывания и миграции цифровых и автоматических (вплоть до автономных) возможностей управления поездами (DATO) по всей Европе.

Рассмотрим ряд ярких проектов, посвященных внедрению автоматического управления на рельсовом транспорте.

Проект *Mail Rail*

В 1927 году в Великобритании был реализован проект двухпутной железнодорожной линии протяженностью 10,5 км, получившей название Mail Rail [2]. Она была проложена в тоннеле и осуществляла работу по перевозке

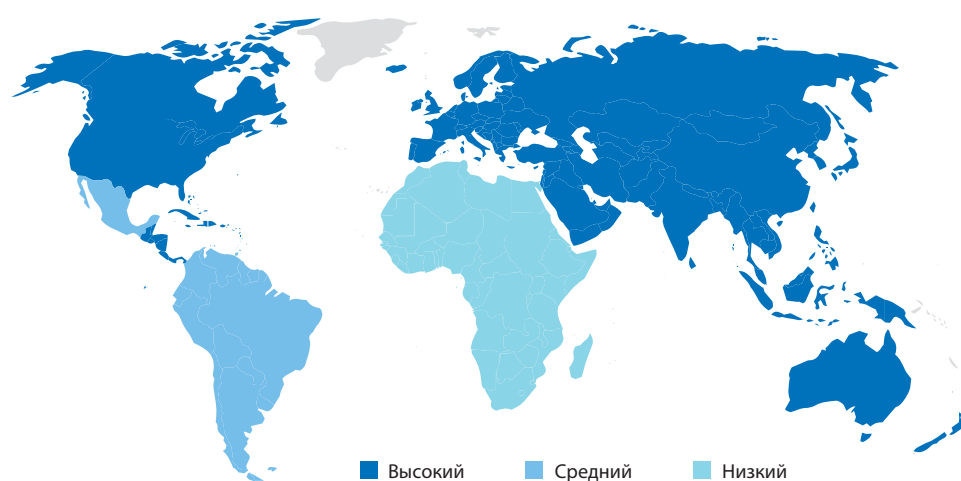


Рисунок 1. Рынок развития автономных поездов – темпы роста в 2022–2027 гг. Источник: Mordor Intelligence



Рисунок 2. Автоматическая линия Mail Rail (Лондон)

почты между почтовыми отделениями в автоматическом режиме (рис. 2). На линии расположено восемь станций, все под почтовыми отделениями.

До 1993 года регулирование железной дороги осуществлялось диспетчерами, находившимися на каждой станции. Они могли управлять действиями поезда, перенаправляя подвижной состав с одного пути на другой с помощью стрелочного перевода или совершали его полную остановку в местах выгрузки груза. Каждый перевод был оснащен электронными и механическими блокировками, а поезда электродвигателями постоянного тока, что позволяло управлять ими посредством последовательного изменения величины напряжения в контактном рельсе. После 1993 года и до 2003 года управление железнодорожной линией перешло в полностью автоматический режим с управлением от компьютера, находившегося в едином диспетчерском центре. В нынешней классификации уровней автоматизации такая конфигурация относится к уровню GoA4. Оператор осуществлял лишь контроль и, в случае возникновения инцидентов, корректировку движения поезда. Позднее линию заменили альтернативными способами доставки.

Проект *ATOMIC*

В целях предотвращения отклонений в движении графика, возникающих при малейших ошибках эксплуатации на высокоскоростных магистралях, в 1960-х гг. в Японии на базе микро-ЭВМ была разработана система ав-

>>>

товедения ATOMIC уровня автоматизации GoA2, которая обеспечивала контроль и корректировку скорости поезда. В памяти ATOMIC содержалась необходимая информация (время отправления, прибытия, следования, а также места постоянного ограничения скорости). При помощи специальных алгоритмов ЭВМ определяла необходимую для соблюдения графика движения скорость и фиксировала разницу между расчетными и фактическими показателями. Далее машина устанавливала необходимое расположение контроллера, в соответствии с чем определялся режим, по которому осуществлялось движение поезда. Представленная система обеспечила стабильный график движения, выдерживая необходимую скорость и заданное время хода с точностью ± 2 км/ч и ± 15 с соответственно, что несомненно обеспечивало потребности того времени.

Проект VAL

Автоматической системой VAL (Véhicule Automatique Léger) в 1983 году была оборудована одна из линий городского метрополитена Лилля (Франция). Протяженность линии составила 13,5 км [3]. Это была пилотная разработка компании Matra Transport International, далее вошла в концерн Siemens. Система VAL предусматривает полное отсутствие персонала на борту и обеспечивает движение поездов таким образом, что в часы наивысшей загруженности транспорта интервал следования составляет 1 минуту. Конструкция электропоездов предусматривает платформу на колесах с пневматическими шинами, а электропитание осуществляется через контактный рельс.

Вдобавок, система снабжена устройством плавного регулирования скорости и торможения. Оно состоит из двух шлейфов (двухпроводных линий передачи), один из которых предназначен для определения и фиксации скорости, а другой для торможения. В случае исчезновения сигнала в любом из них на поезде немедленно включается режим экстренного торможения. В случае остановки подвижного состава в результате неисправности, следующему за ним поезду ставится задача подъехать к неисправному поезду на низкой скорости и вытолкнуть его с главного пути. С 2006 года Siemens совместно с компанией Lohr, создает систему VAL нового поколения (NeoVAL). В проекте предусмотрены более вместительные поезда AirVAL в виде модульных конструкций и современная инфраструктура, которая предусматривает направляющую систему с одним центральным рельсом, от Translohr. Концепция VAL является предпочтительной там, где объем перевозок относительно небольшой и вагоны малых размеров могут справиться с невысоким потоком пассажиров.

Проект AutoHaul от Rio Tinto

Проект AutoHaul был запущен австралийской железнодорожной компанией Rio Tinto в 2012 году с целью создать первую автоматизированную железнодорожную сеть дальнего следования для тяжелых грузов [4]. В июле 2018 года



Рисунок 3. Тяжеловесный поезд для перевозки железной руды Rio Tinto. Источник: сайт <https://www.hitachi.com/>

автопоезд AutoHaul совершил свой первый рейс под удаленным контролем группы диспетчеров из операционного центра в Перте, находящемся на расстоянии более 1,5 км. Поезд доставил 28 000 т железной руды от шахты до порта в Западной Австралии, преодолев 300 км. Rio Tinto управляет автономным парком, состоящем из 221 большегрузных локомотивов. Для каждого локомотива, подключенного к автономной железнодорожной сети, отслеживаются состояние подвижного состава, сигналы тревоги и видео (события обнаружения столкновений, события, связанные с препятствиями на железнодорожном переезде). Состав поезда включает трехсекционный тепловоз и 240 вагонов по 106 т каждый. Длина поезда составляет 2,5 км (рис. 3). Максимизация эффективности перевозки является первоочередной задачей управления движением поездов, поэтому поезда могут отправляться после завершения загрузки без подготовки и смены локомотивной бригады.

AutoHaul основан на АТО и ETCS уровня 2. Система включает четыре основных сегмента:

- инфраструктура связи и передачи данных;
- удаленный операционный центр;
- системы управления и определения препятствий на поезде;
- устройства безопасности и сигнализации.

Благодаря отсутствию необходимости подготовки и замены локомотивных бригад гибкость графика движения возросла, а скорость беспилотных поездов увеличилась на 6% по сравнению с пилотируемыми.

Проект SNCF «Автономный поезд»

Национальный железнодорожный оператор во Франции SNCF в 2018 году запустил два проекта по созданию беспилотного поезда для разработки прототипа автономного регионального пассажирского поезда (совместно с Bombardier, Bosch, SpirOps, Thales) и для грузовых перевозок (совместно с Alstom, Altran, Hitachi, Apsys) [5]. Было объявлено о старте масштабного внедрения автоматизированных прототипов поездов в 2025 году. Дистанционное управление поездом обеспечивается работой датчиков и камер, передающих информацию на экраны и контроллеры. В ходе испытаний были опробованы две технологии передачи: спутниковое соединение и соединение LTE, эквивалентное стандарту 4G. >>>

Испытания грузового поезда Prima BB 27000 проводились в октябре 2020 года. Локомотив прошел путь в полуавтоматическом режиме на уровне GoA2.

Испытания прототипа пассажирского поезда Regio 2N проводились в два этапа: в марте и мае 2021 года. Первая серия испытаний была нацелена на исследование системы распознавания путевых сигналов и системы геолокации на базе спутниковых технологий. Датчики были включены для наблюдения за работой поезда, но не контролировали движение. Управление осуществлялось машинистом. На втором этапе поезд был оборудован тепловизионными камерами, лидаром и радарами, а также была настроена полуавтономная система ведения, управляющая ускорением и торможением. Максимальная скорость, достигнутая прототипом, составила 25 км/ч. Вывод автономного поезда на линию планируется уже в 2023 году.

Проект *Thameslink*

В коллаборации британского оператора Govia Thameslink Railway и компаний Network Rail и Siemens была разработана система автоведения, построенная на принципе работы поверх ETCS уровня 2, выполнявшей автоматическую защиту поезда с наивысшим уровнем безопасности SIL4 [6]. Запуск первого пассажирского поезда, оснащенного такой системой, состоялся в 2018 году. Состав был пропущен по центральной железнодорожной полосе Thameslink в 225 км в автоматическом режиме на уровне GoA2. При таком уровне автоматизации машинист контролирует открытие и закрытие дверей, начало движения поезда, а также общую ситуацию на железнодорожных станциях и остановочных пунктах. Поезда Thameslink не предусматривают систему управления поездом по радиоканалу (CBTC). САУ ДП работает на базе электронной карты маршрута. Информация с электронной карты синхронизируется с цифровой моделью пути, которая хранится и обновляется централизованно на сервере системы АТО. Машинисту необходимо осуществить только контроль остановки на платформе и закрытия дверей.

Проект *Digital S-Bahn*

В октябре 2018 года Deutsche Bahn и Siemens представили первые четыре поезда с полностью автоматическим движением на региональных и магистральных железнодорожных линиях Гамбурга на участке, оснащенный системой ETCS уровня 2 протяженностью 23 км [7]. Все четыре поезда находятся в регулярном пассажирском сообщении с сентября 2022 года. В дальнейшем планируется оборудование вагонов системой «АТО поверх ETCS». Машинисты присутствуют в кабине, чтобы следить за движением поезда и брать на себя управление в случае возникновения чрезвычайной ситуации. Во время маневров движение контролируется из центра управления с ролью «удаленного машиниста поезда». Графический пользовательский интерфейс информирует машиниста-оператора поезда о текущем состоянии

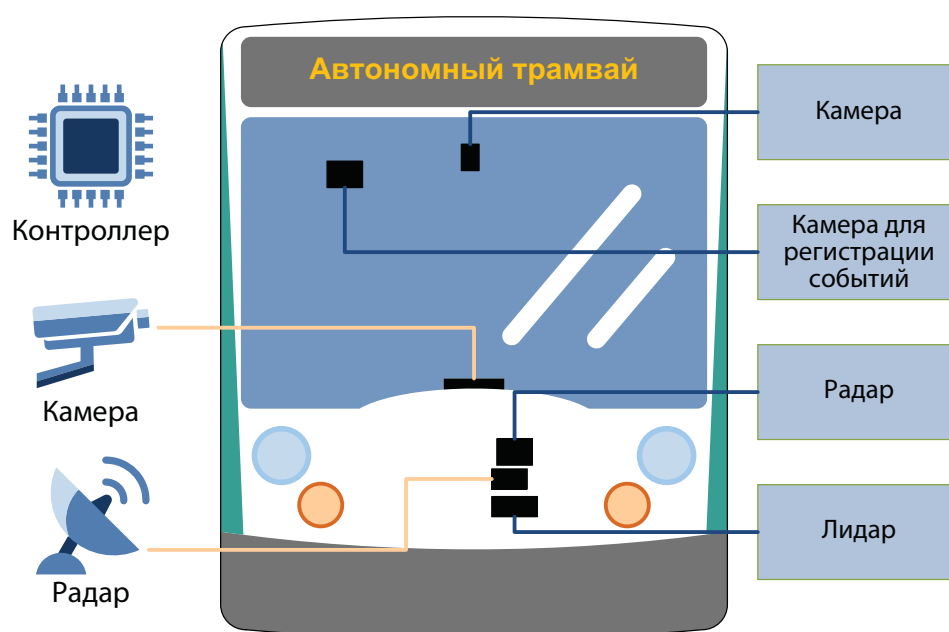


Рисунок 4. Оборудование автономного трамвая от Siemens

беспилотного транспортного средства (например, о его местоположении или скорости). В проекте предусмотрено автоматическое открывание и закрывание дверей поезда на платформах станций.

Проект *автономного трамвая* в Потсдаме

В 2018 году немецкая компания Siemens стартовала проект автономного трамвая с возможностью автоматического обнаружения препятствий в условиях эксплуатации, способного разгоняться до 50 км/ч. Различные датчики трамвая – лидары, радары, камеры – помогают собирать информацию о внешней среде, которую, используя сложные алгоритмы, анализирует искусственный интеллект (ИИ) с целью оценки и прогноза дорожной ситуации и последующей реакции на обнаруженные препятствия (рис. 4). Скорость трамвая автоматически снижается при подъезде к остановке и возрастает после совершения остановки. Проект предусматривает наличие водителя в кабине на случай непредвиденных обстоятельств.

Проект *Crossrail*

В Великобритании также частично реализован проект Crossrail новой автоматизированной железнодорожной линии Elizabeth, протяженность которой составляет 118 км [8]. Планируется, что железная дорога свяжет городские районы, а также восточные и западные пригороды Лондона. Центральная часть линии проложена через подземный тоннель под центром города. Поезда Crossrail, в отличие от проекта Thameslink, оснащены не только системой АТР, функции которой может выполнять система ETCS, но и системой CBTC. Поезда дальнего следования имеют предусмотренные системой CBTC функции АТО только внутри города (рис. 5). Открытие первого участка линии состоялось в мае 2022 года. >>>

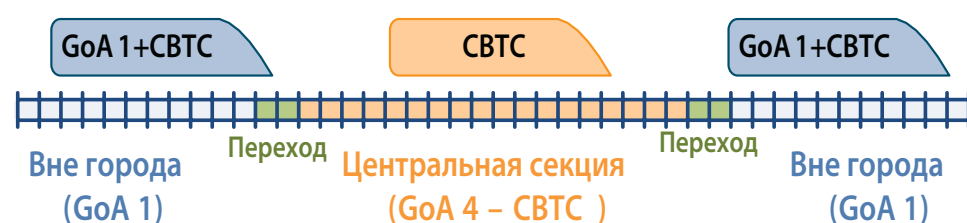


Рисунок 5. Двойная система управления поездом в проекте Crossrail

Развитие систем автоведения в Китае

В рамках подготовки к Олимпийским играм в 2022 году в Китае в эксплуатацию была введена высокоскоростная железная дорога Пекин-Чжанцзякоу CTCС уровня 3 в сочетании с АТО протяженностью 174 км, которая стала одним из крупнейших инфраструктурных проектов [9]. Сейчас китайские поезда «Фусин», движущиеся со скоростью 350 км/ч, доставляют пассажиров из одного олимпийского города в другой за время от 55 мин до 1 ч 17 мин в зависимости от числа остановок вместо привычных 3 ч. На новой высокоскоростной магистрали предусмотрена основанная на искусственном интеллекте система диспетчерского управления движением поездов, реализующая функции интеллектуального обнаружения случаев отказа и динамического диспетчерского управления. Данная система обеспечивает повышение безопасности, оперативности и качества управления поездной работой посредством полной автоматизации процесса принятия решений при возникновении сбоев, что благоприятно влияет на уровень безопасности пассажиров и соответствует высокому уровню клиентоориентированности. Дополнительно для прохода на станцию используется, совместно с электронными билетами, система сканирования удостоверения личности, а также применяется технология распознавания лица.

Проекты от JR Central, JR West и JR East

JR Central объявила о планах оснастить системой автоведения в 2028 году 16-вагонные высокоскоростные поезда Shinkansen N700S, которые с 2020 года выпускаются Hitachi Rail и Nippon Sharyo (рис. 6) [10]. Разработанный на основе более ранней конструкции серии N700, новый поезд N700S (где «S» означает «Supreme») будет включать в себя ряд новых функций. Усовершенствованные системы автоматического управления и торможения позволят сократить тормозной путь в чрезвычайных ситуациях, таких как землетрясения. Сейчас в парке перевозчика 12 таких поездов, недавно были заказаны еще 13. JR Central проводит тестовые испытания в автоматическом режиме с ноября 2021 года. Поезда могут сами регулировать скорость, выполнять торможение и остановку. При этом машинист присутствует в кабине на случай чрезвычайных ситуаций, а также для запуска поезда. В направлении беспилотных систем в Японии работает большинство крупных перевозчиков. Так, в 2022 году перевозчик JR West приступил к сертификационным испытаниям автоматического движения на уровне GoA2 на поезде серии W7, а в 2021 году другой оператор JR East провел испытания высокоскоростного поезда с уровнем



Рисунок 6. Высокоскоростной поезд Shinkansen N700S. Источник: Wikipedia

автоматизации GoA4 на кольцевой линии Яманоте в Токио протяженностью 34,5 км, состоящей из 29 станций и являющейся частью сети линий узкой колеи (1067 мм). Линия Яманоте как аналог Московского центрального кольца (МЦК) предназначена для эксплуатации в городе и ближайших пригородах. Есть предположение, что при условии возникновения неполадок такая система автоведения обеспечит более скорое восстановление движения поезда и тем самым повысит эксплуатационные показатели. Особенностью линии Яманоте является то, что она не совмещена с другими железнодорожными путями, как и МЦК.

Развитие САУ ДП в СССР

Начало развития систем автоматического управления в СССР относится к концу 1960-х годов, когда несколько линий Московского, Ленинградского, Киевского и Харьковского метрополитенов были оснащены централизованными системами управления. Разработаны новые системы автоведения поездов, позволяющие двигаться без присутствия машиниста на борту. Шлейфы и индуктивные датчики определяли локацию поездов. Так, в начале 1960-х прошли испытания системы автономного ведения поездов на метрополитене в Москве, а на одной из линий Ленинградского метрополитена была впервые произведена попытка применить комплексную систему автоматического управления (КСАУ), объединившей в себе систему автоведения и систему обеспечения безопасности движения поездов. Данная система в будущем усовершенствовалась и стала основной на нескольких станциях метро. В 1981 году КСАУ были внедрены в Москве, Ленинграде, Харькове и Ташкенте.

В дальнейшем уровень надежности и эффективности данной системы повысился благодаря развитию микропроцессорных вычислительных средств, что позволило в 1990 году провести ряд испытаний бортовых устройств в автономном режиме в харьковском метрополитене. При этом во время испытательных работ присутствовали пассажиры. В результате испытания было выявлено незначительное отклонение в заданных параметрах времени прохождения пути, не превышавшее $\pm 2,5$ с; погрешность остановки не превышала значения в 30 см [11].



Развитие САУ ДП в современной России

Компания «Российские железные дороги» входит в число организаций, которые одни из первых в мире стали разрабатывать и развивать автоматизированные железнодорожные системы, интегрированные в городскую среду и предназначенные для всеобщего использования.

Так, например, на станции Лужская в результате проведения работ по объединению элементов систем технического зрения и позиционирования с системами управления движением маневровых поездов разработан особый комплекс управления маневровыми передвижениями в зоне сортировочной станции. Данная деятельность велась с 2015 года в рамках проекта «Цифровая сортировочная станция», который является первым и довольно важным примером апробации интеллектуальных систем в ОАО «РЖД» является проект «Цифровая сортировочная станция». В настоящее время на станции Челябинск-Главный внедряется новый проект «Цифровой железнодорожной станции» с модульной архитектурой и максимальным исключением влияния «человеческого фактора» на выполнение технологических операций за счет внедрения безлюдных технологий с использованием соответствующих устройств и решений. Один из модулей станции «Модуль автоматического управления поездными и маневровыми передвижениями» будет реализовываться за счет применения технического зрения, высокоточного позиционирования с учетом формирования электронной карты, а также широкополосной системы связи.

Полученный опыт автоматического управления маневровыми локомотивами учитывался при разработке системы автоматического управления электропоездом «Ласточка». За прошедшее время на данных полигонах выполнен значительный объем испытаний и наработана платформа для практической реализации проектов автоматического управления.

В настоящее время ОАО «РЖД» на Московском центральном кольце (МЦК) создается беспилотная транспортная система, где предусмотрена интеграция электропоездов «Ласточка» с принципиально новой гибридной системой управления, а также комплекс современных инфраструктурных и бортовых технических решений [12].

Необходимость перехода к автоматизированным системам управления обусловлена увеличением нагрузки на персонал, что может потенциально привести к замедлению реакции машиниста при оценке и принятии правильных решений в связи с изменением поездной обстановки, а также увеличением случаев возникновения сбоев, вызванных несоблюдением правил и норм безопасности сотрудниками обслуживающего персонала вследствие переутомления. Поэтому важнейшими задачами в рамках реализации проекта по введению в эксплуатацию системы автоматического управления «Ласточка» уровня GoA4 на МЦК являются уменьшение межпоездного интервала до 3 мин, неукоснительное соблюдение графика движения поездов, замена человеческого фактора в управлении поездами на современные технологии управления, позволяющими управлять поездами с высокой эффективностью, скоростью и безопасностью.

Выводы

Исходя из анализа развития проектов по автоматическому управлению поездами в мире, можно с уверенностью сказать, что первыми серьезными внедрениями на железнодорожном транспорте в классическом варианте системы автоматического управления были решения советских и японских ученых, которые в 1960-х годах начали применять искусственный интеллект ЭВМ того времени для управления поездами. Элементная база тех лет не позволяла осуществлять такое управление с достаточным уровнем функциональной безопасности, но не смотря на трудности, технологические решения прошлого века позволили осуществить значительный скачок в развитии проектов автоматического управления движения поездов.

В 2000-х годах Европе и США наибольшее распространение получили системы «адаптивного» управления поездами, которые позволили поездам двигаться с разными скоростями в зависимости от плотности движения на участке. В 2020-х годах в мире стали широко использоваться технологии «умных» поездов, которые могут определять свою скорость, расстояние до препятствий, местоположение по окружающим инфраструктурным объектам с помощью сенсоров различной физической природы, навигационных датчиков и цифровой модели пути. По видам управления поездами в мире используются различные системы, такие как: PTC (*Positive Train Control*) в США, ETCS (*European Train Control System*) в Европе, CTCS (*China Train Control System*) в Китае. В целом, развитие САУ ДП в мире идет в интеграции с такими цифровыми платформами, как цифровое управление транспортом, «умные» города, интеллектуальные транспортные системы, киберфизические системы и т.д.

В России основное внимание уделяется расширению и совершенствованию существующих технических решений (высокоточное позиционирование, определение препятствий на пути следования на расстоянии свыше 500 м и т.д.) во взаимосвязи с разработкой обеспечивающих технологий (калибровка датчиков, создание цифровых моделей пути, обнаружение препятствий в зоне посадки высадки пассажиров и зонах особой важности и т.д.) в области САУ ДП, которые на сегодняшний день создают необходимые предпосылки для внедрения полностью автономных систем управления. Необходимо отметить, что при решении текущих проблем полной автоматизации появляются совершенно новые задачи, которые не имеют готовых решений или аналогов в прошлом. На повестке дня стоит вопрос доказательства функциональной безопасности новых цифровых средств, таких как системы технического зрения и искусственного интеллекта, на базе которых принимаются ответственные решения.

Основные тренды, влияющие на значительный рост рынка автономных поездов, проявляются в увеличении площади телекоммуникационного покрытия, во внедрении Интернета вещей (IoT), технического зрения и элементов искусственного интеллекта на транспорте [13]. Основной движущей силой рынка автономных поездов являются инвестиции правительств развитых стран в транспортную мобильность, проектирование конструкций новых поездов, оснащенных интеллек-



туальными системами, которые управляются с помощью цифровых технологий и должны стать полностью автономными. Появляются новые профессии операторов-машинистов, способных дистанционно контролировать все параметры поезда, а в случае аварийных ситуаций готовых взять управление на себя.

В прогнозной оценке Азиатско-Тихоокеанский регион и Северная Америка будут доминировать на рынке автономных поездов в период 2025-2030 годов. Азиатско-Тихоокеанский регион имеет одну из крупнейших железнодорожных сетей в мире, и ожидается, что рынок автономных поездов в этом регионе продемонстрирует и дальше значительный рост.

Основными тенденциями развития САУ ДП является расширение использования данных систем в различ-

ных странах, включая развивающиеся страны, которые сталкиваются с увеличением объемов перевозок и необходимостью оптимизации железнодорожной инфраструктуры. Улучшение технических возможностей систем автоматического управления поездами, включая улучшение точности и надежности, с целью увеличения пропускной способности в условиях высокой плотности трафика, внедрение более совершенных систем связи и обмена данными между поездами и центром управления, позволяет вывести на новый уровень формат управления автономными поездами. Для повышения уровня безопасности движения поездов важно продолжать создание более эффективных систем контроля и прогноза состояния, предотвращающих аварии и уменьшающих риски для пассажиров и грузов. ■

Список литературы

1. Mordor Intelligence: рынок автономных поездов – рост, тенденции, влияние Covid-19 и прогнозы (2023–2028 гг.) / URL: <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/autonomous-train-market> (дата обращения: 28.04.2023).
2. Mail Rail / URL: <https://www.postalmuseum.org/visit-us/schools/museum-visits/mail-rail-schools/> (дата обращения: 29.01.2023).
3. Политех: наука и инновации – Искусственный интеллект встал на рельсы / URL: https://research.spbstu.ru/print/news/iskusstvennyy_intellekt_vstal_na_relsy.pdf (дата обращения: 15.11.2022).
4. Heavy Haul Freight Transportation System: AutoHaul / URL: https://www.hitachi.com/rev/archive/2020/r2020_06/pdf/06a05.pdf (дата обращения: 15.11.2022).
5. SNCF. Driverless trains: on track for a rail revolution / URL: <https://www.sncf.com/en/innovation-development/innovation-research/driverless-trains-to-run-in-2023> (дата обращения: 08.12.2022).
6. Thameslink Programme – New Trains/Technology – ATO / URL: <https://www.thameslinkprogramme.co.uk/learning-legacy/new-trains-technology/ato/> (дата обращения: 29.01.2023).
7. Digital S-Bahn Hamburg: first highly automated S-Bahn in passenger service / URL: <https://digitale-schiene-deutschland.de/en/digital-S-Bahn-Hamburg> (дата обращения: 29.01.2023).
8. Crossrail Project Update / URL: <https://www.crossrail.co.uk/news/articles/crossrail-project-update> (дата обращения: 29.01.2023).
9. Железные дороги мира: развитие системы сигнализации в Китае и автоведение поездов / URL: <https://zdmira.com/articles/razvitie-sistemy-signalizatsii-v-kitae-i-avtovedenie-poezdov> (дата обращения: 28.04.2023).
10. ROLLINGSTOCK: news and trends of railway rolling stock markets / URL: <https://rollingstockworld.ru/passazhirskij-ps/jr-central-planiruet-vnedrit-sistemu-avtovedeniya-na-vysokoskorostnyh-poezdah-v-2028-godu/> (дата обращения: 28.04.2023).
11. Баранов Л.А. Автоматическое управление движением поездов метрополитена / Л.А. Баранов // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – № 3. – С. 156–165 (дата обращения: 29.01.2023).
12. Попов, П. А. Поезд без машиниста – российские перспективы / П. А. Попов, А. Л. Охотников // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 8. – С. 4-6. – DOI 10.34649/AT.2019.8.8.001. – EDN TRXKMN.
13. Охотников, А. Л. Искусственный интеллект для железной дороги / А. Л. Охотников, А. В. Зажигалкин // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – № 5. – С. 30-34. – DOI 10.34649/AT.2021.5.5.004. – EDN IFAYJK.