

УДК 629.06, 656.2

Проекты развития систем автоматического управления движением поездов

Projects for the development of automatic train control systems

Охотников А.Л., Заместитель начальника Департамента, начальник Отдела, АО «НИИАС»,
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Москва, Россия

Okhotnikov A.L., Deputy Head of Department, Head of the Section, JSC «NIIAS»,
E-mail: a.ohotnikov@vniias.ru, Moscow, Russia

Волкова И.А., Специалист II категории, АО «НИИАС»,
E-mail: i.volkova@vniias.ru, Москва, Россия

Volkova I.A., Specialist of the 2nd category, JSC «NIIAS»,
E-mail: i.volkova@vniias.ru, Moscow, Russia



Аннотация

В статье рассмотрены проекты совершенствования и адаптации элементов системы автоматического управления движением поездов (САУ ДП). Дано описание следующих проектов: TAURO, CLUG, RAILGAP, Sensors4Rails, RAILS, URV и др. Проведен анализ представленных проектов и российских технологических разработок. Основные направления проектов сосредоточены в области обеспечения безопасного использования беспилотных поездов на железнодорожном транспорте, использования технологий искусственного интеллекта, высокоточных систем позиционирования и систем технического зрения. Исследования в этих направлениях международных и отечественных производственных и научно-технологических компаний позволяют создавать современные и высокоинтеллектуальные управляющие системы на базе программно-аппаратных средств и комплексов, необходимых для организации автоматического управления движением поездов.

Ключевые слова: транспорт, система автоматического управления, дистанционное управление, автономное управление, искусственный интеллект, система технического зрения, высокоточные системы позиционирования.

Abstract

The article considers projects aimed at improving and adapting the elements of the automatic train control system. The projects such as TAURO, CLUG, RAILGAP, Sensors4Rails, RAILS, URV are described. The analysis of the presented projects and Russian technological developments is carried out. The main directions of the projects are aimed at ensuring the safe use of unmanned trains on railway transport, the use of artificial intelligence technologies, high-precision positioning systems and vision systems. Research in these areas by international and domestic manufacturing and scientific and technological companies makes it possible to create modern and highly intelligent control systems based on software and hardware and complexes necessary for the organization of automatic control of train traffic.

Keywords: transport, automatic control system, remote control, autonomous control, artificial intelligence, vision system, high-precision positioning systems.



Введение

Беспилотные технологии все шире применяются в различных областях. Исключением не стал и рынок железнодорожного транспорта. Система автоматического управления движением поездов (САУ ДП) является перспективным и снижающим зависимость от человеческого фактора направлением, которое можно применять как для организации пассажирских перевозок, так и грузовых. Существует множество примеров в доказательство этому феномену. Одним из них является, например, австралийский проект *RioTinto* по перевозке железной руды автономными поездами на расстояние до 1500 км, также широкое применение получили автоматические метропоезда в Эмиратах, Саудовской Аравии и Европе [1]. Беспилотный скоростной поезд в Китае на 174-километровом участке Пекин-Чжанцзякоу достигает максимальной скорости 385 км/ч. В беспилотном варианте перевозка пассажиров на такой скорости была осуществлена впервые.

Железнодорожные компании стали рассматривать САУ ДП как новую операционную парадигму, в будущем позволяющую повысить гибкость и безопасность при одновременном снижении операционных затрат. В мире рассматриваются три ключевых сегмента использования системы автоматического управления движением поездов: магистральный, маневровый и городской [2].

Для разработки и внедрения высокотехнологичных решений в области искусственного интеллекта (ИИ) и систем автоматического управления в ряде стран создаются проекты, способные довести перспективные разработки с использованием технологий ИИ и сенсорики до промышленного образца. Например, такие как *TAURO* – частично финансируемый Европейской комиссией через совместное предприятие *Shift2Rail* в рамках соглашения большинства европейских стран, а также стартовый в 2024 году новый проект *Europe's Rail* (EU-Rail), созданный в рамках программы *Horizon Europe* (2020-2027) и являющийся преемником совместного предприятия *Shift2Rail* [3].

Проект TAURO

Проект *TAURO* (*Technologies for Autonomous Rail Operation*), запущенный в 2020 году, является связующим проектом между *Shift2Rail* и *Europe's Rail*. Он ставит своей целью проведение исследований для определения спецификации оборудования и технологий для формирования будущего европейского автономного железнодорожного транспорта. Результаты проекта *TAURO* послужат ценным вкладом в мероприятия в области автоматического управления движением поездов и позволят проекту *EU-Rail* ускорить внедрение разработок в области технологических инноваций в железнодорожную систему Европы [4].

Одним из важных элементов проекта является разработка спецификации технологии дистанционного управления. Для трех ключевых сегментов железнодорожного транспорта были разработаны три сценария использования технологии дистанционного управления: в рамках



Рисунок 1. Элементы проекта TAURO

европейской системы управления движением поездов (ETCS), управление маневровыми локомотивами на сортировочных станциях и городскими электричками в депо.

В качестве основы для определения спецификации использовался стандарт EN 15380-4, описывающий железнодорожные транспортные средства общего назначения и их составные части [5]. Вся работа по определению спецификации была поделена на три этапа:

- анализ функциональных возможностей, подходящих для дистанционного управления;
- определение функциональных и нефункциональных требований к удаленному интерфейсу машиниста-оператора;
- выработка стандартизированного решения, обеспечивающего интероперабельность с текущими разработками в части архитектуры и интерфейсов.

Рыночная оценка, проведенная членами *Shift2Rail* в рамках проекта *TAURO*, показала, что требования к интерфейсу для оператора, осуществляющего дистанционный контроль и управление, различаются: одни предпочитают стационарное рабочее место оператора-машиниста, расположенное в центре управления, другие – мобильные переносные устройства, такие как планшет, используемые рядом с автономным объектом, в зоне его видимости. В этой связи проект архитектуры учитывает аспекты, связанные с интерфейсом и эргономикой, но ставит в приоритет обеспечение безопасности транспортного объекта в случае любого инцидента.

Система дистанционного управления в центре управления представляет собой аналог бортового комплекса, но подразделяется на серверную и пользовательскую части. Серверная часть сообщается с интерфейсом поезда через каналы широкополосной связи, которая обеспечивает соответствие необходимому уровню функциональной и информационной безопасности. Пользовательская часть предоставляет необходимые услуги, позволяющие удаленно управлять поездом как от стационарного, так и от портативного мобильного устройства. >>>

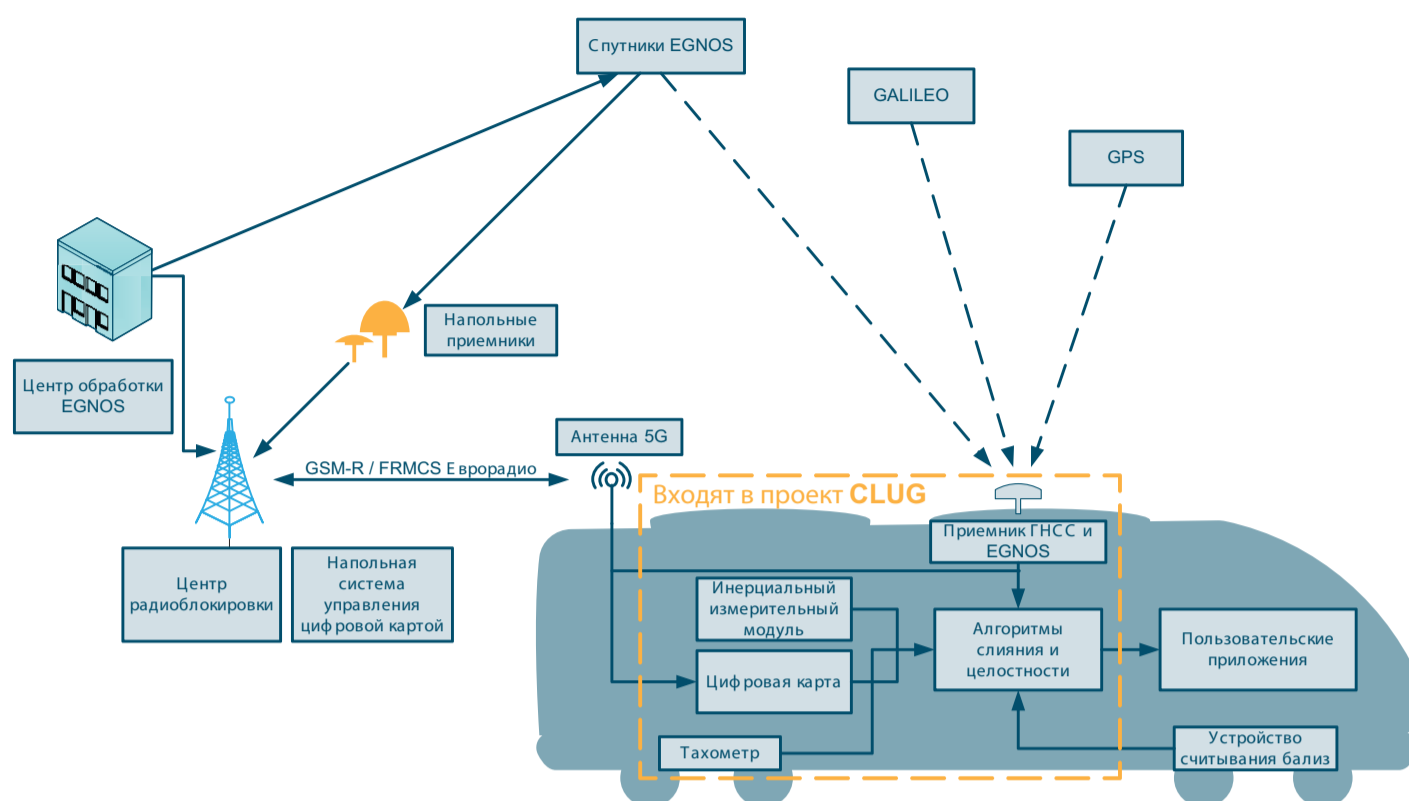


Рисунок 2. Система локализации CLUG

На январь 2023 года в проекте *TAURO* завершаются испытания по проверке алгоритмов *SLAM* (одновременного определения местоположения и картографирования) для железных дорог с использованием полного набора датчиков в качестве способа улучшения системы позиционирования поездов. Проект планируется завершить в мае 2023 года [6].

Проект CLUG

Стартовавший в 2019 году проект *CLUG* объединяет различных партнеров, которыми являются железнодорожные компании (*SNCF, DB Netz u SBB*), предприятия железнодорожной сигнализации (*CAF и Siemens*), специалисты по навигации (*Airbus Defence and Space, Naventik, FDC*), эксперты по сертификации (*Navcert*) и исследовательский институт (*ENAC*) [7]. Цель проекта состоит в изучении и оценке использования глобальной навигационной спутниковой системы (*GNSS*) для управления и обеспечения безопасности движения поездов, а также обеспечения таких приложений, как автоматическое управление движением поезда (*ATO*) или интеллектуальные системы управления железнодорожным транспортом.

В проекте применен подход, заключающийся в проверке концепции бортового блока локализации на основе данных датчиков поезда: *GNSS*, инерциального измерительного модуля (*IMU*), датчиков скорости. Используется цифровая карта, отображающая топологию пути, в том числе центральную линию железнодорожной колеи с абсолютными привязками. В системе *CLUG* используется информация от минимального количества элементов железнодорожной инфраструктуры, т.е. евробализ. Вдобавок к *GNSS* (*GPS* или *Galileo*), в качестве спутниковой системы дифференциальных поправок для повышения как безопасности, так и производительности блока локализации, используется европейская геостационарная

навигационная служба. Для определения местоположения поезда с точностью до метра при требуемых уровнях безопасности, необходимых для различных приложений, алгоритмом слияния и целостности системы локализации *CLUG* используются данные датчиков вместе с цифровой картой (Рис. 2).

Цифровая карта предоставляет необходимую информацию для алгоритма локализации (используются точки центральной линии трека с динамическими расстояниями до объектов путевого развития в 3D-координатах) [8]. Проект цифровой карты предотвращает избыточность и разработан так, чтобы карту можно было универсально расширять благодаря многоуровневой структуре и модели данных (графовая модель).

Проект RAILGAP

Несмотря на то что в целом ряде проектов используются лидары, *IMU* и *GNSS*, только в некоторых из них представлены конкретные параметры их использования в железнодорожном контексте. Кроме того, уже полученные данные и решения отвечают лишь требованиям части проектов и для широкого применения требуют значительных инвестиций. При этом в открытом доступе отсутствует какая-либо информация, касающаяся методологии проведения высокоточных геодезических съемок и создания электронных карт путем сбора данных с помощью регулярных поездов.

Цель проекта *RAILGAP* (*Railway Ground Truth and Digital Map*), стартовавшего в 2018 году, – сформулировать параметры совместного использования лидаров, *IMU* и *GNSS* в железнодорожном контексте и определить методологии применения данных, полученных от устройств и цифровых моделей пути, с целью точного позиционирования железнодорожного транспорта [9]. В частности, бортовые датчики проекта *RAILGAP* обеспечивают получение

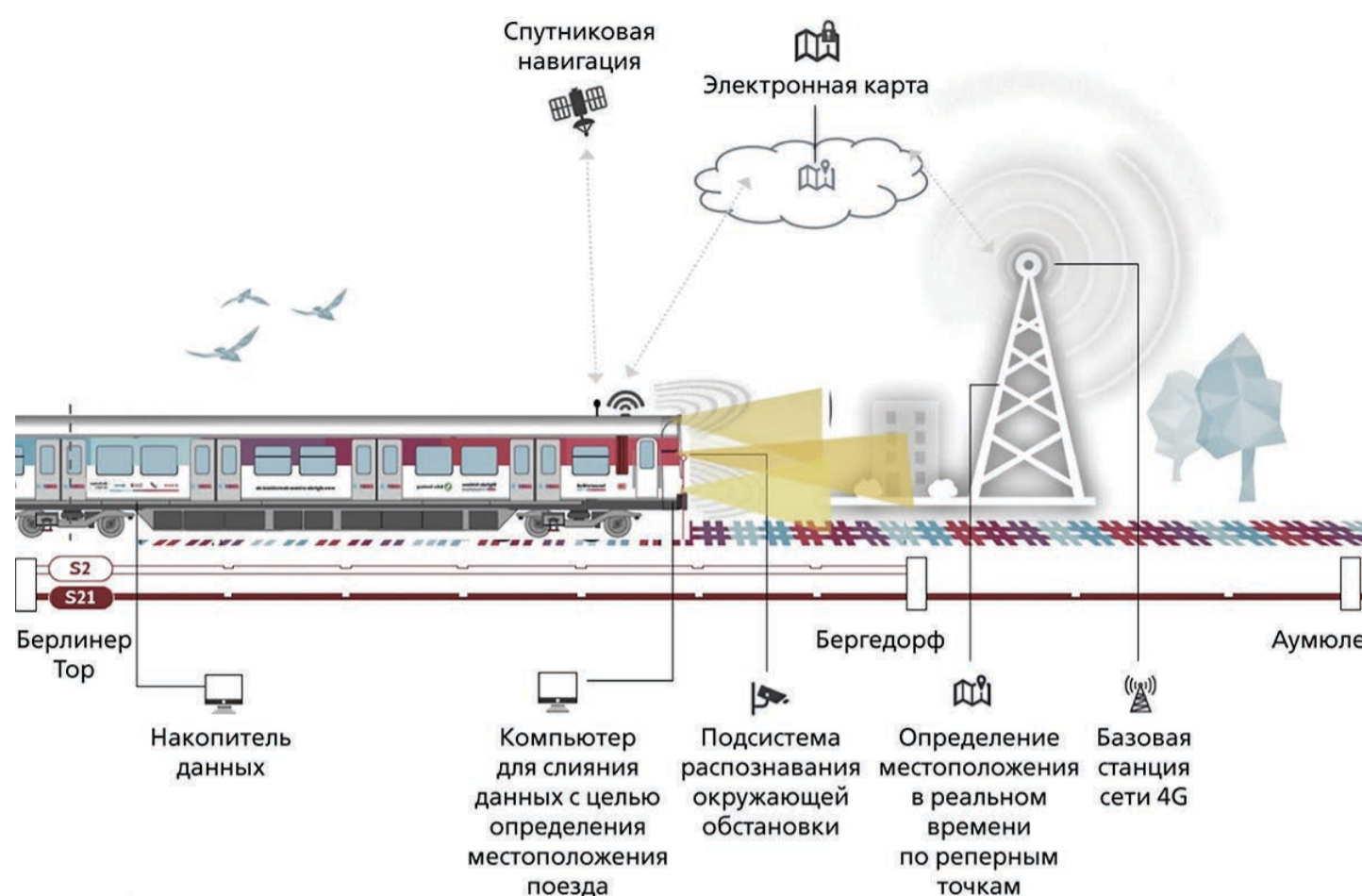


Рисунок 3. Схема реализации системы *Sensors4Rail*. Источник: сайт <https://zdmira.com>

«референсных» данных с достаточной точностью» для различных типов измеряемых параметров (координата, скорость и ускорение), что не требует установки напольного оборудования и априорного знания базы знаний путевой инфраструктуры. В рамках проекта будут разработаны передовые высокоточные цифровые карты, опорные элементы европейской *GNSS* для позиционирования поездов, а также среда верификации и валидации, что в итоге позволит осуществлять позиционирование с беспрецедентной точностью и эффективностью.

В рамках проекта планируется использовать данные разных датчиков и сенсоров различной физической природы, таких как *GNSS*, *IMU*, лидары, камеры, двухчастотная (двойная) *GPS*. *GNSS* и *IMU* являются ключом к повышению точности карт в различных сложных условиях (городская среда, туннели, кроны деревьев). Проект также нацелен на повышение эффективности европейской системы управления железнодорожным движением (*ERTMS*) и системы управления и сигнализации (*CSS*) за счет снижения энергопотребления. Координатором проекта является национальный оператор железных дорог Италии (*RFI*), принимавшая активное участие в тестировании технологии на основе *GNSS* для *ERTMS* на пилотной линии *Novara-Rho*.

АО «НИИАС» решает данную задачу путем использования бортового устройства высокоточного позиционирования, которое позволяет повысить точность и надежность позиционирования поезда в любых погодных условиях, а также в условиях нестабильного спутникового навигационного сигнала при управлении движением, в том числе в автоматическом режиме, за счет комплексирования данных навигационных параметров от сенсоров различного физического принципа действия, смежных устройств и цифровой модели пути.

Результат достигается тем, что бортовое устройство позиционирования содержит установленные на борту поезда двухканальный спутниковый навигационный приемник, инерциальный навигационный блок, состоящий из трех акселерометров и гироскопов, а также блок одометрии, состоящий из двух датчиков пути и скорости, блок обнаружения препятствий, состоящий из лидаров, видеокамер и тепловизора, образующих бортовую систему технического зрения, и вычислитель, выполняющий обработку данных и идентификацию объектов и сравнение данных с цифровой моделью пути.

Решение задачи линейной фильтрации навигационных данных для высокоточной оценки текущего положения поезда является оптимальной в среднеквадратическом аналитическом решении задачи позиционирования поезда для выбранного состава измерителей и определяется вычислителем, который передает в устройство управления поезда данные, в том числе для его точной остановки. Испытания, проведенные на Московском центральном кольце, подтвердили высокие показатели по точности определения координат, скорости и расстояний до опорных объектов на железнодорожной инфраструктуре.

Проект *Sensors4Rail*

Проект *Sensors4Rail*, созданный для разработки системы технического зрения тягового подвижного состава с целью контроля обстановки перед поездом и определения препятствий, был запущен в декабре 2020 года на железной дороге г. Гамбурга (Германия). В проекте приняли участие международные компании: *Siemens Mobility*, *Bosch Engineering*, *Ibeo Automotive Systems* и *Here Technologies* [10].



Siemens осуществляет интеграцию оборудования на подвижном составе, а также отвечает за комплексное тестирование и разработку средств точного определения местоположения головы поезда с применением спутниковой навигации (Рис. 3). Компания *Ibeo* поставляет лидары – лазерные датчики для системы технического зрения, а *Bosch* радары и инфракрасные камеры для обнаружения препятствий на средней и дальней дистанции, а также стереокамеры. *Here Technologies* готовит высокоточные электронные карты пути с указанием опорных объектов – строений, сооружений, знаков, стрелок, краев платформ и т.п., по которым можно определить положение поезда на пути с сантиметровой точностью. Телекоммуникационная компания *Vodafone* предоставляет широкополосную систему связи стандарта 4G.

Использование различных датчиков и систем для железных дорог Германии позволят повысить уровень автоматизации управления поездами до уровня *GoA4*.

Одна из важных задач проекта заключалась в интеграции в состав бортового оборудования поезда аппаратуры *Sensors4Rail* – видеокамер, тепловизоров, радаров и лидаров, системы позиционирования, а также высокопроизводительных серверов с несколькими графическими процессорами, а также хранилища данных и сети передачи со скоростью 10 Гбит/с [11].

Размещенные на кабине машиниста шесть лидаров осуществляют сканирование пространства перед поездом, формируя трехмерное облако точек в реальном времени. Тепловизор, размещенный рядом с лобовым прожектором, служит для обнаружения объектов в инфракрасном диапазоне.

Под лобовым остеклением установлены четыре камеры видимого диапазона. Одна стереокамера выдает изображение объектов ближней зоны с указанием их глубины. Еще две камеры предназначены для контроля средней (до 300 м) и дальней (до 550 м) зон железнодорожного пути. В комплект датчиков головной части поезда входят также четыре радара, применяющие ультразвук.

Бортовая подсистема определения местоположения испытательного поезда включает импульсный колесный датчик пути, оптический датчик головки рельса, инерциальный датчик и вычислительное устройство. Бортовой вычислитель осуществляет обработку данных от всех датчиков, включая подсистему распознавания окружающей обстановки. Определение местоположения поезда по сигналам спутников и одометрии сравнивается с данными эталонной карты пути, и выявленные отклонения анализируются.

В ОАО «РЖД» прошел сертификационные испытания блок обнаружения препятствий, который обеспечивает определение посторонних предметов на расстоянии не менее, чем на 600 м. В составе системы присутствуют радары, лидары, тепловизоры и видеокамеры. Система технического зрения электропоезда «Ласточка» планируется к эксплуатации в любое время года и в различных погодных условиях (дождь, снегопад, туман, в ночное время).

Проект RAILS

Общая цель исследовательского проекта «Дорожные карты по внедрению ИИ в железнодорожный сектор» (*RAILS*), проводимый в рамках инициативы *Shift2Rail*, – изучить потенциал ИИ в железнодорожном секторе и внести вклад в составлении дорожных карт будущих исследований в области создания *CSS* нового поколения, оперативного управления и безопасности [12, 13].

Проект *RAILS* направлен на определение общих положений плана перспективной интеграции ИИ в средства автоматизации, контроля, управления движением и технического обслуживания поездов. Определенно, железнодорожный транспорт имеет целый ряд особенностей в сравнении с другими отраслями, но некоторые из проблем, характерные для него, также присущи другим видам транспорта. Это касается, в частности, бортового радиоэлектронного оборудования, особенно в составе беспилотных летательных аппаратов, а также беспилотных автомобилей. В связи с этим предполагается, что результаты, полученные в других отраслях с применением таких элементов, как ИИ и др., могут быть использованы на железнодорожном транспорте. При этом ранние проекты внедрения, мотивированные необходимостью завоевания конкурентного преимущества, послужат испытательными полигонами для таких технологий, как совместное управление движением в интеллектуальных транспортных системах (ИТС), обнаружение препятствий и распознавание светофоров, которые в дальнейшем могут быть применены на железных дорогах.

Уникальность проекта заключается в том, что он предоставит платформу для изучения вышеупомянутой интеграции ИИ и железных дорог в целостной, унифицированной и последовательной структуре, рассматривая различные аспекты железнодорожной системы как взаимосвязанные, а не изолированные, что позволит вывести автоматизацию железнодорожного транспорта на новый уровень.

Проект URV

RFI представил проект, идея которого заключается в автоматизации процесса контроля линии с помощью разработки беспилотного железнодорожного транспорта (*URV*), оснащенного АТО, для обеспечения безопасности железнодорожной инфраструктуры [14]. Европейский безопасный компьютер (*EVC*) обеспечивает дополнительный уровень защиты и взаимодействует с системой мониторинга инфраструктуры в соответствии со стандартом *ERTMS/ETCS* для высокоскоростных магистралей. Система *ETCS*, напрямую подключенная к тормозной системе, защищает транспортное средство от нарушения скоростных ограничений или проезда в запрещенных местах, а системы визуального зрения, в свою очередь, распознают и собирают информацию об условиях внешней среды. С точки зрения архитектуры, функциональности, требований к безопасности и надежности, конструкция системы является сложной. Чтобы справиться со сложностью ее проектирования и оптимизации, был >>>



Рисунок 4. Архитектура беспилотной системы управления на МЦК

разработан подход к тестированию системы, основанный на формальных методах и конструировании на базе моделей по спецификации и проверки системы. Данный подход поддерживает досрочную оценку проекта, тестирование на этапах реализации, моделирование и контроль выполнения. Определены и рассмотрены четыре тестовые среды для следующих подсистем URV: сигнализация и автоматизация, модуль управления поездом, система мониторинга и видеонаблюдения. Это позволяет провести более точные испытания и лучше проверить соответствующие требования в нормальных и ухудшенных условиях эксплуатации.

Среди вариантов тестирования выделяют среду для:

- тестирования подсистемы (STE);
- тестирования интеграции подсистемы (SITE);
- тестирования на испытательном стенде (RBTE);
- пилотного тестирования в реальных условиях (PTE).

Рассмотренный подход позволит осуществлять имитационное моделирование, виртуализацию на разных уровнях поведения системы, что способствует заблаговременному выявлению и предотвращению критических проблем, связанных с безопасностью при использовании автономного транспорта.

Проект МЦК

Развитие беспилотного движения на Московском центральном кольце (МЦК) планируется осуществлять в два этапа: реализация уровня автоматизации GoA3 (с присутствием машиниста), затем GoA4 (без присутствия машиниста) (Рис. 4). На данный момент проводятся испытания двух поездов разных версий GoA3/3+. Поезда оснащены системами автоведения, обнаружения препятствий и позиционирования на инфраструктуре, а также блоком связи с центром дистанционного контроля. Прототипы могут самостоятельно следовать по энергооптимальному

графику, а также автоматически управлять торможением и остановкой в случае обнаружении препятствия.

Оснащенный в 2019 году первый поезд «Ласточка» № 113 используется только для сбора данных в информационном режиме. Он оборудован инфракрасной камерой, восьмью оптическими камерами и лидарами [15].

На основании первых тестов был разработан второй электропоезд «Ласточка» № 136, модифицированный в конце 2022 года и используемый для испытаний широкого спектра функций. Он оснащен новым набором оптических камер, лидарами и инфракрасными камерами с системой очистки, ультразвуковыми датчиками для начала движения, улучшенной системой локализации, камерами для контроля пантографа и контактной сети и системой контроля посадки и высадки пассажиров.

Выводы

Приведенные в статье основные проекты для обеспечения безопасного использования беспилотных ИТС на железнодорожном транспорте, указывают на постоянную и непрерывающуюся работу международных и отечественных производственных и научно-технологических компаний по созданию, отвечающих современным вызовам, программно-аппаратных средств и комплексов, необходимых для автоматического управления движением поездов. В сравнении с зарубежными, российские проекты показывают высокий уровень технологической готовности подразделений холдинга «РЖД» и отечественных машиностроительных компаний к созданию современных автономных поездов с элементами системы автоматического управления [16]. Комплексный подход к решению сложных технических и технологических задач, стоящих перед разработчиками, позволяет двигаться к созданию железнодорожной интеллектуальной транспортной системы. Такие системы должны обеспечить: >>>

- надежное восприятие окружающей среды для выявления всех внешних опасностей и обнаружения сигналов на пути, что позволяет на борту принимать интеллектуальные решения;
 - высокоточное позиционирование поезда;
 - надежную систему управления и мониторинга поездов;
 - безопасность грузов и пассажиров.
- Сегодня закладываются основы для дальнейшего развития беспилотных технологий, что позволит в дальнейшем автоматизировать работу магистральных линий. Это позволит повысить эффективность работы железнодорожных операторов в части безопасности, энергоэффективности и увеличения пропускной способности. ■

Список литературы

1. Озеров, А.В. Развитие систем автоматизации управления движением поездов / А.В. Озеров, В.М. Малинов, А.С. Маршова // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 3. – С. 10-15. – EDN XFNHSE.
2. Охотников, А.Л. Алгоритм выбора оборудования для систем технического зрения на железнодорожном транспорте / А.Л. Охотников // Наука и технологии железных дорог. – 2021. – Т. 5. – № 1(17). – С. 65-74. – EDN TWRACV.
3. Europes Rail Catalogue of Solutions / URL: <https://rail-research.europa.eu/wp-content/uploads/2022/09/Europes-Rail-Catalogue-of-Solutions-v4.pdf> (дата обращения: 15.11.2022).
4. Материалы конференций по проекту TAURO / URL: <https://projects.shift2rail.org/download.aspx?id=2b268677-24b0-4d86-9463-f3b1680af7a0>; <https://projects.shift2rail.org/download.aspx?id=2008f5d5-c97b-4faa-967c-ba856e1de08a> (дата обращения: 15.11.2022).
5. EN 15380-4:2014 – Railway applications – Classification system for railway vehicles – Part 4: Function groups.
6. TAURO Projects News & Events / URL: https://projects.shift2rail.org/s2r_ipx_n.aspx?p=tauro (дата обращения: 20.01.2023).
7. CLUG – A new approach to train localisation using European GNSS / URL: <https://digitale-schiene-deutschland.de/en/news/CLUG-Train-Localisation-GNSS> (дата обращения: 10.01.2023).
8. CLUG Projects: Required Digital Map for Localisation. / URL: <http://www.clugproject.eu/en/news/clug-projects-required-digital-map-localisation> (дата обращения: 10.01.2023).
9. RAILGAP IN A NUTSHELL / URL: <https://railgap.eu/download.aspx?id=870338e3-1318-4257-83f9-4b926524fe85> (дата обращения: 12.12.2022).
10. Пилотный проект цифровизации городской железной дороги Гамбурга // Железные дороги мира. – 2021. – № 5. – С. 67-71. – EDN ZTVSNT.
11. Ефремов, А.Ю. Тестирование бортовых датчиков обнаружения препятствий на железных дорогах Германии / А.Ю. Ефремов // Железные дороги мира. – 2022. – № 6. – С. 44-48. – EDN KSTGHY.
12. Flammini, F., Vittorini, V., Lin, Z., “Roadmaps for AI Integration in the Rail Sector – RAILS”, ERCIM News 2020 (121).
13. RAILS Roadmaps for A.I. Integration in the Rail Sector / URL: <https://rails-project.eu/> (дата обращения: 15.11.2022).
14. Mezzo automatizzato (URV) per il monitoraggio delle linee ferroviarie dell’AV/AC ai fini della rilevazione di criticità per la security / URL: <https://www.rfi.it/it/innovazione-e-ricerca/progetti/security.html> (дата обращения: 30.11.2022).
15. Проект беспилотной «Ласточки» на международном семинаре. Гудок. 2021. / URL: <https://gudok.ru/news/?ID=1567824> (дата обращения: 10.01.2023).
16. Автономное движение – отечественный и зарубежный опыт / А.И. Долгий, Е.Н. Розенберг, А.В. Озеров [и др.] // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 12. – С. 14-16. – DOI 10.34649/AT.2022.12.12.002.