

Машиностроение и машиноведение

УДК 681.521

doi: 10.18698/0536-1044-2022-9-3-15

Робототехнические комплексы обслуживания подвижного состава российских железных дорог

Е.А. Дудоров¹, В.В. Кудюкин², К.А. Котова¹¹ АО «Научно-производственное объединение «Андроидная техника»² АО «НИИАС»

Robotic Systems for Servicing Russian Railway Rolling Stock

E.A. Dudorov¹, V.V. Kudyukin², K.A. Kotova¹¹ JSC Scientific and Production Association Android Technics² JSC Design & Research Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunication on Railway Transport

Внедрение цифровых технологий в структуру российских железных дорог позволяет применить новые технические решения в техническом обслуживании подвижного состава. Перед ОАО «РЖД» стоит технологический вызов — интенсификация грузоперевозок по сети железных дорог при сохранении управляемости технологическими процессами и обеспечении требуемого уровня безопасности. Решение этой задачи видится в автоматизации и роботизации технологических процессов с использованием цифровых двойников инфраструктурных компонентов. Цифровизация, автоматизация и роботизация становятся незаменимыми инструментами необходимой трансформации железных дорог. Эти мероприятия позволяют повысить производительность и улучшить качество услуг, обеспечивая гибкость процесса пассажирских и грузовых перевозок. Приведен пример разработки робототехнического комплекса, предназначенного для обеспечения бесперебойного функционирования сортировочных станций: автоматизированного отпуска тормозов и расцепки железнодорожных вагонов, транспортируемых в составе на горках роспуска. Рассмотрены варианты конструктивных и технических решений по исполнительной группе робототехнического комплекса для реализации необходимых степеней подвижности в условиях обслуживания недетерминированных вагонов железнодорожных составов.

Ключевые слова: робототехнический комплекс, роспуск состава, отпуск тормозов, система управления, цифровизация, автоматизация и роботизация

Introducing digital technologies into the structure of Russian railways allows us to apply novel engineering solutions to rolling stock service. Russian Railways OJSC faces a technological challenge of intensifying freight transport through the railway network while maintaining process controllability and ensuring the safety level required. The solution to this problem may lie in automation and robotisation of technological processes using digital twins of infrastructure components. Digitalisation, automation and robotisation are developing into indispensable tools for the desired railway transformation. These activities enable us to increase productivity and improve service quality while allowing for flexibility in pas-

senger and freight transport. The paper presents a case study dealing with development of a robotic system designed to ensure uninterrupted functioning of shunting yards, including automated brake release and uncoupling of railway cars transported as a train onto gravity shunting yards. We consider various design options and engineering solutions concerning the executive group of the robotic system aiming to implement the desired degrees of mobility while servicing non-determinate railway train cars.

Keywords: robotic system, railway car shunting, brake release, control system, digitalisation, automation and robotisation

Цифровые технологии и сервисы российских железных дорог. Цифровизация и информационные технологии являются основными приоритетами развития российских железных дорог. Распоряжением Правительства РФ от 19.03.2019 № 466-р утверждена Программа развития ОАО «РЖД» до 2025 г. [1].

Ключевые направления развития информационных систем ОАО «РЖД» включают в себя:

- формирование сквозных цифровых технологий организации перевозочного процесса (цифровой железной дороги) для повышения эффективности железнодорожных перевозок и инфраструктуры, создание единого информа-

ционного пространства грузовых перевозок и логистики для увеличения доходности грузоперевозок и логистического бизнеса;

- создание единого информационного пространства пассажирского комплекса для повышения доходности пассажирских перевозок.

К 2025 г. запланировано следующее целевое состояние информационных технологий:

- внедрены платформенные решения, интегрированные с производственными системами АО «РЖД», в том числе цифровые сервисы, электронные каналы взаимодействия с рынком (пассажиры, грузоотправители, сервисные компании), федеральными органами исполни-

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОАО «РЖД»

БИЗНЕС-СЕРВИСЫ

СЕРВИСЫ ОАО «РЖД»		СЕРВИСЫ ДЗО	СЕРВИСЫ ДЛЯ РЫНКА		
ВНУТРЕННИЕ КЛИЕНТЫ	ВНЕШНИЕ КЛИЕНТЫ	ДЗО ОАО «РЖД»	ГОСУДАРСТВО	ПАРТНЕРЫ	КОНТРАГЕНТЫ
<ul style="list-style-type: none"> • Функциональные заказчики • Сотрудники 	<ul style="list-style-type: none"> • Пассажиры • Грузоотправители 	<ul style="list-style-type: none"> • ДЗО 	<ul style="list-style-type: none"> • Министерства и ведомства 	<ul style="list-style-type: none"> • Научные институты • Фонды/стартапы • Технологические партнеры 	<ul style="list-style-type: none"> • Контрагенты • Клиенты



Рис. 1. Основные направления цифровизации ОАО «РЖД»

тельной власти и в рамках трансграничного взаимодействия (транспортных коридоров);

- встроены системы интернета вещей, обработки больших данных, цифрового моделирования и искусственного интеллекта; создано новое поколение мобильных рабочих мест и электронный документооборот в производственных и управленческих процессах;

- внедрены централизованные средства обеспечения информационной безопасности на базе импортонезависимых решений.

Основные направления цифровизации ОАО «РЖД» приведены на рис. 1, где ДЗО — дочерние и зависимые общества.

В настоящее время ОАО «РЖД» внедряет следующие проекты цифровой трансформации:

- современные технологии организации перевозочного процесса, управления транспортной инфраструктурой, персоналом и электронный документооборот;

- новое поколение автоматизированных рабочих мест на основе отечественных процессоров;

- импортонезависимое программное обеспечение с использованием технологий цифровых двойников, интернета вещей, обработки больших данных, распределенного реестра (включая блокчейн), имитационного моделирования и машинного обучения.

Использование указанных технологий позволит получать достоверную информацию в режиме реального времени о состоянии перевозочного процесса, производственных объектов и ремонтных работ, автоматизировать рутинные операции и оперативно принимать управленческие решения на качественно новом уровне.

Цель работы – комплексная автоматизация с внедрением робототехнических систем, машинного обучения и искусственного интеллекта для выполнения всего комплекса работ по обслуживанию инфраструктуры и курсирования подвижного состава. С соответствием с этим находят развитие и применение системы технического зрения (СТЗ) [2] и комплексные системы диагностики состояния объектов инфраструктуры, сервисы по распознаванию и классификации замечаний машиниста, интеллектуальная поддержка принятия решений, программные и физические роботы на разной стадии зрелости.

В рамках СТЗ применяют и тестируют системы на базе искусственного интеллекта: ви-

деораспознавание номеров вагонов для автоматического списывания подвижных составов (ПС) и комплексные системы диагностики состояния объектов инфраструктуры, построенные на нейронных сетях.

На нескольких станциях реализуют пилот по оборудованию СТЗ маневровых локомотивов. Система обеспечивает экстренное торможение в необходимых ситуациях. Эффект, который уже достигается за счет этого, — рост пропускной способности сортировочных станций благодаря снижению аварийности. В 2022–2023 гг. запланировано масштабирование этого сервиса.

В рамках цифровизации сети российских железных дорог перспективным проектом является внедрение интегрированных постов автоматизированного приема и диагностики ПС на сортировочных станциях (далее ППСС) [3–6].

В состав ППСС входит следующее оборудование (рис. 2): 1 — камеры технического зрения подсистемы контроля технических характеристик; 2 — лазерные сканеры подсистемы контроля габарита ПС; 3 — камеры технического зрения подсистемы контроля подвагонного пространства; 4 — тензодатчики подсистемы контроля веса и вертикальных динамических нагрузок; 5 — камеры технического зрения подсистемы распознавания инвентарных номеров вагонов; 6 — высокочувствительные микрофоны поста акустического контроля состояния буксовых узлов; 7 — сканер RFID-меток (автоматическая идентификация посредством радиосигналов). Рамная конструкция допускает установку ППСС на одно- и двухпутные участки дороги.

ППСС, разработанный специалистами АО «НИИАС», предназначен для автоматизации процессов технического обслуживания (ТО) и коммерческого осмотра ПС. По результатам подконтрольной эксплуатации опытного образца ППСС на станции Батайск Северо-Кавказской железной дороги принято решение о масштабировании на всю сеть железных дорог. В настоящее время введены в эксплуатацию и находятся на различных стадиях завершения строительства ППСС на подходах к двадцати шести важнейшим сортировочным станциям.

Ядром ППСС служит интегрирующий модуль обработки и хранения информации, обеспечивающий автоматизацию процесса диагностики и прогнозирования состояния ПС, вплоть до автоматической выработки решений

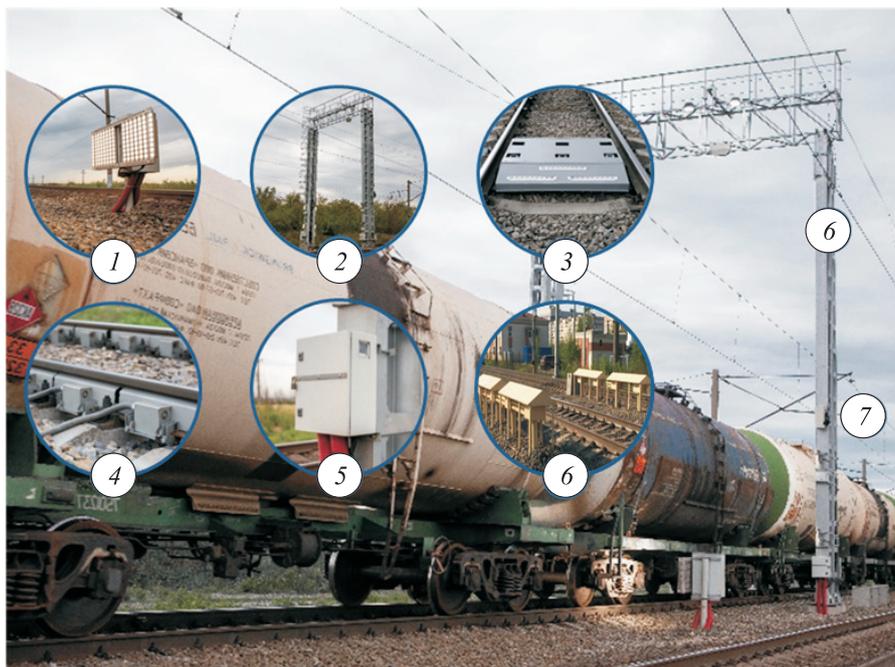


Рис. 2. Внешний вид оборудования, входящего в состав ППС

по отцепке вагонов без участия осмотрщика. Интеллектуальный модуль, разработанный для адекватной интерпретации результатов технического и коммерческого осмотра подвижных единиц и грузов, учитывает и объединяет информацию, поступающую от разнородных источников диагностических данных.

На основе полученных от ППС данных можно создать большое количество моделей состояния ПС/вагона/узла, а также сформировать прогноз технического состояния и срока службы отдельных элементов вагона с требуемым регламентом выполнения работ по ТО.

Получение актуальных и достоверных данных о текущем техническом состоянии ПС позволяет выполнить переход с ТО грузовых вагонов по нормативу на ТО по текущему состоянию, что сократит время обработки ПС на станции, а также вывести работника из опасной производственной зоны, выполнив переход на малолюдные технологии, с одновременным повышением безопасности технологических процессов.

Необходимость физического воздействия на элементы ПС грузовых поездов является одним из основных факторов, ограничивающих переход на полностью безлюдное выполнение технологических процессов обработки ПС: отпуска тормозов грузовых вагонов, расцепки вагонов на сортировочной горке, соединения тормозных рукавов и др.

Внедрение робототехнических комплексов (РТК), оснащенных манипуляционными роботами (МР), в том числе коллаборативными, позволит не только обезопасить сотрудников и снизить риск возникновения ошибок благодаря роботизации монотонных работ, но и повысить эффективность технологического процесса.

РТК для ТО подвижного состава. В настоящее время активно развивается тренд, связанный с частичной автоматизацией рабочего процесса [7–17]. В зарубежных научных исследованиях отмечено, что взаимодействие человек — робот обладает большей эффективностью, чем одиночный труд каждого из них. Некоторые страны в документах стратегического планирования, таких как «Дорожная карта робототехники США» [18], выделяют перспективность использования роботизированных технологий, напрямую взаимодействующих с людьми.

В 2022 г. ожидается выход дорожной карты по реализации мероприятий роботизации инфраструктуры ОАО «РЖД», в которой будут представлены ключевые направления роботизации в 2040–2050 гг. Роботизация процессов диагностики, ТО и ремонтов объектов инфраструктуры и ПС — одно из ключевых направлений железнодорожных компаний по переходу к малолюдным технологиям.

Наиболее перспективные инновации в этой области видятся в создании РТК для обработки

ПС в парках сортировочных станций и на сортировочных горках, РТК для погрузочно-разгрузочных работ, беспилотные летательные аппараты для диагностики объектов инфраструктуры и др.

Процессы роботизации в железнодорожной отрасли уже реализуются. Так, в 2019–2020 гг. АО «НПО «Андроида техника» совместно и по запросу АО «НИИАС» разработали технологический макет РТК для автономного выполнения работ по отпуску тормозов грузовых вагонов и их расцепки на сортировочной горке [19, 20].

Первый этап испытаний на натурном полигоне ОАО «РЖД» прошел в г. Челябинске в ноябре 2020 г., второй — в период с ноября 2021 г.

по июнь 2022 г. Реализация этого проекта — первый шаг к развитию автономных систем ТО вагонов и инфраструктуры железных дорог России, который позволит приблизиться к реализации безлюдного технологического процесса. Общая структура РТК приведена на рис. 3.

Работа РТК заключается в следующем. Мобильная платформа, предназначенная для доставки МР к объекту воздействия, перемещается по несущей конструкции вдоль ПС (рис. 4). Команды мобильной платформы поступают от системы управления после обработки сигналов с СТЗ.

Состав РТК сформирован с учетом требований двойного дублирования исполнительных частей комплекса в целях повышения надежно-

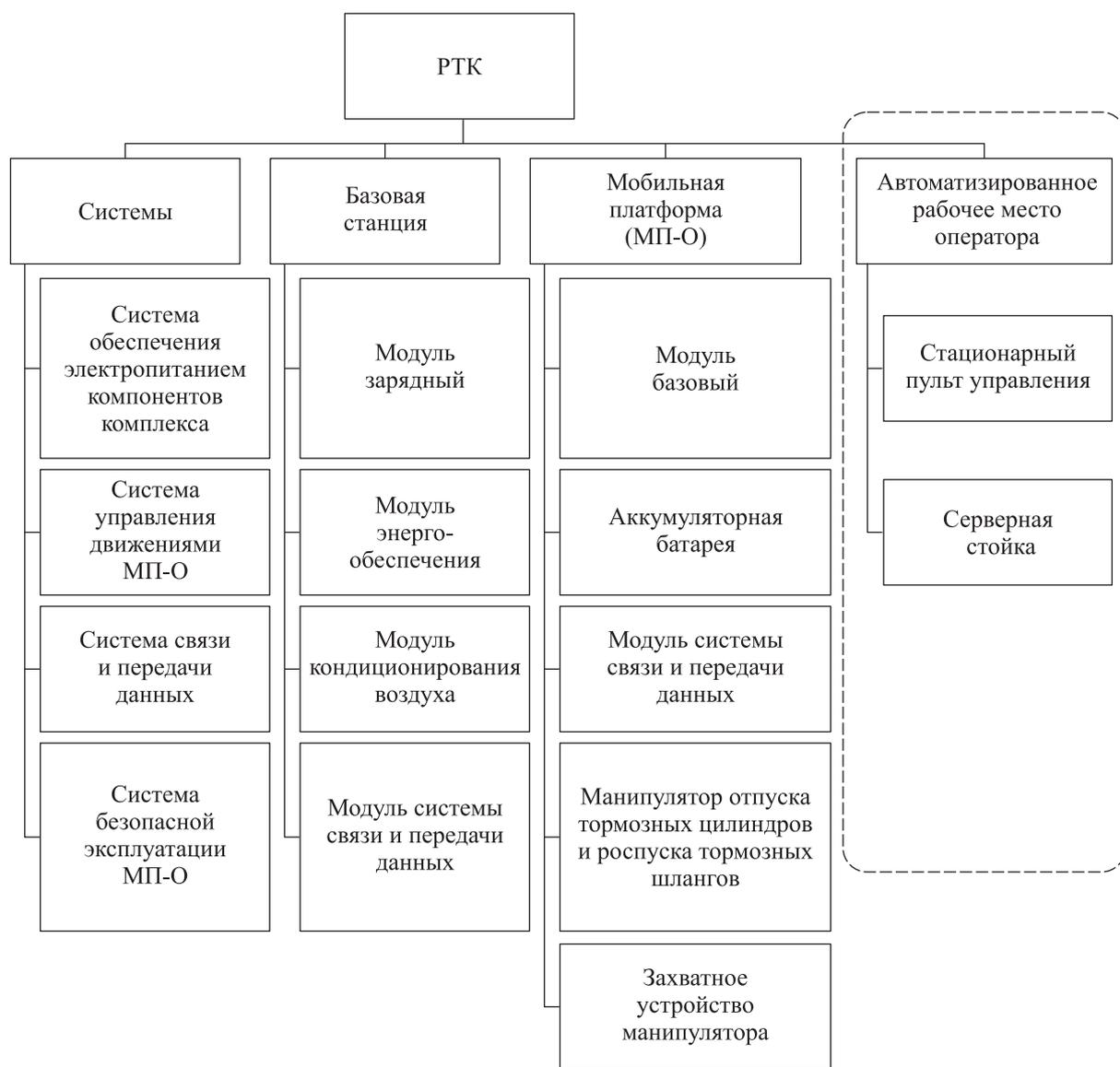


Рис. 3. Общая структура РТК

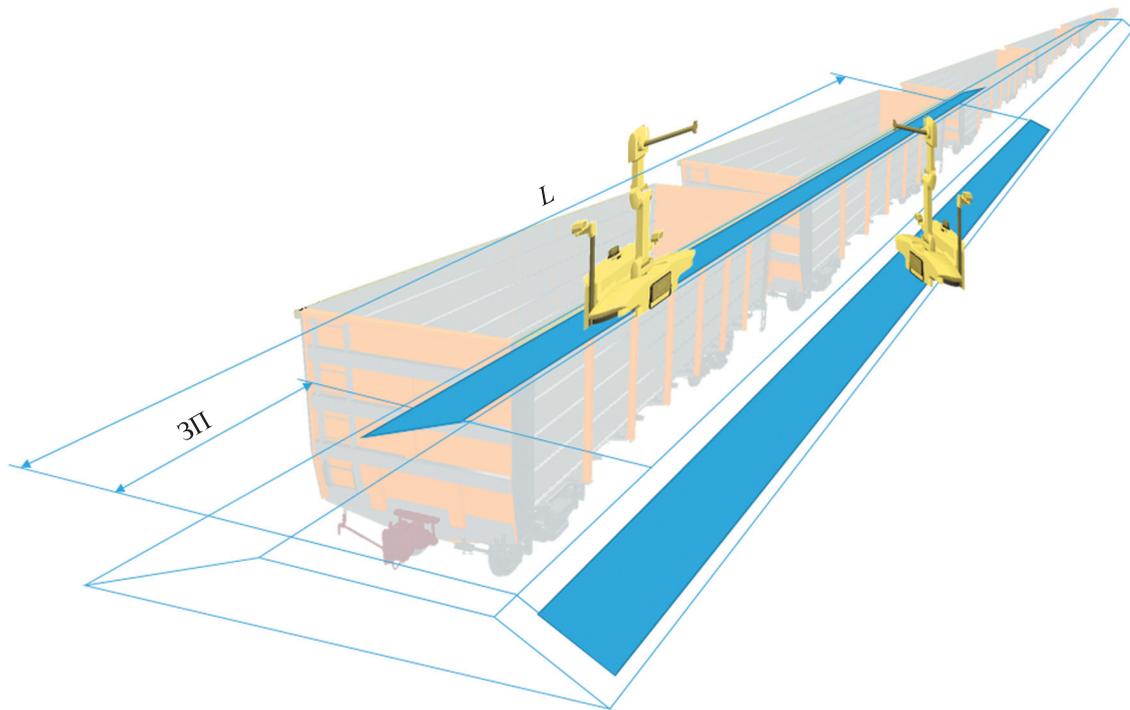


Рис. 4. Схема расположения рабочих зон двух РТК:
 L — длина рабочего хода мобильной платформы; ЗП — зона перекрытия, $ЗП = (1/3 \dots 1/5) L$

сти и безотказности всей системы (размещения исполнительных частей РТК по обе стороны от железнодорожных путей с небольшим смещением).

Захватное устройство в конфигурации для выполнения операции отпуска тормозов воздействует на выпускной клапан воздухораспределителя в течение времени, заданного системой управления. Захватное устройство в

конфигурации для выполнения операции выпуска состава на сортировочной горке воздействует на механизм автосцепки для расцепки вагонов. МР формирует обратный сигнал, который подтверждает факт завершения операции.

В большинстве случаев для ТО ПС требуется применение МР различной конструкции с разным числом степеней подвижности w . В рамках

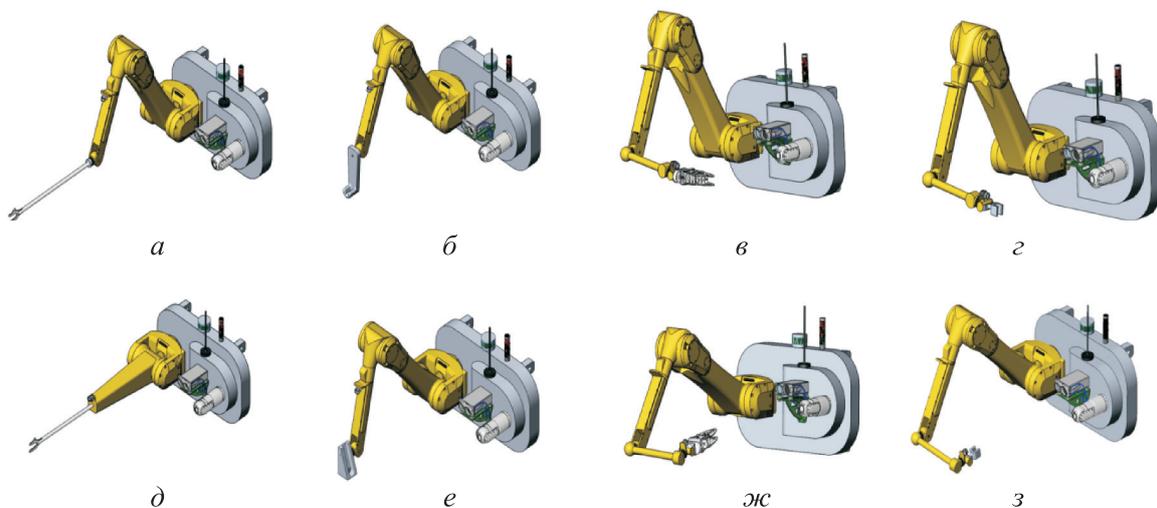


Рис. 5. Схемы РТК с конечным звеном, обеспечивающим разное число степеней подвижности:
 $a, б, е - w = 4$; $в, ж - w = 6$; $г, з - w = 5$; $д - w = 3$

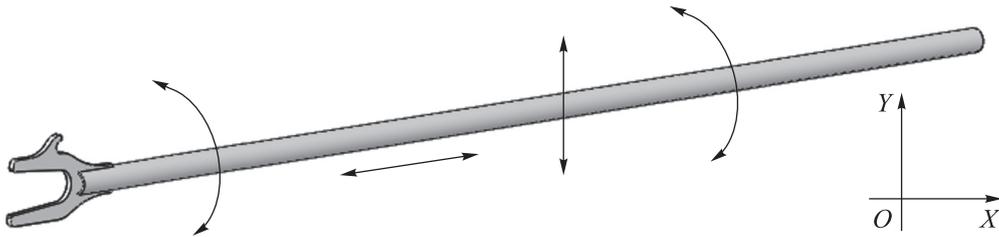


Рис. 6. Схема подвижности конечного звена оси вилки-штока

реализации инициативного проекта АО «НПО «Андроидная техника» и АО «НИИАС» проведен анализ конструкций и вариантов исполнения МР для выполнения операций роспуска ПС и отпуска тормозов (рис. 5).

Чтобы выполнить операции расцепки вагонов и отпуска тормозов, необходимо применить конечное звено, обладающее четырьмя степенями подвижности и обеспечивающее перемещение в плоскости по осям X и Y, вращение в плоскости XOY и вращение по оси вилки-штока (рис. 6).

Также рассмотрены различные варианты конечного звена для захвата рукоятки автосцепки СА-3 при выполнении операции расцепки вагонов (рис. 7).

Исходя из необходимости выполнения различных операций, принято решение использовать в качестве конечного звена вилку-шток (см. рис. 6).

По результатам аналитического изучения различных кинематических схем РТК выбрана четырехзвенная система (рис. 8).

Кинематическая схема рассмотрена для плоского механизма, число степеней подвижности которого определяется выражением

$$w = 3n - 2p_5 - p_4, \quad (1)$$

где n — число подвижных звеньев; p_5 и p_4 — число кинематических пар пятого и четвертого класса соответственно.

Подставляя в формулу (1) значения параметров n , p_5 и p_4 для рассматриваемой кинематической схемы, получаем

$$w = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 4 - 0 = 4.$$

Число степеней подвижности РТК, равное четырем, является достаточным для выполнения операций расцепки вагонов и отпуска тормозов. Внешний вид технологического макета РТК приведен на рис. 9.

СТЗ предназначена для выполнения следующих операций:

- распознавания отдельных элементов конструкций вагонов следующего типа: цистерна, полувагон, крытый вагон, платформа, хоппер, автомобилевоз, рефрижератор;
- распознавания автосцепного устройства;
- передачи информации о координатах системе управления для последующего вычисления места парковки и организации условий воздействия на механизмы;
- распознавания буксовых узлов вагонов указанного типа и передачи информации о них в систему управления для позиционирования относительно ПС.

Модуль системы связи и передачи данных обеспечивает высокоскоростной стабильный защищенный резервированный канал связи для организации двухсторонней связи с центральным модулем управления РТК.

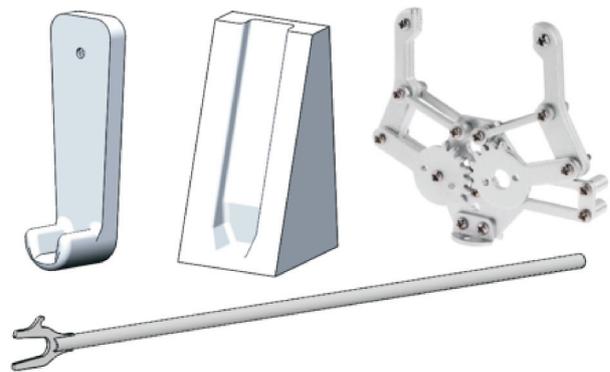


Рис. 7. Внешний вид вариантов оснастки конечного звена

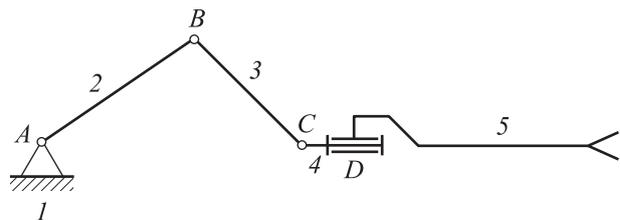


Рис. 8. Кинематическая схема РТК: 1 — неподвижное основание; 2–5 — подвижные звенья; A, B, C и D — узлы



Рис. 9. Внешний вид РТК:

1 — захватное устройство; 2 — СТЗ; 3 — базовая станция; 4 — МР; 5 — мобильная платформа; 6 — модуль системы связи и передачи данных; 7 — модуль перемещения

Система безопасной эксплуатации выполняет следующие функции:

- обнаружение помех на пути перемещения соответствующего модуля по несущей платформе для формирования сигнала о необходимости аварийной остановки;
- передачу системе управления сигнала о необходимости аварийной остановки для предотвращения столкновений с людьми и препятствиями;
- подачу звуковой и световой сигнализации для предупреждения людей, находящихся на железнодорожных путях.

Система управления модулем перемещения выполняет заложенные алгоритмы управления на основе входных данных от других систем для формирования управляющих воздействий на МР и захватном устройстве.

Автоматизированное рабочее место оператора предназначено для диагностики РТК, их настройки, просмотра параметров работы РТК и видеоизображения с СТЗ, для управления автономным режимом выполнения операции, формирования команды на начало выполнения операций отпуска тормозов и расцепки ПС. Автоматизированное рабочее место может осуществлять контроль работы и управление сразу несколькими РТК.

Фрагменты работы РТК при выполнении операций отпуска тормозов и расцепки вагонов приведены на рис. 10–12.

Общий принцип работы РТК заключается в следующем. МР в составе мобильной платформы перемещается по несущей конструкции вдоль ПС. При достижении платформой местоположения механизма автосцепки (если устройство применяется на сортировочной горке) МР позиционируется и синхронизируется по скорости с движущимся ПС с последующим воздействием на механизм автосцепки для расцепки вагонов.

При достижении платформой тормозной системы (если устройство применяется в парке сортировочной станции) МР позиционируется и воздействует на выпускной клапан воздухо-распределителя для отпуска тормозов. После окончания операции происходит автоматический контроль ее выполнения с помощью СТЗ.

Разработанный макет РТК, используя данные получаемые от ППСС и основываясь на технологии цифровых двойников, в будущем сможет осуществлять не только ТО ПС, но и



а



б

Рис. 10. Фрагменты работы РТК:

а — размещение исполнительной части РТК в базовой станции;
б — операция отпуска тормозов на вагоне типа цистерна

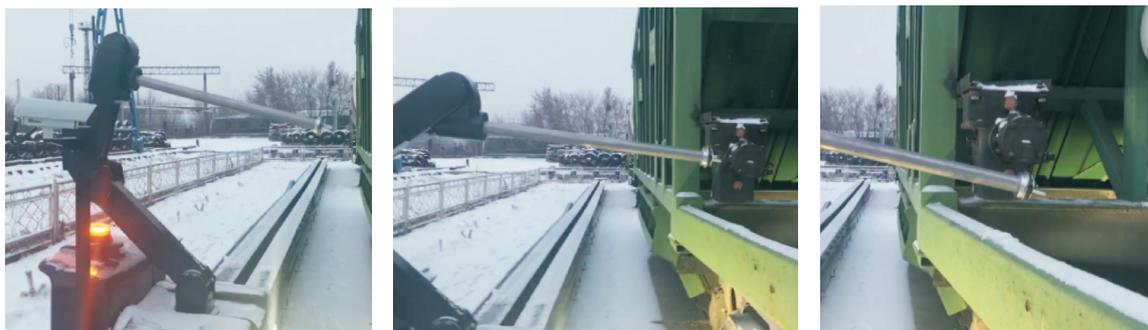
*а**б**в*

Рис. 11. Фрагменты роботизированного отпуска тормозов вагона типа хоппер:
а — продольное перемещение РТК вдоль ПС; *б* — идентификация воздухораспределителя, требуемого вагона, начало процесса работы МР; *в* — воздействие на клапан воздухораспределителя

*а**б**в*

Рис. 12. Фрагмент роботизированной расцепки ПС:
а — продольное перемещение РТК вдоль ПС; *б* — идентификация автосцепного устройства, требуемого вагона, начало процесса работы МР; *в* — воздействие на автосцепное устройство вагона

диагностику элементов вагонов, требующих наблюдения. Таким образом, с помощью безлюдных технологий будет сформирован переход к ТО не по регламенту, а по необходимости, что в свою очередь обеспечит существенный экономический эффект.

Внедрение РТК и технологий их использования даст возможность оптимизировать работу сортировочных станций и горочных локомотивов. Благодаря обмену данными между РТК и системой управления беспилотными локомотивами в перспективе можно повысить скорость надвига вагонов на сортировочную горку с 20 до 35 км/ч, а следовательно, увеличить про-

пусную способность сортировочных станций на 7...10 %.

Использование средств цифровизации и роботизации позволит вывести человека из опасной зоны и полностью исключить влияние человеческого фактора на проведение технологических процессов, тем самым повысив экономическую эффективность перевозок и снизив количество травм обслуживающего персонала посредством обеспечения сквозного технологического процесса на основе технологий Индустрии 4.0.

РТК преимущественно планируется применять для выполнения таких технологических

операций, как отпуск тормозов вагонов, их расцепка на сортировочных горках и при подаче в вагоноопрокидыватель, визуальный осмотр ходовой части вагонов, неразрушающий контроль колесных пар, соединение тормозных рукавов грузовых вагонов, подтягивание вагонов межрельсовыми роботизированными тележками и др.

Снижение производственного травматизма на железных дорогах, увеличение срока службы вагонов и рельсового пути, сокращение времени простоя ПС на сортировочных станциях и повышение качества ТО железнодорожных составов требует применения самых передовых технологий цифровизации и роботизации. Для этого есть все доступные решения, которые надо объединить и внедрить в железнодорожной инфраструктуре.

Выводы

1. Сделаны первые практические шаги по созданию РТК для ТО железнодорожного состава. Пройдены испытания и получены первые результаты, показавшие эффективность и перспективность применения МР для ТО составов.

2. Проведенные исследования позволили выявить основные направления внедрения роботизации в парках приема и отправки вагонов, а также на сортировочных горках станций. На них в перспективе найдут применение следующие типы роботов:

- мобильный МР для отпуска тормозов вагонов в парке приема;
- мобильный МР для расцепки вагонов на сортировочных горках;
- стационарный робот для расцепки вагонов при их подаче в вагоноопрокидыватель;
- мобильный МР для визуального осмотра ходовой части вагонов и неразрушающего контроля колесных пар;
- мобильный МР для соединения тормозных рукавов вагонов в парке отправления;
- мобильные межрельсовые роботизированные тележки для подтягивания вагонов.

3. Специалисты ОАО «РЖД», как и многих других корпораций, разрабатывают собственную концепцию и дорожную карту роботизации инфраструктуры железных дорог, которые включают в себя гораздо больше технических решений и направлений применения роботов наряду с рассмотренными МР.

Литература

- [1] Распоряжение Правительства РФ от 19.03.2019 N 466-р Об утверждении программы развития ОАО «РЖД» до 2025 года (вместе с «Долгосрочной программой развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 года»). Раздел 8. Цифровизация и информационные технологии.
- [2] Хатламаджиян А.Е., Ольгейзер И.А., Суханов А.В. и др. Компьютерное зрение для контроля сортировочных процессов. *Автоматика, связь, информатика*. 2021, № 3, с. 8–11, doi: <https://doi.org/10.34649/AT.2021.3.3.002>
- [3] Хатламаджиян А.Е., Лебедев А.И. Интегрированный пост автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях. *Вагоны и вагонное хозяйство*, 2019, № 2, с. 9–13.
- [4] Розенберг И.Н., Шабельников А.Н. Цифровая сортировочная станция. *Железнодорожный транспорт*, 2018, № 10, с. 13–17.
- [5] Гуров Ю.В., Долгий А.И., Кудюкин В.В. и др. *Программа для интегрированного поста автоматизированного приема и диагностики подвижного состава на сортировочных станциях*. Свид. о гос. рег. прогр. для ЭВМ № 2018615609 РФ. Заявл. 21.03.2018, опубл. 11.05.2018.
- [6] Щекочихина Ю.Н. Экономическое обоснование технического перевооружения эксплуатационного вагонного депо. *Операционный и проектный менеджмент: стратегии и тенденции*. Мат. межд. науч.-практ. конф. Москва, КноРус, 2021, с. 101–107.
- [7] Leena G., Vidawat C.S., Jha N. Automatic railway system. *IJCA*, 2017, vol. 159, no. 8, pp. 30–33, doi: <https://doi.org/10.5120/ijca2017913018>
- [8] Funke U. *Development of functional requirements for sustainable and attractive European rail freight. D5.1 — State of the art on automatic couplers*. ShiftToRail project, 2017. 72 p.

- [9] Troche G. *Development of functional requirements for sustainable and attractive European rail freight. D5.5 — CBA for automatic couplers*. ShiftToRail project, 2019. 35 p.
- [10] *MoU — European digital automatic coupling for rail freight (DAC)*. European digital automatic coupling delivery programme, 2020. 4 p.
- [11] Hagenlocher S., Wittenbrink P., Leuchtmann C. et al. *Development of a concept for the EU-wide migration to a digital automatic coupling system (DAC) for rail freight transportation*. Berlin University of Technology, 2020. 180 p.
- [12] Zellner C., Stadlmann B., Eggeret M. et al. Automated handling of a screw coupling of freight wagons. *Proc. TRA*, 2018, doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1491500>
- [13] Digital Automatic Couplers: Dellner's solution to coupling automation. *Global Railway Review*, 21.02.2021. URL: <https://www.globalrailwayreview.com/article/120804/dellner-digital-automatic-couplers/>
- [14] Zajicek J. Uncoupling Robot for the automatic marshalling yard. *ait.ac.at: веб-сайт*. URL: <https://www.ait.ac.at/en/research-topics/transport-optimization-logistics/projects/entkuro/> (дата обращения: 15.02.2022).
- [15] Yao J., Gao S., Jiang G. et al. Position and orientation error analysis and its compensation for a wheeled train uncoupling robot with four degrees of freedom. *IET Intell. Transp. Syst.*, 2015, vol. 9, no. 2, pp. 156–166, doi: <https://doi.org/10.1049/iet-its.2014.0027>
- [16] Smethurst E. Industry 4.0: the benefits of digital railways. *constructionnews.co.uk: веб-сайт*. URL: <https://www.constructionnews.co.uk/special-reports/industry-4-0-the-benefits-of-digital-railways-16-03-2017/?blocktitle=special-report%3A-rail> (дата обращения: 15.02.2022).
- [17] Gerhátová S., Zitrický V., Klapita V. Industry 4.0 implementation options in railway Transport. *Transp. Res. Procedia*, 2021, vol. 53, pp. 23–30, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.003>
- [18] *A roadmap for US robotics*. URL: <https://bit.ly/3zXrLzc> (дата обращения: 01.03.2022).
- [19] Kotova K., Dudorov E., Kudyukin V. Manipulator control system for railroad transport coupling and braking system maintenance. *RusAutoCon*, 2021, pp. 601–605, doi: <https://doi.org/10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537477>
- [20] Дудоров Е.А., Котова К.А. Система управления манипулятором робототехнического комплекса для обслуживания механизмов сцепки и тормозной системы железнодорожных вагонов. *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*, 2021, т. 12, № 1, с. 58–64.

References

- [1] *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 19.03.2019 N 466-r Ob utverzhdenii programmy razvitiya OAO "RZhd" do 2025 goda (vmeste s "Dolgosrochnoy programmoy razvitiya otkrytogo aktsionernogo obshchestva "Rossiyskie zheleznye dorogi" do 2025 goda")* [RF government resolution of 19.03.2019 N 466-r On establishment of development programme for OAO "RZhd" until 2025 (along with "Long term development program of OAO Rossiyskie zheleznye dorogi until 2025)]. Razdel 8. Tsifrovizatsiya i informatsionnye tekhnologii [Part 8. Digitalization and information technologies]. (In Russ.).
- [2] Khatlamadzhyan A.E., Ol'geyzer I.A., Sukhanov A.V. et al. Computer vision for railway humping control. *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, Communications, Informatics], 2021, no. 3, pp. 8–11, doi: <https://doi.org/10.34649/AT.2021.3.3.002> (in Russ.).
- [3] Khatlamadzhyan A.E., Lebedev A.I. Integrated automatic receiving and diagnostic post for a rolling stock on a terminal station. *Vagony i vagonnoe khozyaystvo*, 2019, no. 2, pp. 9–13. (In Russ.).
- [4] Rozenberg I.N., Shabel'nikov A.N. Digital terminal station. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2018, no. 10, pp. 13–17. (In Russ.).
- [5] Gurov Yu.V., Dolgiy A.I., Kudyukin V.V. et al. *Programma dlya integrirrovannogo posta avtomatizirovannogo priema i diagnostiki podvizhnogo sostava na sortirovochnykh stantsiyakh*. Svid. o gos. reg. progr. dlya EVM no. 2018615609 RF [Software for integrated post for automated receiving and diagnostics of a rolling stock on a terminal station. Certi-

- ificate of state software registration no. 2018615609 RU]. Appl. 21.03.2018, publ. 11.05.2018. (In Russ.).
- [6] Shchekochikhina Yu.N. [Economic justification of technical re-equipment of the operational car depot]. *Mat. mezhd. nauch.-prakt. konf.* [Proc. Int. Sci.-Pract. Conf.]. Moscow, KnoRus Publ., 2021, pp. 101–107. (In Russ.).
- [7] Leena G., Vidawat C.S., Jha N. Automatic railway system. *Int. J. Comput. Appl.*, 2017, vol. 159, no. 8, pp. 30–33, doi: <https://doi.org/10.5120/ijca2017913018>
- [8] Funke U. *Development of functional requirements for sustainable and attractive European rail freight. D5.1 — state of the art on automatic couplers*. ShiftToRail project, 2017. 72 p.
- [9] Troche G. *Development of functional requirements for sustainable and attractive European rail freight. D5.5 — CBA for automatic couplers*. ShiftToRail project, 2019. 35 p.
- [10] *MoU — European digital automatic coupling for rail freight (DAC)*. European digital automatic coupling delivery programme, 2020. 4 p.
- [11] Hagenlocher S., Wittenbrink P., Leuchtman C. et al. *Development of a concept for the EU-wide migration to a digital automatic coupling system (DAC) for rail freight transportation*. Berlin University of Technology, 2020. 180 p.
- [12] Christoph Z., Burkhard S., Martin E. et al. Automated handling of a screw coupling of freight wagons. *Proc. TRA*, 2018, doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1491500>
- [13] Digital Automatic Couplers: Dellner's solution to coupling automation. *Global Railway Review*, 21.02.2021. URL: <https://www.globalrailwayreview.com/article/120804/dellner-digital-automatic-couplers/>
- [14] Zajicek J. Uncoupling Robot for the automatic marshalling yard. *ait.ac.at: website*. URL: <https://www.ait.ac.at/en/research-topics/transport-optimization-logistics/projects/entkuro/> (accessed: 15.02.2022).
- [15] Yao J., Gao S., Jiang G. et al. Position and orientation error analysis and its compensation for a wheeled train uncoupling robot with four degrees-of-freedom. *IET Intell. Transp. Syst.*, 2015, vol. 9, no. 2, pp. 156–166, doi: <https://doi.org/10.1049/iet-its.2014.0027>
- [16] Smethurst E. Industry 4.0: The benefits of digital railways. *constructionnews.co.uk: website*. URL: <https://www.constructionnews.co.uk/special-reports/industry-4-0-the-benefits-of-digital-railways-16-03-2017/?blocktitle=special-report%3A-rail> (accessed: 15.02.2022).
- [17] Gerhátová S., Zitrický V., Klapita V. Industry 4.0 implementation options in railway transport. *Transp. Res. Procedia*, 2021, vol. 53, pp. 23–30, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.003>
- [18] *A roadmap for US robotics*. URL: <https://bit.ly/3zXrLzc> (accessed: 01.03.2022).
- [19] Kotova K., Dudorov E., Kudyukin V. Manipulator control system for railroad transport coupling and braking system maintenance. *RusAutoCon*, 2021, pp. 601–605, doi: <https://doi.org/10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537477>
- [20] Dudorov E.A., Kotova K.A. Control system for robotic complex manipulator for maintenance of linkage mechanism and brake system of a railway wagon. *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya*, 2021, vol. 12, no. 1, pp. 58–64. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 28.03.2022

Информация об авторах

ДУДОРОВ Евгений Александрович — кандидат технических наук, доцент кафедры МиТОДИМ. МГТУ им. Г.И. Носова; лауреат премии РФ в области науки и техники, исполнительный директор. АО «Научно-производственное объединение «Андроидная техника» (109518, Москва, Российская Федерация, ул. Грайвороновская, д. 23, e-mail: dudorov@npo-at.com).

Information about the authors

DUDOROV Evgeniy Aleksandrovich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Metal Forming Machines and Technologies. Nosov Magnitogorsk State Technical University; recipient of the Award of the Russian Federation in the field of science and technology, Executive Director. JSC Scientific and Production Association Android Technics (109518, Moscow, Russian Federation, Grayvoronovskaya St., Bldg. 23, e-mail: dudorov@npo-at.com).

КУДЮКИН Владимир Валерьевич — заместитель генерального директора АО «НИИАС» (109029, Москва, Российская Федерация, Нижегородская ул., д. 27, стр. 1, e-mail: v.kudukin@vniias.ru).

KUDYUKIN Vladimir Valeryevich — Deputy General Director. JSC Design & Research Institute for Information Technology, Signalling and Telecommunication on Railway Transport (109029, Moscow, Russian Federation, Nizhegorodskaya St., Bldg. 27, Block 1, e-mail: v.kudukin@vniias.ru).

КОТОВА Ксения Александровна — заместитель генерального директора по режиму АО «Научно-производственное объединение «Андроидная техника» (109518, Москва, Российская Федерация, ул. Грайвороновская, д. 23, e-mail: kseniya.kotova@npo-at.com).

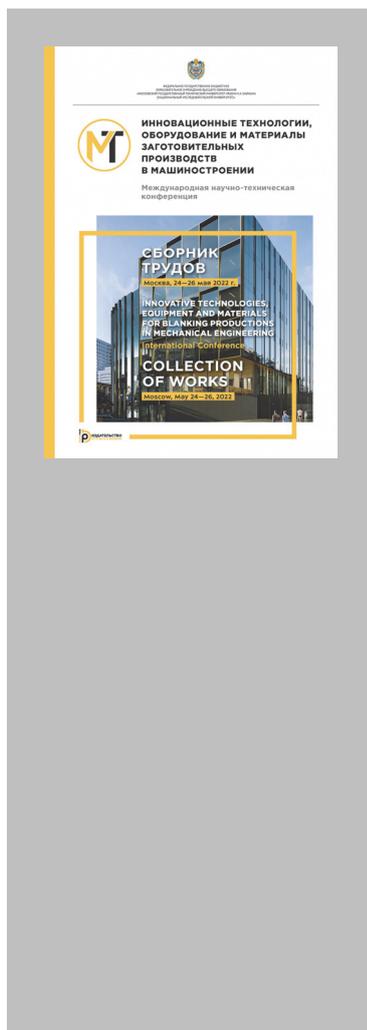
KOTOVA Ksenia Aleksandrovna — Deputy General Director for security. JSC Scientific and Production Association Android Technics (109518, Moscow, Russian Federation, Grayvoronovskaya St., Bldg. 23, e-mail: kseniya.kotova@npo-at.com).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Дудоров Е.А., Кудюкин В.В., Котова К.А. Робототехнические комплексы обслуживания подвижного состава российских железных дорог. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2022, № 9, с. 3–15, doi: 10.18698/0536-1044-2022-9-3-15

Please cite this article in English as:

Dudorov E.A., Kudyukin V.V., Kotova K.A. Robotic Systems for Servicing Russian Railway Rolling Stock. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2022, no. 9, pp. 3–15, doi: 10.18698/0536-1044-2022-9-3-15



**Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
предлагает читателям материалы конференции
«Инновационные технологии, оборудование
и материалы заготовительных производств
в машиностроении»**

Сборник трудов посвящен актуальным вопросам создания новых технологий и оборудования заготовительных производств в машиностроении (литейное, кузнечно-штамповочное, прокатно-волочильное производства, высокоэнергетические методы изготовления заготовок), восстановления и упрочнения деталей в машиностроении, триботехники в реновации, модернизации и повышения надежности машиностроительного оборудования, а также проблемам контроля и диагностики деталей и оборудования в машиностроении. В книге отражены результаты исследований, проводимых учеными и специалистами вузов, научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий России, Беларуси, Казахстана, Донецкой Народной Республики, Луганской Народной Республики, Словацкой Республики и Китая.

Для преподавателей вузов, молодых ученых, аспирантов и студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Машиностроение», «Материаловедение и технологии материалов», «Проектирование технологических машин и комплексов», а также специалистов научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий, занимающихся разработкой и применением технологий и оборудования заготовительных производств и восстановительных технологий в машиностроении.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@baumanpress.ru; <https://bmstu.press>