

В.В. Кудюкин, В.С. Кузьмин**ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ РОБОТИЗАЦИИ ДЛЯ РАСФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ НА СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКЕ (ОБЗОР)**

Роботизация технологических процессов на железнодорожном транспорте является одним из приоритетных направлений научно-технической политики Открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»). Одним из технологических процессов, роботизация которого рассматривается в первую очередь в связи с потребностью повышения перерабатывающей способности железнодорожных станций и снижения числа случаев производственного травматизма, является расформирование составов на сортировочной горке. Цель настоящего исследования – определение уровня техники и формулирование тенденций развития средств роботизации для расформирования составов на сортировочной горке. В рамках исследования использован метод анализа научной и патентной информации. В результате выполнения исследования определены количественные характеристики публикационной активности в рассматриваемой области техники, рассмотрены и систематизированы опубликованные материалы научных и патентных документов. В рамках качественной обработки материалов установлено, что для обеспечения роспуска двух составов при параллельном надвиге, а также для повышения надежности формирования отцепов при наихудших условиях применяются преимущественно решения с двумя независимыми мобильными платформами или двумя манипуляторами на одной раме каретки мобильной платформы. Существенным ограничением для разработки робототехнических комплексов для формирования отцепов является неравномерность длин отцепов. Существенное значение имеет организация взаимодействия с внешними информационными и управляющими системами. Практическая значимость полученных результатов заключается в определении тенденций развития средств роботизации технологических процессов для расформирования составов на сортировочной горке, которые могут быть использованы в дальнейшем для формирования архитектуры перспективного робототехнического комплекса, обеспечивающего повышение перерабатывающей способности и эксплуатационных резервов сортировочной станции за счет тесной интеграции с внешними информационными и управляющими системами.

Цифровая железнодорожная станция; робототехнический комплекс; сортировочная горка; надвиг; расформирование составов; отцеп.

V.V. Kudyukin, V.S. Kuzmin**APPLICATION OF ROBOTICS FOR PARALLEL TRAIN BREAK-UP ON AUTOMATED HUMPS (REVIEW)**

Robotization of technological processes in rail transport is a priority area of scientific and technical policy for Russian Railways. One of the technological processes being prioritized for robotization is train break-up from hump marshalling yards, primarily due to the need to increase station processing capacity and reduce workplace injury rates. The objective of this study is to determine the state of the art and identify development trends for robotic systems used in train break-up from hump operations. The research methodology involved analysis of scientific literature and patent information. As a result of this study, quantitative characteristics of publication activity in this technological area were determined, and materials from scientific and patent documents were reviewed and systematized. During material processing, it was established that solutions predominantly utilize either: two independent mobile platforms or two manipulators mounted on a single mobile platform carriage frame. These configurations are employed to enable parallel break-up of two trains from the hump and to improve the reliability of railcar cut formation under challenging conditions. A significant limitation in developing robotic systems for train break-up from hump operations is the uneven lengths of railcar cuts. Additionally, integration with external information and control systems is of critical importance. The practical significance of the obtained results lies in identifying development trends for robotic automation of train break-up processes from hump operations. These findings can be utilized in future development of promising robotic system architectures that will enhance marshalling yard processing capacity and operational reserves through close integration with external information and control systems.

Digital railway station; robotic complex; hump; move train to hump; train break-up from hump; cut of cars.

Введение. Значительное количество технологических процессов, связанных с железнодорожным транспортом, в частности с организацией грузовых перевозок, требует для своей реализации взаимодействия с железнодорожным подвижным составом. Это необхо-

димо как для определения его текущего технического состояния, так и при обработке составов на станциях в рамках выполнения операций по закреплению или раскреплению, прицепке и отцепке локомотива или групп вагонов, коммерческого и технического осмотров, отпуска тормозов, расформирования на сортировочной горке, завершения формирования, опробования тормозов [1]. Указанные технологические операции выполняются преимущественно вручную, что закономерно приводит к зависимости результатов их реализации и эксплуатационных показателей работы станции от квалификации работника и погодных условий. Кроме того, нахождение работника в т.н. «опасной зоне», т.е. в непосредственной близости от движущегося железнодорожного подвижного состава, увеличивает риск производственного травматизма и требует разработки и применения соответствующих сложных и дорогостоящих технических и организационных решений [2, 3].

С учетом этого автоматизация указанных технологических процессов является одной из наиболее приоритетных задач для отрасли. Ее решение для Открытого акционерного общества «Российские железные дороги» организовано в рамках проекта «Цифровая железнодорожная станция» [4–6]. Ключевым компонентом Цифровой железнодорожной станции, обеспечивающим взаимодействие с элементами железнодорожного подвижного состава при выполнении отдельных технологических операций, являются робототехнические комплексы (далее – РТК) [7–11].

Среди перечня задач по созданию и внедрению робототехнических комплексов в рамках проекта «Цифровая железнодорожная станция», подробное описание которых приводится в работе [12], наибольший интерес представляет роботизация процесса расформирования составов на сортировочных горках, поскольку она требует для своего решения организации взаимодействия с элементами движущегося железнодорожного подвижного состава в сложных условиях. В рамках существующего технологического процесса на горб горки горочным локомотивом надвигается прибывший под расформирование состав. Скорость роспуска состава регулируется в соответствии с параметрами формируемых отцепов. Формирование отцепов осуществляется вручную составителем поездов в соответствии с сортировочным листком, в котором среди прочего указываются сведения о количестве вагонов в каждом отцепе. Для формирования очередного отцепа составитель с использованием специальной вилки или, что значительно реже, с использованием установленного на вагоне расцепного рычага взаимодействует с цепью расцепного привода автосцепного устройства, подлежащего расцепке и находящегося в межвагонном пространстве, в результате чего сначала выключается предохранитель, а затем осуществляется фиксация замка в расцепленном состоянии. Далее сформированный отцеп под действием силы тяжести «отрывается» от надвигаемого состава и начинает самостоятельное движение по спускной части сортировочной горки.

Ручное выполнение операций по взаимодействию с цепью расцепного привода при формировании отцепов является лимитирующим фактором роста перерабатывающей способности сортировочной горки и увеличения соответствующих эксплуатационных резервов [13, 14]. Роботизация этой технологической операции представляет собой достаточно сложную задачу, требующую разработки принципиально новых технических решений, поскольку для повышения перерабатывающей способности сортировочной горки и сортировочной станции в целом требуется не только организовать расформирование составов без участия человека вне зависимости от погодных условий и времени суток, но и увеличить скорость надвигаемого состава, существенно сократив тем самым время на выполнение технологической операции по взаимодействию с цепью расцепного привода в межвагонном пространстве, а также обеспечить работу робототехнического комплекса при выполнении параллельного роспуска.

С учетом вышеизложенного целью настоящего исследования является определение уровня техники и формулирование тенденций развития средств роботизации для расформирования составов на сортировочной горке.

1. Регламент выполнения информационного поиска. Для определения тенденций развития рассматриваемого объекта исследования – средств механизации и автоматизации расформирования движущихся составов, оборудованных автоматически действующими сцепными устройствами (автосцепками) с применением робототехнических комплексов и входящих в их состав компонентов – выполнен информационный поиск в рамках патентного исследования на уровень техники. Методология исследования принята в

соответствии с ГОСТ Р 15.011-2024. Результаты поиска релевантны на 01.02.2026. Глубина поиска выбрана равной 20 годам. Поиск выполнялся с учетом правила 34.1 Договора о патентной кооперации (т.н. минимум РСТ), а также известных особенностей выполнения патентных исследований для железнодорожной отрасли [15].

При формировании поисковых запросов использованы следующие термины на русском и английском языках: расцепление, расцепка, авторасцепка, отцеп, расформирование, роспуск, unhooking, uncoupling car setout, cut of cars, breaking up the train, automatic train shunting, splitting up of train, disengagement, disconnect. При проведении исследования использованы следующие коды универсального десятичного классификатора (УДК): 656.212, 656.25, 681.5, 004.89, 355.691.21 – и индексы Международного патентного классификатора (МПК): B61G 7/00, B61G 7/04, B61G 7/14.

В рамках анализа полученных выборок из результатов, подлежащих непосредственному анализу, исключались технические решения:

- ♦ предполагающие установку дополнительного оборудования на вагоны или непосредственно на автосцепку, например, [16, 17];
- ♦ связанные с расцепкой стоящих составов; наиболее часто подобные решения используются перед вагоноопрокидывателями; примерами могут служить решения, описанные в [18, 19],
- ♦ связанные со средствами расцепки шахтных вагонеток (последние исключались при наличии существенных конструктивных отличий соответствующих сцепных устройств от автосцепок магистрального железнодорожного транспорта).

Кроме того, из анализируемой выборки исключены решения, связанные с винтовыми сцепками, например, [20, 21], а также решения, связанные с предварительной – до начала надвига – установкой автосцепок состава в выключенное положение «на буфер», например, [22].

Следует отметить, что стационарные робототехнические комплексы для расцепки вагонов стоящих составов (перед вагоноопрокидывателями) могут представлять интерес при выполнении самостоятельных исследований в рамках разработки конструкций манипулятора или соответствующей системы управления и контроля, в т.ч. на базе технического зрения.

2. Результаты и их обсуждение. 2.1. Количественная оценка результатов проведенного информационного поиска. В результате выполненного анализа уровня техники были отобраны и проанализированы 35 научных статей и монографий, а также 39 патентных документов. Основные количественные показатели, характеризующие публикационную активность в рассматриваемой области техники, приведены на рис. 1–3.



Рис. 1. Распределение числа опубликованных документов по годам

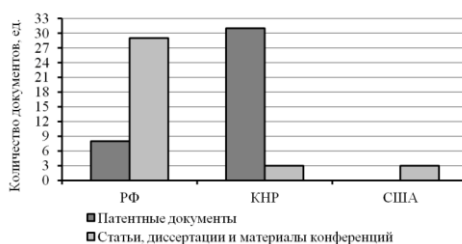


Рис. 2. Распределение числа опубликованных документов по странам

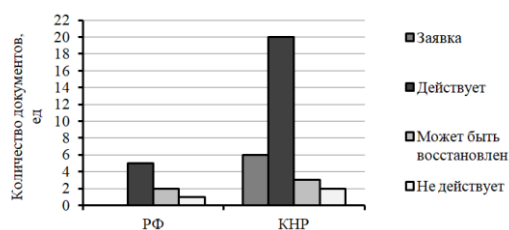


Рис. 3. Распределение числа опубликованных патентных документов по статусу

Полученные количественные характеристики, выражающиеся в росте числа заявляемых и публикуемых патентных документов (основной объем документов опубликован в период с 2018 по 2025 гг.; пик публикационной активности приходится на 2023 год), а также количестве действующих патентных документов (в Российской Федерации – 62,5%, а в Китайской Народной Республике – 64,5% от общего числа опубликованных патентных документов), позволяют утверждать, что рассматриваемая область техники является перспективной, а задача роботизации процесса формирования отцепов в рамках расформирования составов – актуальной.

2.2. Качественная оценка и определение тенденций развития объекта исследования. Общие сведения о принципах построения РТК для расформирования составов на сортировочных горках описаны, в частности, в работах [23–29]. Общие архитектурные решения по роботизации процесса формирования составов на сортировочной горке приводятся в работах [30–32]. О важности реализации устойчивых и безопасных каналов передачи информации для управления робототехническими комплексами говорится в работе [33]. В работе [34] указывается на существенное ограничение при построении РТК, связанное с неравномерностью длин отцепов. Общие сведения о принципах построения систем управления манипулятором для выполнения расформирования составов на сортировочной горке приводятся в работах [35, 36].

Анализ патентной и научной документации показал, что известные и перспективные технические решения различаются между собой по следующему перечню основных характеристик:

- ◆ тип мобильной платформы робототехнического комплекса, включая вариант выполнения направляющей, способ синхронизации скоростей рамы каретки мобильной платформы и надвигаемого состава, а также тип привода рамы каретки мобильной платформы;
- ◆ тип привода манипулятора;
- ◆ способ регистрации факта правильного формирования отцепа;
- ◆ тип источника электроснабжения оборудования, размещаемого на раме каретки мобильной платформы;
- ◆ элемент автосцепного устройства, с которым выполняется взаимодействие манипулятора;
- ◆ наличие внешнего стационарно размещаемого датчика для обнаружения автосцепки, подлежащей расцепке, а также тип средства позиционирования рамы каретки мобильной платформы вдоль надвигаемого состава;
- ◆ наличие и характер информационного взаимодействия с внешними информационными и управляющими системами.

Рассмотрим каждый из признаков в отдельности.

Применение РТК без направляющей с использованием, например, колесной, гусеничной или колесно-гусеничной мобильной платформы [29, 37–40] достаточно редки. В основном для реализации мобильных платформ используют различные типы направляющих, которые размещаются на земле на обочине пути надвига [41–44], в колее железнодорожного пути [45] или же над поверхностью земли [46]. В качестве направляющей может быть использован монорельс [41, 43, 47], в частности Н-образный [48, 49] или изготавливаемый из композитных материалов [50], собственный рельсовый, в т.ч. узкоко-

лейный путь, устанавливаемый на обочине пути надвига [42–45] или внутри колеи пути надвига [51], а также ходовые рельсы самого пути надвига [52]. В последнем случае опорные колеса перемещаются по внутренней грани подошвы рельса, сама каретка движется только внутри колеи, а в транспортировочном положении манипулятор находится вне очертания габарита подвагонных толкателей по ГОСТ 9238. В случае применения монорельса ведущие колеса могут двигаться по земле [53].

Направляющая может быть уложена как на земле [41], так и на собственной эстакаде [43]. Наличие эстакады позволяет располагать манипулятор напротив элемента автосцепного устройства, с которым предполагается обеспечить взаимодействие, что сокращает время на выполнение технологической операции в межвагонном пространстве. В случаях, когда размещение манипулятора не соответствует высоте элементов автосцепного устройства, с которыми осуществляется взаимодействие (в т.ч. в случаях, когда эксплуатируется несколько типов автосцепок с различными конструктивными особенностями выполнения расцепного механизма), для позиционирования манипулятора по высоте осуществляется с использованием отдельного привода [54].

В случае размещения направляющей над поверхностью земли ее выполняют в качестве рельса, на котором закрепляют раму каретки с манипулятором. Для перемещения рамы каретки при этом используют зубчатые рейки [55].

Известно решение [36], в котором манипулятор установлен на колесной мобильной платформе, представляющей собой ящик для хранения манипулятора, снабженный четырьмя колесами для перемещения вдоль состава. Манипулятор установлен на поворотной опорной плите, включающей в себя две наклонные плиты, нижние грани которых могут перемещаться за счет вращения шпильки, приводимой в движение двигателем. За счет этого также возможно регулировать высоту манипулятора относительно автосцепки.

Перемещение каретки в сторону горба горки и синхронизация ее скорости движения со скоростью движения надвигаемого состава может осуществляться, например, за счет механического взаимодействия с элементами последнего вагона формируемого отцепы вдоль его хребтовой балки с использованием специального устройства крепления [45]. Также синхронизация скоростей движения мобильной платформы и надвигаемого состава может достигаться принудительно за счет механической связи с тележкой вагона [56] или за счет балки, контактирующей с торцевой поверхностью вагона, предшествующего формируемому отцепу, в процессе взаимодействия с автосцепным устройством [53, 57]. Однако значительно чаще предлагаются решения, в рамках которых синхронизация достигается за счет управления приводом мобильной платформы по данным от системы технического зрения, как реализовано, например, в [51, 58].

Известны специальные устройства для определения скорости надвигаемого состава, устанавливаемые на каретке мобильной платформы. В частности, в [44, 59] предложено использовать специальный механизм для определения скорости движения надвигаемого состава в виде резинового ролика, прижимаемого к поверхности катания колеса вагона и вращающегося при его движении. Скорость вращения резинового ролика регистрируется с использованием энкодера. Зарегистрированное значение скорости передается в работу управляющему вычислительному комплексу. Там же для определения равенства скоростей движения каретки и надвигаемого состава используется устройство, включающее в себя нейлоновую пластину, касающуюся рамы тележки вагона, предшествующего формируемому отцепу. Регистрация соответствующим энкодером факта поворота нейлоновой пластины на угол в 30 градусов соответствует синхронизации скоростей надвигаемого состава и каретки мобильной платформы. В ряде случаев до момента синхронизации скоростей каретки мобильной платформы и надвигаемого состава используют только ускоренное движение [52].

Для управления движением колесной, гусеничной или колесно-гусеничной мобильной платформы, синхронизации скорости ее движения со скоростью надвигаемого состава и управления манипулятором используют систему восприятия окружающей среды, содержащую лидар, камеру (бинокулярная), GPS-приемник, инерциальный датчик и ультразвуковой датчик [38]. Для обеспечения безопасности персонала такую мобильную платформу оборудуют системой индикации, указывающей направление движения мобильной платформы или сигнализирующей о неподвижности.

Для перемещения каретки мобильной платформы в направлении, противоположном направлению движения надвигаемого состава, может осуществляться за счет электрического привода [45]. Возврат может осуществляться как в начальную ординату (в точку наибольшего удаления каретки мобильной платформы от горба горки), так и в следующую расчетную точку для осуществления ускоренного нагона автосцепки, подлежащей расцепке [52].

Известны решения, согласно которым движение рамы каретки мобильной платформы по направляющей как попутно надвигаемому составу, так и в обратном направлении осуществляется за счет перемещения соединенной с нею гусеничной ленты, которая в свою очередь приводит в движение ведущим колесом от асинхронного электропривода [41]. Следует отметить, что применение асинхронного тягового привода характерно и для оборудованных колесами рам кареток мобильных платформ, перемещающихся по направляющим рельсам [42].

Известны решения, в которых для управления перемещением рамы каретки мобильной платформы используют ременную [54] или зубчато-реечную передачу, шестерня которой связана с асинхронным двигателем, закрепленным на раме каретки [55, 56]. Последний вариант позволяет повысить точность позиционирования каретки относительно надвигаемого состава.

Для случая организации движения рамы каретки мобильной платформы по направляющим рельсам, уложенным на обочине пути надвига, важным является реализация мер по предотвращению опрокидывания робототехнического комплекса при переводе манипулятора из транспортировочного положения в рабочее. В частности, известны решения, в рамках которых каретка оснащена ходовыми колесами, взаимодействующими с поверхностью катания направляющих рельсов, и упорными колесами, взаимодействующими с боковыми поверхностями направляющих [42]. Стопорные и ходовые колеса могут быть выполнены стальными, что позволяет повысить срок их эксплуатации [56]. В случае применения в качестве направляющей только одного рельса для исключения опрокидывания рамы каретки используются два диска, поверхность которых находится в контакте с шейкой рельса [53]. При выполнении монорельса Н-образным поверхность катания ведущих колес перемещается по головке монорельса, а дополнительные зажимные колеса, предотвращающие раскачивание рамы мобильной платформы, перемещаются по подошве монорельса. Дополнительные колеса, упирающиеся в боковые грани головки монорельса, удерживают раму каретки от опрокидывания [48]. При этом Н-образный ходовой монорельс может снабжаться многочисленными ребрами жесткости. В качестве дополнительной меры по защите от опрокидывания для Н-образного монорельса предложено укладывать дополнительный рельс. К раме каретки со стороны дополнительного опорного рельса крепятся кронштейны, на которых закреплены колесо с неподвижной относительно рамы каретки осью вращения, перемещающееся по верхней грани дополнительного опорного рельса, и колесо, прижимаемое пружиной к нижней грани дополнительного опорного рельса [49].

По-разному авторами решается задача выполнения расцепки автосцепных устройств при наихудших условиях, к которым в первую очередь относится наличие в распускаемом составе «коротких» отцепов, состоящих из одного полувагона, длина которого по осям автосцепок составляет 14 м [60]. Достаточно часто применяется несколько кареток мобильной платформы [43, 61]. При этом в некоторых случаях каретки могут иметь специализацию и взаимодействовать с отцепами различной длины по осям автосцепок [62]. В соответствующем устройстве в его составе две каретки: одна предназначена для обработки коротких до 5 вагонов отцепов, вторая для обработки длинных отцепов.

Количество кареток, необходимых для выполнения расформирования состава предлагается определять соотношением между продолжительностью цикла расцепки – временем между стартом очередного цикла расцепки и моментом остановки возвращающейся против движения надвигаемого состава каретки мобильной платформы в ординате начала следующего цикла – и временем между стартом того же цикла выполнения расцепки и моментом подхода очередной автосцепки, подлежащей расцепке, в ординату начала следующего цикла [43].

Возможен вариант реализации робототехнического комплекса при стационарном размещении манипуляторов вдоль пути надвига. В таком варианте для расцепки используются клиновидные расцепные устройства, взаимодействующие с расцепным рычагом автосцепки, поднимающиеся при приближении к ним автосцепки, подлежащей расцепке. По окончании выполнения взаимодействия с расцепным рычагом автосцепки клиновидное расцепное устройство опускается в исходное положение [63].

Для управления манипулятором в проанализированных технических решениях используются различные типы приводов, например, пневматические [42, 64], электрические [65]. Для управления манипулятором с использованием сжатого воздуха чаще всего используют один или несколько специальных электромагнитных клапанов [42]. Электрический привод тем не менее является наиболее предпочтительным, поскольку позволяет построить систему с обратной связью в реальном времени для контроля выполнения взаимодействия с элементами автосцепного устройства, а также позволяет существенно сократить время на выполнение с его помощью технологической операции, включающее в себя время на перевод из транспортировочного положения в рабочее и обратно [65]. Известны решения, в которых манипулятор выполнен телескопическим [66].

Для управления манипулятором и регистрации факта выполнения расцепки часто предлагается использовать систему технического зрения, устанавливаемую на раме каретки мобильной платформы [43, 58, 61, 67]. При этом для определения глубины (расстояния до элементов автосцепного устройства) могут применяться бинокулярные камеры [57]. Для повышения точности работы системы технического зрения предложено использовать методы повышения контрастности и удаления шумов, а также оператор Кэнни для обнаружения границ [6]. Такие решения позволяют выполнять расцепку на скоростях до 7 км/ч [68].

Также предлагаются к применению решения, в которых факт выполнения расцепки регистрируется с использованием стационарного модуля идентификации, в частности камер подсистемы технического зрения [69]. В [70, 71] для регистрации факта формирования отцепа используют сравнение скорости отцепа, получаемой по скоростемеру за горбом горки, и скорости надвига. В случае невыполнения расцепки формируется соответствующее информационное сообщение горчному локомотиву.

Управляющий вычислительный комплекс для управления роботом-расцепщиком в ряде технических решений, в частности в [61], предлагается выполнять резервированным (дублированным). При этом в управляющий вычислительный комплекс предложено интегрировать функции мониторинга технического состояния и оповещения о неисправностях. Дополнительно в техническом решении используют автоматизированное рабочее место для отображения данных о работе комплекса с возможностью ручного управления роботом-расцепителем при возникновении нештатных ситуаций. Для контроля производственной среды робототехнического комплекса, включающей в себя природно-климатические условия (ветер, осадки, глубина снега) установлена система датчиков, в т.ч. датчики счета осей.

Известны и конкретные предложения по организации системы контроля текущего технического состояния робототехнического комплекса, предназначенного для расформирования составов. В соответствующем решении [72] система сенсоров контролирует параметры работы манипулятора (положение, скорость, приложенный крутящий момент). На основе сравнения регистрируемых данных осуществляется обнаружение неисправностей. Данные о работе манипулятора для последующего анализа могут быть представлены облаком точек и сопоставление осуществляется с облаком точек, характерных для исправного состояния комплекса. Для анализа данных также предложено применять кластерный анализ (K-Means, Density-based spatial clustering of applications with noise – DBSCAN). Оценка технического состояния выполняется как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. Предложены средства по организации предиктивных способов управления нелинейным перемещением РТК [73].

Для обеспечения электроснабжения оборудования, располагаемого на мобильной платформе, могут использоваться контактный рельс [49, 50], аккумуляторные батареи или же источник питания, устанавливаемый непосредственно на раме каретки мобильной платформы.

Следует отметить, что в мировой практике сложилось два подхода к организации процесса расцепления автосцепок. Для отечественных технических решений характерным является взаимодействие с цепью расцепного привода [52, 58], тогда как технические решения, предложенные авторами из Китайской Народной Республики преимущественно направлены на взаимодействие с расцепным рычагом [42, 64, 65, 74–78]. Расцепка при этом выполняется путем вращения разблокированного расцепного рычага автосцепки. Известны решения, взаимодействующие непосредственно с валиком подъемника автосцепки, например, [53].

Основные сложности при реализации соответствующих технических решений в Китайской Народной Республике является наличие нескольких эксплуатируемых типов автосцепок, различающихся между собой конструктивно. Также конструкция автосцепных устройств, эксплуатируемых в настоящее время в Китайской Народной Республике, накладывает дополнительное ограничение на зону выполнения расцепки, поскольку слишком раннее выполнение расцепки может привести к повторному соединению автосцепок, а более позднее не всегда может быть выполнено ввиду существенного ограничения на время выполнения операции – порядка 3–5 секунд [42] при скорости надвига 3–5 км/ч (таким образом дистанция, проходимая кареткой мобильной платформы РТК синхронно с автосцепным устройством, подлежащим расцеплению, составляет всего 8–10 м) [65]. Кроме того, существенное влияние на результаты выполнения взаимодействия с элементами автосцепного устройства оказывает степень износа оборудования и наличие ржавчины, поскольку при взаимодействии с расцепным рычагом у привода манипулятора должна быть предусмотрена возможность подъема расцепного рычага.

Несмотря на приведенные выше сложности, специалисты из КНР предлагают различные варианты выполнения универсальных манипуляторов, которые обеспечивают взаимодействие с любым типом автосцепок, в частности [65]. При этом робот-расцепщик TTG-DG01, обладающей системой технического зрения с временем реакции 100 мс, показывает 98 % эффективности формирования отцепов [79].

Возможность подъема расцепного рычага реализуется, как правило, за счет специального подъемного элемента – например, стержня, устанавливаемого в начале процесса расцепки в контакте с нижней плоскостью расцепного рычага и выводящего его плоскую часть из соответствующего прямоугольного паза фиксирующего кронштейна за счет подъема [64, 74–78]. При этом подъемный элемент стержневого типа и концевой захват (крюк) могут дополнительно снабжаться упругими вставками, обеспечивающими их подвижности при выполнении взаимодействия с расцепным рычагом автосцепки [80]. За счет этого становится возможным предотвратить жесткое соударение элементов манипулятора и расцепного рычага, а также предотвратить резкое увеличение нагрузки на двигатель в случае заклинивания расцепного рычага, возникшего, например, вследствие ржавчины или наледи. Концевой захват может быть закреплен на подвижной опоре устройства линейного привода, способной перемещаться вертикально [46]. Концевой захват может вращаться относительно точки своего закрепления на подвижной опоре. Известно решение [81], в котором оконечное устройство манипулятора для взаимодействия с расцепным рычагом автосцепки содержит две прижимные губки с V-образными канавками. Таким образом присутствует возможность регулирования параметров возврата прижимных губок в исходное состояние.

В отечественном уровне техники имеют место технические решения, направленные на повышение надежности выполнения расцепки при взаимодействии с цепью расцепного привода. Так известны технические решения [51, 82], в рамках которых предполагается выполнить взаимодействие с двумя цепями, одна из которых принадлежит автосцепному устройству последнего вагона формируемого отцепа, а другая – следующему за ним первому вагону следующего отцепа. При этом в [51] при возникновении ошибки в выполнении расцепки предложено формировать сигнал на остановку горочного локомотива и съём нерасцепленных вагонов с надвижной части сортировочной горки для повторения расцепки. В зарубежных решениях также известны варианты с использованием нескольких манипуляторов. Так в [47] модуль линейного перемещения – мобильная

платформа – снабжен двумя платформами для установки на них двух манипуляторов. Первый – короткий – осуществляет взаимодействие с расцепным рычагом автосцепки. Второй – длинный – осуществляет взаимодействие с элементами автосцепки.

Для определения положения мобильной платформы относительно автосцепки надвигаемого состава, подлежащей расцепке, могут применяться устройства счета осей [45, 63, 70]. Дополнительно могут применяться измерители скорости [43]. Известны решения, в которых начало перемещения каретки мобильной платформы осуществляется как по сигналам от внешнего путевого датчика (например, системы технического зрения, камеры которых устанавливаются стационарно, датчика счета осей или коротких рельсовых цепей [63]) или от системы технического зрения, установленной непосредственно на каретке [41]. Для определения параметров движения кареток для нагона автосцепок, подлежащих расцепке, чаще всего применяют устанавливаемую непосредственно на каретке бортовую систему управления [43]. В ряде технических решений, например, в [69], в наиболее удаленной от горба горки границе зоны действия робототехнического комплекса устанавливается модуль идентификации, представляющий собой систему технического зрения, обеспечивающей счет числа проследовавших вагонов, их номера, скорость движения, техническое состояние автосцепного устройства.

Для обнаружения межвагонного пространства с автосцепкой, подлежащей расцепке, могут применяться лидары. Так известны решения, в рамках которых предложено использовать систему из двух лидаров [44, 59]. При обнаружении проследования межвагонного пространства с автосцепкой, подлежащей расцепке, мобильная платформа приводится в движение. На базе применения лидара, размещаемого на базе мобильной платформы, также возможно реализовать систему подсчета числа вагонов, проследовавших мимо каретки мобильной платформы, что используется для управления перемещением РТК [48].

Известны различные подходы к организации информационного взаимодействия с внешними информационными и управляющими системами. В рамках одного технического решения [69] осуществляется управление горочным локомотивом: по первому целевому сигналу осуществляется движение на путь, занимаемый составом, готовым к роспуску. Далее – после успешной прицепки к составу – формируется второй целевой сигнал. По третьему целевому сигналу разрешается выполнять надвиг состава на сортировочную горку. При совпадении данных о надвигаемом составе от модуля идентификации с данными программы роспуска, формируется четвертый целевой сигнал на управление мобильной платформой РТК. В случае успешной расцепки формируется сигнал на движение горочного локомотива назад в парк прибытия.

В другом техническом решении, предложенном специалистами из Китайской Народной Республики сведения о параметрах отцепов поступают из станционной информационно-управляющей системы сортировочной станции (DCD-TH). Ожидаемое расположение автосцепки, подлежащей расцепке, получают из системы контроля расформирования составов на сортировочной горке (AITG). Значения скорости надвигаемого состава получают из системы сигнализации и мониторинга маневровых локомотивов (STP) [71].

В отечественном техническом решении, описанном в [82–84], информация о параметрах движения надвигаемого состава поступает из подсистемы горочной автоматической локомотивной сигнализации с передачей информации по радиоканалу (ГАЛС Р).

3. Тенденции развития средств роботизации для расформирования составов на сортировочных горках. С учетом вышеизложенного возможно сформулировать следующие тенденции развития технических средств в области расформирования составов на сортировочных горках:

- ♦ интеграция с внешними информационными и управляющими системами, в т.ч. с системами управления горочным локомотивом, для определения параметров надвигаемого состава и параметров формируемых отцепов, а также для сигнализирования о возникновении ошибок при формировании отцепов;
- ♦ применение мобильной платформы, направляющая которой размещается у поверхности земли на обочине пути надвига;

- ♦ применение асинхронного тягового привода для приведения в движение мобильной платформы как в направлении, совпадающем с направлением движения надвигаемого состава, так и в противоположном;
- ♦ применение стационарных датчиков на основе технического зрения, а также датчиков счета осей для определения пространственных координат автосцепов, подлежащих расцепке, в надвигаемом составе;
- ♦ обеспечение контроля технического состояния автосцепного устройства перед началом выполнения технологической операции по формированию очередного отцепа;
- ♦ применение подсистемы технического зрения, камеры которой размещаются непосредственно на каретке мобильной платформы для обнаружения автосцепки, подлежащей расцепке, управления процессом синхронизации скоростей движения каретки мобильной платформы и надвигаемого состава, позиционирования манипулятора и контроля выполнения с его помощью операции по формированию очередного отцепа; применение бинокулярных камер или лидаров для определения глубины;
- ♦ применение электрического привода манипулятора для снижения времени выполнения технологической операции по взаимодействию с цепью расцепного привода автосцепного устройства, а также автоматизации контроля результатов выполнения такого взаимодействия;
- ♦ применение средств диагностики для определения текущего технического состояния РТК.

Заключение. В результате выполнения исследования определен уровень техники и сформулированы тенденции развития средств роботизации для расформирования составов на сортировочной горке. Получены следующие основные результаты:

1. Подтверждена актуальность задачи разработки робототехнических комплексов для расформирования составов на сортировочных горках. Установлено, что лидирующими странами в области разработки и внедрения роботизированных решений для расформирования составов на сортировочной горке являются Российская Федерация и Китайская Народная Республика.

2. Установлено, что концепции построения РТК в нашей стране и в Китайской Народной Республике существенно различаются. Отличие заключается в том, что отечественные решения направлены на организацию взаимодействия с цепью расцепного привода, в то время как решения из КНР предлагают организовать взаимодействие манипулятора с расцепным рычагом, что существенно усложняет механику выполнения расцепления.

3. Обобщен мировой опыт в области построения средств роботизации технологических процессов для расформирования составов на сортировочной горке. Установлена необходимость тесной интеграции с внешними информационными и управляющими системами для обеспечения повышения перерабатывающей способности сортировочной горки и сортировочной станции в целом.

Научная новизна полученных результатов исследования заключается в систематизации научных, технических и технологических решений в области роботизации технологического процесса расформирования железнодорожных составов на сортировочных горках.

Практическая значимость результатов исследования заключается в формировании научного обоснования для разработки концептуального проекта перспективного робототехнического комплекса для расформирования составов на сортировочной горке, позволяющего увеличить эксплуатационные резервы за счет увеличения скорости надвигаемого состава, а также обеспечения работы комплекса технических средств при выполнении параллельного роспуска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгий А.И. Технологии интенсивного развития ОАО «РЖД» – эффективный ответ на современные вызовы // Железнодорожный транспорт. – 2025. – № 7. – С. 6-15. – EDN EUZNI.
2. Антонов А.А., Кузьмин В.С., Цыбанов И.А. Развитие технических средств для снижения производственного травматизма // Автоматика, связь, информатика. – 2022. – № 11. – С. 31-34. – DOI 10.34649/AT.2022.11.11.005. – EDN FLOCTZ.

3. Boddiford A.S. Improving the safety and efficiency of rail yard operations using robotics: дис. – 2013.
4. Долгий А.И. Цифровая железнодорожная станция как ключевой элемент повышения эффективности перевозочного процесса // Железнодорожный транспорт. – 2025. – № 9. – С. 7-11. – EDN GNMNAG.
5. Андреев В.Е., Долгий А.И., Кудюкин В.В., Хатламаджиян А.Е., Гришаев С.Ю., Ольгейзер И.А. Цифровая железнодорожная станция - от концепции к реальному внедрению // Автоматика, связь, информатика. – 2023. – № 9. – С. 2-6. – DOI 10.34649/AT.2023.9.9.001. – EDN WYCVAE.
6. Назимова С.А. ЦЖС: новая модель управления // Автоматика, связь, информатика. – 2025. – № 8. – С. 15-17. – EDN JHHQNA.
7. Андреев В.Е. Трансформация производственных процессов в эпоху цифровых технологий // Железнодорожный транспорт. – 2025. – № 9. – С. 4-6. – EDN NNZRPX.
8. Кудюкин В.В., Тарасов К.А., Чупахин Д.П. Робототехнический комплекс - компонент цифровой железнодорожной станции // Автоматика, связь, информатика. – 2023. – № 8. – С. 10-14. – DOI 10.34649/AT.2023.8.8.002. – EDN QYICSY.
9. Бочков А.В. Обзор заседаний секций научно-технического совета АО «НИИАС» в первом полугодии 2025 года // Интеллектуальный транспорт. – 2025. – Т. 9, № 2 (34). – С. 4-29. – EDN UIMKIG.
10. Долгий А.И., Хатламаджиян А.Е., Озеров А.В., Бочков А.В. Роботизация на железнодорожном транспорте // Интеллектуальный транспорт. – 2025. – Т. 9, № 3 (35). – С. 4-32. – EDN JCBFIE.
11. Долгий А.И. Концептуальный подход к построению современной платформы управления перевозочным процессом в ОАО «РЖД» // Тр. АО «НИИАС»: Сб. статей. Т. 1. Вып. 11. – М.: Типография АО «Т 8 Издательские Технологии», 2021. – С. 9-31. – EDN LCXFHD.
12. Хатламаджиян А.Е., Соколов В.Н., Ольгейзер И.А., Золотарев Ю.Ф. Развитие комплекса системобразующих технических решений цифровой станции // Тр. АО «НИИАС»: Сб. статей. Т. 2. Вып. 11. – М.: Типография АО «Т 8 Издательские Технологии», 2021. – С. 26-37. – EDN QPHIMZ.
13. Кудюкин В.В. Роботизация как необходимый элемент повышения эффективности процесса железнодорожных перевозок // Транспорт Российской Федерации. – 2023. – № 1-2(104-105). – С. 13-16. – EDN OZWXSU.
14. Сотников Е. А., Шенфельд К. П. Четвёртая промышленная революция и её влияние на железные дороги // Мир транспорта. – 2022. – Т. 20, № 6 (103). – С. 6-13. – DOI 10.30932/1992-3252-2022-20-6-1. – EDN IEECTN.
15. Розенберг Е.Н., Раков В.В., Вихрова Н.Ю. Цели и задачи проведения патентных исследований при разработке железнодорожной техники // Тр. АО «НИИАС»: Сб. статей. Т. 2. Вып. 11. – М.: Типография АО «Т 8 Издательские Технологии», 2021. – С. 287-297. – EDN DSTQKN.
16. Патент № 112455492 А Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/14. Unhooking and hooking device and control method thereof: 202011455498.2 : заявл. 10.12.2020; опубл. 09.03.2021 / Xie Xiaoyang, Zhang Zhiyong, Wei Feng, Zhang Gendong, Ren Liangyin, Luo Genyuan, Cui Yubo; заявитель Chongqing Cisaitech. Artificial Intelligence Technology Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN320827770> (дата обращения: 04.02.2026).
17. Патент № 120681188 А Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04, B61K 11/00. Railway hump hook lifting operation robot system and method: 202510828674.9: заявл. 20.06.2025; опубл. 23.09.2025 / Zhang Xuesong, Tan Ligang, Zang Yongli, Li Gang, Feng Jun, Zhang Xiaoqiang, Ren Jianzhong, Fu Wei, Song Yu, Yang Huachang, Zhang Xiaodong, Jiang Yuanhua, Zhang Liang, Liu Qing, Li Pide, Wang Wei, Zhai Ke, Wo Huaou, Liu Zhenghua, Yu Huai, Bao Xiaoyue, Xu Zhanying, Jin Xin, Luan Dejie, Gan Lu, Jiang Lu, Hou Xiaopeng, Su Yangping, Wang Jing, Ye Chunsheng, Wang Hongjia, Sun Haiyang, Tian Yu, Wang Zhenhong, Xu Yongmei, Jiang Jilei, Duan Yunjie, Hu Qiang, Gong Liang, Xu Wan'an, Li Bing, Xie Liang, Liu Wu, Bai Peng, Liu Pengfei, Wu Cuiya, Bai Pengfei, Li Ruichen, Tang Huidong, Ren Wanxing, Cao Ziyu, Han Bo; заявитель China Academy of Railway Sciences Group Co., Ltd., China State Railway Group Co., Ltd., Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Communication and Signaling Research Institute of China Academy of Railway Sciences Group Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN464967183> (дата обращения: 04.02.2026).
18. Патент № 118683589 А Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04. Universal train intelligent unhooking and rehooking system and method: 202410831562.4: заявл. 26.06.2024; опубл. 24.09.2024 / Yang Guoqing; заявитель Hubei Huadian Jiangling Power Generation Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN440603928> (дата обращения: 04.02.2026).
19. Патент № 115571185 В Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04. Automatic unhooking device for open wagon and working method: 202211211221.4: заявл. 30.09.2022; опубл. 06.01.2023 / Wang Guofeng, Zhang Guangyuan, Wang Junyan, He Yusheng; заявитель Shandong Jiaotong University. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN389993469> (дата обращения: 04.02.2026).

20. Патент № 3095666 B1 Европейское патентное ведомство, МПК B61G 7/04. Device for uncoupling an elongated screw coupling: 16166741: заявл. 22.04.2016: опубл. 23.11.2016 / Harrer Patrick, Hattinger Mathias, Pachler Martin, Zellner Christoph, Egger Martin, Stadlmann Burkhard, Zauner Gerald; заявитель Fh Ooe Forschungs & Entw Gmbh. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=EP179901459> (дата обращения: 04.02.2026).
21. Salger P., Jost F., Gratzfeld P. Autonomous Coupling System for Goods Rail Traffic a robotic solution for marshalling yards handling hook-and-chain couplings // 2018 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM). – IEEE, 2018. – P. 443–448.
22. Патент № 4594154 A1 Европейское патентное ведомство, МПК B61G 7/00, B61G 3/20, B61J 3/02, B61L 15/00, B61L 25/02, B61L 25/04. Method for disassembling and reassembling a train, automatic train coupling, and train: 23777166: заявл. 20.09.2023 : опубл. 06.08.2025 / Theilacker Robert, Kolshorn Kay Uwe; заявитель Voith Patent Gmbh. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=EP460453143> (дата обращения: 04.02.2026).
23. Махутов Н.А., Розенберг Е.Н., Андреев В. Е. [и др.]. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты: Обеспечение функциональной безопасности железнодорожного транспорта. – М.: АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте», 2024. – 504 с. – EDN BNHXJQV.
24. РЖД начали использовать робот-манипулятор, который занимается расцепкой вагонов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2023. – № 4-6. – С. 41. – EDN FIWRSO.
25. Кудюкин В.В., Озеров А.В. Векторы цифровой трансформации железных дорог // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – Т. 7, № 4 (28). – С. 18-24. – EDN SBPFZO.
26. Кудюкин В. В., Дудоров Е. А., Вукотов А. В., Котова К. А. Роботизация как элемент цифровой трансформации // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 5. – С. 19-23. – EDN NMAETQ.
27. Автоматизация работ в перегрузочных терминалах // Железные дороги мира. – 2015. – № 8. – С. 15-18. – EDN UBEDGP.
28. Shabelnikov A.N. Railway Sorting Robotics // In: Proceedings of the Fourth International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI’19). IITI 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 1156. – Springer, Cham, 2020. – https://doi.org/10.1007/978-3-030-50097-9_63.
29. Tan H., et al. An Integrated Robotic System for Autonomous Brake Bleeding in Rail Yards // International Conference on Intelligent Autonomous Systems. – Cham: Springer International Publishing, 2016. – P. 157-173.
30. Дудоров Е.А., Кудюкин В.В., Котова К.А. Робототехнические комплексы обслуживания подвижного состава российских железных дорог // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2022. – № 9 (750). – С. 3-15. – DOI 10.18698/0536-1044-2022-9-3-15. – EDN OANIVQ.
31. Дудоров Е.А., Котова К.А., Кудюкин В.В., Жиденко И.Г. Робототехнические комплексы для обслуживания подвижного состава // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2022. – № 1 (57). – С. 50-55. – EDN LGULAX.
32. Охотников А.Л., Зажигалкин А.В. Обзор ключевых технологий робототехники // Проблемы искусственного интеллекта. – 2025. – № 1 (36). – С. 141-155. – DOI 10.24412/2413-7383-141-155. – EDN YRDWLG.
33. Кудюкин В.В., Кукушкин С.С., Хакиев З.Б. Создание устойчивых и безопасных каналов передачи информации для управления робототехническими комплексами // Тр. АО «НИИАС»: Сб. статей. Т. 2. Вып. 11. – М.: Типография АО «Т 8 Издательские Технологии», 2021. – С. 209-215. – EDN KSPUUD.
34. Калинин А.В., Долганюк С.И., Савицкий А.Г. К вопросу построения системы управления технологическим процессом Цифровой станции // Тр. АО «НИИАС»: Сб. статей. Т. 2. Вып. 11. – М.: Типография АО «Т 8 Издательские Технологии», 2021. – С. 9-25. – EDN HRSUOA.
35. 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. – EDN YMSRJQ.
36. Kotova K., Dudorov E. and Kudyukin V. Manipulator Control System for Railroad Transport Coupling and Braking System Maintenance // 2021 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russian Federation, 2021. – P. 601-605. – doi: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537477.
37. Патент № 118343181 В Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04. Train unhooking robot and unhooking method: 202410642095.0: заявл. 23.05.2024: опубл. 16.07.2024 / Pei Chuanfu, Zhai Zhiyuan, Cheng Gong, Jiang Zhigang, Zhang Chunyu, Lu Ping, Meng Fanguang, Wu Wei, Wu Wenliang, Zhang Daorui; заявитель Huaneng Qinbei Power Generation Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN436449050> (дата обращения: 04.02.2026).

38. Патент № 113894765 А Китайская Народная Республика, МПК В25J 5/00, В25J 11/00, В61G 7/04. Automatic train unhooking robot and system: 202111136599.8: заявл. 27.09.2021: опубл. 07.01.2022 / Yang Guodong, Guo Renjie, Tian Yunong, Long Xiaoyu, Zhang Yanfeng, Li En, Li Zhishuo, Jing Fengshui, Liang Zize, Tan Min; заявитель Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN348114972> (дата обращения: 04.02.2026).
39. Yao J. *et al.* Design and its characteristic analysis of a wheeled train uncoupling robot with multi-degrees-of-freedom // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. – 2016. – Vol. 230. – I. 10. – P. 1673-1684.
40. Yao J. *et al.* Position and orientation error analysis and its compensation for a wheeled train uncoupling robot with four degrees-of-freedom // IET Intelligent Transport Systems. – 2015. – Vol. 9. – I. 2. – P. 156-166.
41. Патент № 2834370 С1 Российская Федерация, МПК В61G 7/04. Способ перемещения мобильной платформы робототехнического комплекса, предназначенного для роспуска железнодорожного подвижного состава на сортировочной горке: 2024113433: заявл. 17.05.2024: опубл. 06.02.2025 / Баранов А.И., Вукотов А.В., Соколова И.В., Хакиев З.Б., Кузьмин В.С.; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». – URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2834370&TypeFile=html (дата обращения: 04.02.2026).
42. Патент № 211617712 U Китайская Народная Республика, МПК В61G 7/04. Unhooking robot system for railway hump operation : 201922371071.3 : заявл. 26.12.2019 : опубл. 02.10.2020 / Zhang Xiaoqiang, Ma Yukun, An Di, Hu Gan, Li Kejia, Bao Lukun, Che Dehui, Zhang Liang, Zhang Defu, Ren Jianzhong, Li Yang, Ma Bin, Yu Wang, Yang Lin, Zhao Qingyu, Yang Guangwei; заявитель China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Institute of Transport and Economics, Shenyang Quickhigh Robot Application Technology Co., Ltd., China Railway Shenyang Group Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN308421034> (дата обращения: 04.02.2026).
43. Патент № 2450946 С1 Российская Федерация, МПК В61G 7/04. Система авторасцепки вагонов на сортировочной горке: 2010151130/11: заявл. 14.12.2010 : опубл. 20.05.2012 / Свердлов В.Б., Акмалов С.Г., Иргер Г.Ю.; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». – URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2450946&TypeFile=html (дата обращения: 04.02.2026).
44. Патент № 113428186 В Китайская Народная Республика, МПК В61G 7/04. Railway hump operation robot train speed sharing device: 202110826519.5: заявл. 21.07.2021: опубл. 24.09.2021 / Deng Pingping, Yu Wang, Wang Chen, Zhang Dehua; заявитель Shenyang Qihui Robot Application Technology Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN338610815> (дата обращения: 04.02.2026).
45. Патент № 208715207 U Китайская Народная Республика, МПК В61G 7/00, В61G 7/04. Be applied to automatically unhook equipment that railway freight car breaks off relations: 201821190383.3: заявл. 25.07.2018: опубл. 09.04.2019 / Sun Kai; заявитель Sun Kai. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN241361309> (дата обращения: 04.02.2026).
46. Патент № 219584182 U Китайская Народная Республика, МПК В61G 7/04. Unhooking device and system: 202320871248.X: заявл. 18.04.2023: опубл. 25.08.2023 / Feng Bin, Zhang Aimin, Zhang Ye, Sun Linfeng, Xie Yingchun, Tang Fei, Hu Xiaodong, Li Kun, Li Wei, Li Runqiang; заявитель Shaanxi Yuheng Railway Co., Ltd., Sichuan Guoruan Science & Technology Group Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN406567207> (дата обращения: 04.02.2026).
47. Патент № 113942539 В Китайская Народная Республика, МПК В61G 7/04. Decoupling and re-hooking robot and decoupling and hooking operation method thereof: 202110496954.6: заявл. 07.05.2021: опубл. 18.01.2022 / Huang Shuguang, Yang Xinhang, Wang Rugui, Yang Tao, Yao Xin; заявитель Proliance Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN349223109> (дата обращения: 04.02.2026).
48. Патент № 113844488 А Китайская Народная Республика, МПК В61G 7/04, В61D 15/00. Railway hump operation lifting hook walking device: 202110837847.5: заявл. 12.11.2021: опубл. 28.12.2021 / Wang Chen, Yu Wang, Deng Pingping, Zhang Dehua; заявитель Shenyang Qihui Robot Application Technology Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN346980478> (дата обращения: 04.02.2026).
49. Патент № 119017354 В Китайская Народная Республика, МПК В25J 5/02, В25J 15/00, В25J 19/02, В25J 9/00, В25J 9/04, В61G 7/04. Hook lifting robot for railway hump operation: 202411496212.3: заявл. 25.10.2024: опубл. 26.11.2024 / Yu Wang, Hou Wenqi, Liu Xiaolei, Deng Pingping, Li Shuai, Liu Fuwang, Bai Xiaoshuang, Fu Yukun, Zhang Chunlei, Yang Dawei, Sun Jianbo, He Tao, Zhao Qing; заявитель Shenyang Quickhigh Robot Application Technology Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN443852489> (дата обращения: 04.02.2026).

50. Патент № 120921331 А Китайская Народная Республика, МПК B25J 5/02, B25J 9/00, B25J 15/00, B25J 17/00, B25J 19/00. Hump operation lifting hook robot: 202511189841.6: заявл. 25.08.2025: опубл. 11.11.2025 / Yu Wang, Xia Guanxi, Su Zhefeng, Li Yingbo, Tian Chenming, Feng Rui, Sun Tao, Hu Ying; заявитель Shenyang Qihui Robotics Application Technology Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN468572793> (дата обращения: 04.02.2026).
51. Патент № 216043 U1 Российская Федерация, МПК B61G 7/04. Устройство автоматического расцепления вагонов: 2022128548: заявл. 02.11.2022: опубл. 16.01.2023 / Сергеев А.А., Заец А.А., Дубовицкий А.В., Буровских Д.В., Шишкович А.Д.; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации. – URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=216043&TypeFile=html (дата обращения: 04.02.2026).
52. Патент № 2728968 C1 Российская Федерация, МПК B61G 7/04. Способ автоматического расцепления автосцепок движущихся вагонов и устройство его осуществления: 2019132718: заявл. 16.10.2019: опубл. 03.08.2020 / Зайков В.Н.; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». – URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2728968&TypeFile=html (дата обращения: 04.02.2026).
53. Патент № 2700208 C1 Российская Федерация, МПК B61G 7/04. Устройство для автоматического расцепления вагонов движущихся поездов: 2018140628: заявл. 19.11.2018 : опубл. 13.09.2019 / Панин Ю.А., Матях Д.И.; заявитель Акционерное общество Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (АО «ВНИКТИ»). – URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2700208&TypeFile=html (дата обращения: 04.02.2026).
54. Патент № 102616247 В Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04, B25J 5/02. Train unhooking robot: 201210081425.0: заявл. 26.03.2012 : опубл. 01.08.2012 / Yao Jianjun, Jiang Guilin, Di Duotao, Li Qiyue, Deng Kunxiu, Wang Hongguang, Wang Maolin, Li Shaoyuan, Ye Xiaohong; заявитель Harbin Engineering University. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN85249970> (дата обращения: 04.02.2026).
55. Патент № 109940580 В Китайская Народная Республика, МПК B25J 5/02, B25J 9/12, B25J 18/00, B61G 7/04. Frame-type railway unhooking manipulator: 201910242291.8: заявл. 28.03.2019: опубл. 28.06.2019 / Guo Zhongfeng, Zhang Yuanbo, Xu Bowen, Pan Jian; заявитель Shenyang University of Technology. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN248492461> (дата обращения: 04.02.2026).
56. Патент № 211617713 U Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04. Railway hump operation unhooking robot walking system: 201922373421.X: заявл. 26.12.2019: опубл. 02.10.2020 / Zhang Xiaoqiang, Ma Yukun, An Di, Bao Lukun, Li Kejia, Hu Gan, Che Dehui, Zhang Liang, Zhang Defu, Ren Jianzhong, Li Yang, Ma Bin, Yu Wang, Yang Lin; заявитель China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Institute of Transport and Economics, Shenyang Quickhigh Robot Application Technology Co., Ltd., China Railway Shenyang Group Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN308421096> (дата обращения: 04.02.2026).
57. Патент № 116985862 В Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04. Automatic unhooking device for train: 202311180696.6: заявл. 13.09.2023: опубл. 03.11.2023 / Ni Wenbo, Liu Zhiquan, Wang Xuemei, Liu Yakang, Yang Xudong, Diao Shun, Liu Zeyi, Li Wenhao; заявитель Southwest Jiaotong University. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN414536702> (дата обращения: 04.02.2026).
58. Патент № 208417 U1 Российская Федерация, МПК B61G 7/04. Промышленный робот для автоматического расцепления движущихся грузовых вагонов: 2021121688: заявл. 21.07.2021 : опубл. 17.12.2021 / Садуев Р. Р.; заявитель Садуев Р. Р. – URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=208417&TypeFile=html (дата обращения: 04.02.2026).
59. Патент № 216401430 U Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04. Railway hump operation robot train speed sharing device: 202121664834.4: заявл. 21.07.2021: опубл. 29.04.2022 / Deng Pingping, Yu Wang, Wang Chen, Zhang Dehua; заявитель Shenyang Qihui Robot Application Technology Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN360669205> (дата обращения: 04.02.2026).
60. Кудюкин В.В., Вуколов А.В., Кузьмин В.С. Имитационное моделирование работы робототехнических комплексов, предназначенных для расформирования составов на сортировочных горках // Автоматика на транспорте. – 2025. – Т. 11, № 1. – С. 16-29. – DOI 10.20295/2412-9186-2025-11-01-16-29. – EDN UBHDRQ.

61. Патент № 110386164 А Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/00, G05B 19/042. Intelligent unhooking system for railroad freight transportation and method: 201910708496.0: заявл. 01.08.2019 : опубл. 29.10.2019 / Shao Zhiguo, Zhou Runsheng, Xie Ping, Sun Changhui; заявитель Dalian Great Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN276144626> (дата обращения: 04.02.2026).
62. Патент № 2732676 С1 Российская Федерация, МПК B61G 7/04, B61C 17/12, B25J 5/00. Устройство для расцепления железнодорожных вагонов: 2020112217: заявл. 25.03.2020: опубл. 21.09.2020 / Волков А.В., Грибков О.И., Лозовский Е.Ю., Волкова А.В., Стручалин В.Г., Яшкин А.П.; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), РУТ (МИИТ)). – URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2732676&TypeFile=html (дата обращения: 04.02.2026).
63. Патент № 115195810 В Китайская Народная Республика, МПК B61K 11/00, B61G 7/04. A kind of automatic operation method and operation system of hook lifting in hump shunting dismantling operation: 202210915731.3: заявл. 01.08.2022: опубл. 18.10.2022 / Yue Hao, Xia Shengli, Qiu Shuai; заявитель Beijing Jiaotong University. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN377436039> (дата обращения: 04.02.2026).
64. Патент № 113460111 В Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/14. Hook lifting mechanical arm of railway hump operation robot: 202110819519.2 : заявл. 20.07.2021: опубл. 01.10.2021 / Yu Wang, Deng Pingping, Zhang Dehua, Wang Chen; заявитель Shenyang Qihui Robot Application Technology Co., Ltd. – URL: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN339141369&_cid=P21-MKY3MC-97306-1 (дата обращения: 04.02.2026).
65. Патент № 218661815 U Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04, B61G 7/14. Automatic unhooking robot for railway hump operation: 202223279377.4: заявл. 08.12.2022: опубл. 21.03.2023 / Yu Wang, Deng Pingping, Zhang Dehua, Wang Chen; заявитель Shenyang Quickhigh Robot Application Technology Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN394547868> (дата обращения: 04.02.2026).
66. Патент № 219428128 U Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04. Position adjusting device and unhooking system: 202320875778.1: заявл. 18.04.2023 : опубл. 28.07.2023 / Zhou Jun, Shi Lei, Qin Fulin, He Xiaohui, Wang Zhigang, Mo Quanhui, Xu Dong, Chen Yuxiang; заявитель Sichuan Guoruan Science & Technology Group Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN404020527> (дата обращения: 04.02.2026).
67. Патент № 119795198 В Китайская Народная Республика, МПК B25J 9/16, B61G 7/04, G06V 20/56, G06V 10/22, G06V 10/25, G06V 10/20. Operation control method and system of unhooking robot : 202510300569.8: заявл. 14.03.2025: опубл. 11.04.2025 / Deng Pingping, Yu Wang, Hou Wenqi, Wei Yuanyi, Wang Jian, Han Fei, Wang Hongyu, Zhang Chunlei, Liu Xiaoliang, Liu Fuwang, Li Shuai, Yu Xuying, Lian Yaqi; заявитель Shenyang Quickhigh Robot Application Technology Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN454503441> (дата обращения: 04.02.2026).
68. Boddiford A. et al. Autonomous Robotic System for Pin Pulling Operation in Rail Yard //International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference. – American Society of Mechanical Engineers, 2015. – Vol. 57137. – P. V05BT08A022.
69. Патент № 118618454 А Китайская Народная Республика, МПК B61L 27/00, B61L 27/04, B61L 15/00, B61L 23/00, B61G 7/04. Automatic hump disintegration system and method : 202410659790.8: заявл. 27.05.2024: опубл. 10.09.2024 / Li Jiazhuang, Zheng Junping, Jiang Qiulin, Fang Ming, Gong Chaosheng; заявитель Wuhan Iron & Steel Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN439199677> (дата обращения: 04.02.2026).
70. Патент № 2379206 С1 Российская Федерация, МПК B61G 1/00. Устройство авторасцепки грузовых вагонов: 2008116430/11: заявл. 29.04.2008: опубл. 20.01.2010 / Иргер Г.Ю., Костоусов В.Б., Перевалов Д.С., Свердлов В.Б.; заявитель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». – URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2379206&TypeFile=html (дата обращения: 04.02.2026).
71. Патент № 115837924 А Китайская Народная Республика, МПК B61L 23/00. Hump intelligent hook lifting result detection method : 202211530797.7: заявл. 01.12.2022: опубл. 24.03.2023 / Ji Haipeng, Hou Xihong, Shi Chenjun, Zhou Yinzhui, Xiao Yunxiang, Zhao Xueyou, Li Jun, Liu Xu, Ding Jian, Wang Shijie, Zhang Xiaohui, Wu Jinyuan, Ni Qi, Liu Shuling, Zheng Yuzhu; заявитель Tianjin Development Zone Jingnuo Hanhai Data Technology Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN395075268> (дата обращения: 04.02.2026).
72. Патент № 119820630 В Китайская Народная Республика, МПК B25J 19/00, B25J 9/16, G01M 99/00, B61G 7/04, G06F 18/23, G06N 20/00. State self-checking system of unhooking robot: 202510307782.1: заявл. 17.03.2025 : опубл. 15.04.2025 / Deng Pingping, Yu Wang, Hou Wenqi, Wei Yuanyi, Wang Jian, Han Fei, Wang Hongyu, Zhang Chunlei, Liu Xiaoliang, Guo Quanxing, Bai Xiaoshuang, Sun Jianbo; заявитель Shenyang Quickhigh Robot Application Technology Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN454520116> (дата обращения: 04.02.2026).

73. Han Y., Wang C., Yao J. Train Coupling Robot Based on Extended Implicit Self-Correction Generalized Predictive Control // 2024 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA). – IEEE, 2024. – P. 1484-1489.
74. Патент № 219428126 U Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04. Train unhooking device : 202320871246.0: заявл. 18.04.2023: опубл. 28.07.2023 / Zhao Guozhi, Li Weiping, Liu Hong, Xue Yancheng, Liu Hongzhou, Wang Zuodong, Qin Yulong, Li Kun, Li Wei, Yang Daixu, Li Runqiang; заявитель Shaanxi Yuheng Railway Co., Ltd., Sichuan Guoruan Science & Technology Group Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN404024542> (дата обращения: 04.02.2026).
75. Патент № 219428130 U Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04. Unhooking device and system with unlocking function: 202320880542.7: заявл. 18.04.2023: опубл. 28.07.2023 / Zhou Jun, He Xiaohui, Shi Lei, Mo Quanhu, Wang Zhigang, Gao Xuchao, Liu Weiwei, Li Wei; заявитель Sichuan Guoruan Science & Technology Group Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN404024554> (дата обращения: 04.02.2026).
76. Патент № 219428129 U Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04. Unhooking system: 202320875786.6: заявл. 18.04.2023: опубл. 28.07.2023 / Zhou Jun, Xu Dong, Shi Lei, Mo Quanhu, Wang Zhigang, He Xiaohui, Lei Hubing, Chen Yuxiang, Chen Xiaoyu; заявитель Sichuan Guoruan Science & Technology Group Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN404020528> (дата обращения: 04.02.2026).
77. Патент № 216401431 U Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/14. Hook lifting manipulator of railway hump operation robot: 202121653070.9: заявл. 20.07.2021 : опубл. 29.04.2022 / Yu Wang, Deng Pingping, Zhang Dehua, Wang Chen; заявитель Shenyang Qihui Robot Application Technology Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN360669168> (дата обращения: 04.02.2026).
78. Патент № 113525445 A Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/14. Automatic unhooking robot for railway hump operation: 202110844475.9: заявл. 26.07.2021: опубл. 22.10.2021 / Yu Wang, Deng Pingping, Zhang Dehua, Wang Chen; заявитель Shenyang Qihui Robot Application Technology Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN340389056> (дата обращения: 04.02.2026).
79. Озеров А.В., Бочков А.В. Текущее состояние и перспективы мировых исследований в области интеллектуального железнодорожного транспорта // Интеллектуальный транспорт. – 2025. – Т. 9, № 2 (34). – С. 43-66. – EDN QFUBXM.
80. Патент № 118810854 A Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04. Mechanical unhooking device, unhooking system and unhooking method: 202310415783.9: заявл. 18.04.2023: опубл. 22.10.2024 / Zhao Guozhi, Feng Bin, Zhang Zhichun, Zhang Aimin, Pang Libo, Sun Linfeng, Ma Junjie, Ning Xiaoli, Liu Yuxin, Shi Lei, He Xiaohui, Yang Daixu, Li Runqiang; заявитель Shaanxi Yuheng Railway Co., Ltd., Sichuan Guoruan Science & Technology Group Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN442100658> (дата обращения: 04.02.2026).
81. Патент № 219806817 U Китайская Народная Республика, МПК B61G 7/04. Clamping type unhooking clamp, device and system: 202320875791.7: заявл. 18.04.2023: опубл. 10.10.2023 / Zhou Jun, Shi Lei, He Xiaohui, Mo Quanhu, Wang Zhigang, Yuan Huaguo, Liu Weiwei, Gao Xuchao, Yang Baihai; заявитель Sichuan Guoruan Science & Technology Group Co., Ltd. – URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN411450932> (дата обращения: 04.02.2026).
82. Патент № 2732676 C1 Российская Федерация, МПК B61G 7/04, B61C 17/12, B25J 5/00. Устройство для расцепления железнодорожных вагонов: 2020112217: заявл. 25.03.2020: опубл. 21.09.2020 / Волков А.В., Грибков О.И., Лозовский Е.Ю., Волкова А.В., Стручалин В.Г., Яшкин А.П.; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ), РУТ (МИИТ). – URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2732676&TypeFile=html (дата обращения: 04.02.2026).
83. Стрельникова Э.Н., Яшкин А.П., Нарусова Е.Ю., Стручалин В.Г. Разработка автоматизированных электронно-механических устройств по отцепке вагонов железнодорожного состава // Современные вызовы транспортной отрасли: новые возможности: Матер. межвузовской научно-практической конференции транспортных вузов, Санкт-Петербург, 04–06 апреля 2023 года. – М.: Изд-во «Перо», 2023. – С. 431-435. – EDN AQKXHF.
84. Struchalin V.G. et al. Development of robotic systems to improve the safety of railway transport operations // 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus). – IEEE, 2022. – P. 1749-1752.

REFERENCES

1. Dolgii A.I. Tekhnologii intensivnogo razvitiya OAO «RZhD» – effektivnyy otvet na sovremennyye vyzovy [Technologies of intensive development of JSC «Russian Railways» - an effective response to modern challenges], *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway Transport], 2025, No. 7, pp. 6-15. EDN EUZNII.
2. Antonov A.A., Kuz'min V.S., Tsybanov I.A. Razvitie tekhnicheskikh sredstv dlya snizheniya proizvodstvennogo travmatizma [Development of technical means for reducing industrial injuries], *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, Communication, Informatics], 2022, No. 11, pp. 31-34. DOI 10.34649/AT.2022.11.11.005. EDN FLOCTZ.
3. Boddiford A.S. Improving the safety and efficiency of rail yard operations using robotics: Dissertation, 2013.
4. Dolgii A.I. Tsifrovaya zheleznodorozhnaya stantsiya kak klyuchevoy element povysheniya effektivnosti perevoznogo protsesssa [Digital railway station as a key element for improving the efficiency of the transportation process], *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway Transport], 2025, No. 9, pp. 7-11.
5. Andreev V.E., Dolgii A.I., Kudyukin V.V., Xatlamadzhian A.E., Grishaev C.Yu., Ol'geizer I.A. Tsifrovaya zheleznodorozhnaya stantsiya - ot kontseptsii k real'nomu vnedreniyu [Digital railway station - from concept to real implementation], *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, Communication, Informatics], 2023, No. 9, pp. 2-6.
6. Nazimova S.A. TsZhS: novaya model' upravleniya [Digital Railway Station: new management model], *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, Communication, Informatics], 2025, No. 8, pp. 15-17. EDN JHHQNA.
7. Andreev V.E. Transformatsiya proizvodstvennykh protsessov v epokhu tsifrovyykh tekhnologiy [Transformation of production processes in the era of digital technologies], *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway Transport], 2025, No. 9, pp. 4-6. EDN NNZRPX.
8. Kudyukin V.V., Tarasov K.A., Chupakhin D.P. Robototekhnicheskyy kompleks - komponent tsifrovoy zheleznodorozhnoy stantsii [Robotic complex - a component of the digital railway station], *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, Communication, Informatics], 2023, No. 8, pp. 10-14. DOI 10.34649/AT.2023.8.8.002. EDN QYICSY.
9. Bochkov A.V. Obzor zasedaniy sektsiy nauchno-tekhnicheskogo soveta AO «NIAS» v pervom polugodii 2025 goda [Review of meetings of sections of the Scientific and Technical Council of JSC «NIAS» in the first half of 2025], *Intellektual'nyy transport* [Intelligent Transport], 2025, Vol. 9, No. 2 (34), pp. 4-29. EDN UIMKIG.
10. Dolgii A.I., Xatlamadzhian A.E., Ozerov A.V., Bochkov A.V. Robotizatsiya na zheleznodorozhnom transporte [Robotization in railway transport], *Intellektual'nyy transport* [Intelligent Transport], 2025, Vol. 9, No. 3 (35), pp. 4-32. EDN JCBFIE.
11. Dolgii A.I. Kontseptual'nyy podkhod k postroeniyu sovremennoy platformy upravleniya perevoznym protsessom v OAO «RZhD» [Conceptual approach to building a modern platform for managing the transportation process in JSC «Russian Railways»], *Trudy AO «NIAS»* [Proceedings of JSC «NIAS»], 2021, Vol. 1, No. 11, pp. 9-31.
12. Xatlamadzhian A.E., Sokolov V.N., Ol'geizer I.A., Zolotarev Yu.F. Razvitie kompleksa sistemoobrazuyushchikh tekhnicheskikh resheniy tsifrovoy stantsii [Development of a complex of system-forming technical solutions for the digital station], *Trudy AO «NIAS»* [Proceedings of JSC «NIAS»], 2021, Vol. 2, No. 11, pp. 26-37.
13. Kudyukin V.V. Robotizatsiya kak neobkhodimyy element povysheniya effektivnosti protsesssa zheleznodorozhnykh perevozok [Robotization as a necessary element for improving the efficiency of the railway transportation process], *Transport Rossiiskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation], 2023, No. 1-2 (104-105), pp. 13-16.
14. Sotnikov E.A., Shenfel'd K.P. Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya i ee vliyanie na zheleznyye dorogi [The fourth industrial revolution and its impact on railways], *Mir transporta* [World of Transport and Transportation], 2022, Vol. 20, No. 6(103), pp. 6-13.
15. Rosenberg E.N., Rakov V.V., Vikhrova N.Yu. Tseli i zadachi provedeniya patentnykh issledovaniy pri razrabotke zheleznodorozhnoy tekhniki [Goals and objectives of conducting patent research in the development of railway equipment], *Trudy AO «NIAS»* [Proceedings of JSC «NIAS»], 2021, Vol. 2, No. 11, pp. 287-297.
16. Patent 112455492 (CN). Unhooking and hooking device and control method thereof, 2021. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN320827770> (accessed 04 February 2026).
17. Patent 120681188 (CN). Railway hump hook lifting operation robot system and method, 2025. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN464967183> (accessed 04 February 2026).
18. Patent 118683589 (CN). Universal train intelligent unhooking and rehooking system and method, 2024. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN440603928> (accessed 04 February 2026).

19. Patent 115571185 (CN). Automatic unhooking device for open wagon and working method, 2023. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN389993469> (accessed 04 February 2026).
20. Patent 3095666 (EP). Device for uncoupling an elongated screw coupling, 2016. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=EP179901459> (accessed 04 February 2026).
21. Salger P., Jost F., Gratzfeld P. Autonomous Coupling System for Goods Rail Traffic a robotic solution for marshalling yards handling hook-and-chain couplings, *2018 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*. IEEE, 2018, pp. 443-448.
22. Patent 4594154 (EP). Method for disassembling and reassembling a train, automatic train coupling, and train, 2025.
23. Makhutov N.A., Rosenberg E.N., Andreev V.E. [et al.]. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty: Obespechenie funktsional'noy bezopasnosti zheleznodorozhnogo transporta [Safety of Russia. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects: Ensuring functional safety of railway transport]. Moscow: AO «Nauchno-issledovatel'skiy i proektno-konstruktorskiy institut informatizatsii, avtomatizatsii i svyazi na zheleznodorozhnom transporte», 2024, 504 p. EDN BHXJQV.
24. RZhd nachali ispol'zovat' robot-manipulyator, kotoryy zanimaetsya rastsepkoy vagonov [Russian Railways began using a robot manipulator for uncoupling wagons], *Elektronika i elektrooborudovanie transporta* [Electronics and Electrical Equipment of Transport], 2023, No. 4-6, pp. 41. EDN FIWRSO.
25. Kudyukin V.V., Ozerov A.V. Vektory tsifrovoy transformatsii zheleznykh dorog [Vectors of digital transformation of railways], *Nauka i tekhnologii zheleznykh dorog* [Science and Technologies of Railways], 2023, Vol. 7, No. 4 (28), pp. 18-24. EDN SBPFZO.
26. Kudyukin V.V., Dudorov E.A., Vukolov A.V., Kotova K.A. Robotizatsiya kak element tsifrovoy transformatsii [Robotization as an element of digital transformation], *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway Transport], 2022, No. 5, pp. 19-23. EDN NMAETQ.
27. Avtomatizatsiya rabot v peregruzochnykh terminalakh [Automation of work in transshipment terminals], *Zheleznye dorogi mira* [Railways of the World], 2015, No. 8, pp. 15-18. EDN UBEDGP.
28. Shabelnikov A.N. Railway Sorting Robotics, In: *Proceedings of the Fourth International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'19). IITI 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 1156*. Springer, Cham, 2020. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-030-50097-9_63.
29. Tan H., et al. An Integrated Robotic System for Autonomous Brake Bleeding in Rail Yards, *International Conference on Intelligent Autonomous Systems*. Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 157-173.
30. Dudorov E.A., Kudyukin V.V., Kotova K.A. Robototekhnicheskie komplekсы obsluzhivaniya podvizhnogo sostava rossiiskikh zheleznykh dorog [Robotic complexes for servicing rolling stock of Russian railways], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie* [Proceedings of Higher Educational Institutions. Mechanical Engineering], 2022, No. 9 (750), pp. 3-15. EDN OANIVQ.
31. Dudorov E.A., Kotova K.A., Kudyukin V.V., Zhidenko I.G. Robototekhnicheskie komplekсы dlya obsluzhivaniya podvizhnogo sostava [Robotic complexes for servicing rolling stock], *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopolii: Tekhnika zheleznykh dorog* [Bulletin of the Institute for Natural Monopoly Problems: Railway Engineering], 2022, No. 1 (57), pp. 50-55. EDN LGULAX.
32. Okhotnikov A.L., Zazhigalkin A.V. Obzor klyuchevykh tekhnologiy robototekhniki [Review of key robotics technologies], *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of Artificial Intelligence], 2025, No. 1 (36), pp. 141-155. EDN YRDWLG.
33. Kudyukin V.V., Kukushkin S.S., Khakiev Z.B. Sozdanie ustoichivyykh i bezopasnykh kanalov peredachi informatsii dlya upravleniya robototekhnicheskimi kompleksami [Creating stable and secure information transmission channels for managing robotic complexes], *Trudy AO «NIAS»* [Proceedings of JSC «NIAS»], Vol. 2, Issue 11. M.: Tipografiya AO «T 8 Izdatel'skie Tekhnologii», 2021, pp. 209-215. EDN KSPUUD.
34. Kalinin A.V., Dolganyuk S.I., Savitskiy A.G. K voprosu postroeniya sistemy upravleniya tekhnologicheskim protsessom Tsifrovoy stantsii [On the issue of building a control system for the technological process of the Digital Station], *Tr. AO «NIAS»* [Proceedings of JSC «NIAS»], Vol. 2, Issue 11. Moscow: Tipografiya AO «T 8 Izdatel'skie Tekhnologii», 2021, pp. 9-25. – EDN HRSUOA.
35. Dudorov E.A., Kotova K.A. Sistema upravleniya manipulyatorom robototekhnicheskogo kompleksa dlya obsluzhivaniya mekhanizmov stepki i tormoznoy sistemy zheleznodorozhnykh vagonov [Control system for the manipulator of a robotic complex for servicing coupling mechanisms and brake system of railway wagons], *Aktual'nye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya* [Current Problems of Modern Science, Technology and Education], 2021, Vol. 12, No. 1, pp. 58-64. – EDN YMSRJQ.

36. Kotova K., Dudorov E. and Kudyukin V. Manipulator Control System for Railroad Transport Coupling and Braking System Maintenance, *2021 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russian Federation, 2021*, pp. 601-605. doi: 10.1109/RusAutoCon52004.2021.9537477.
37. Patent 118343181 (CN). Train unhooking robot and unhooking method, 2024. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN436449050> (accessed 04 February 2026).
38. Patent 113894765 (CN). Automatic train unhooking robot and system, 2022. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN348114972> (accessed 04 February 2026).
39. Yao J. et al. Design and its characteristic analysis of a wheeled train uncoupling robot with multi-degrees-of-freedom, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 2016, Vol. 230, I. 10, pp. 1673-1684.
40. Yao J. et al. Position and orientation error analysis and its compensation for a wheeled train uncoupling robot with four degrees-of-freedom, *IET Intelligent Transport Systems*, 2015, Vol. 9, I. 2, pp. 156-166.
41. Patent 2834370 (RU). Sposob peremeshcheniya mobil'noy platformy robototekhnicheskogo kompleksa, prednaznachennogo dlya rospuska zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava na sortirovochnoy gorke [Patent 2834370 (RU). Method for moving a mobile platform of a robotic complex intended for disbanding railway rolling stock on a sorting hump], 2025. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2834370&TypeFile=html (accessed 04 February 2026).
42. Patent 211617712 (CN). Unhooking robot system for railway hump operation, 2020. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN308421034> (accessed 04 February 2026).
43. Patent 2450946 (RU). Sistema avtorastsepki vagonov na sortirovochnoy gorke [Patent 2450946 (RU). System for automatic uncoupling of cars on a sorting hump], 2012. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2450946&TypeFile=html (accessed 04 February 2026).
44. Patent 113428186 (CN). Railway hump operation robot train speed sharing device, 2021. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN338610815> (accessed 04 February 2026).
45. Patent 208715207 (CN). Be applied to automatically unhook equipment that railway freight car breaks off relations, 2019. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN241361309> (accessed 04 February 2026).
46. Patent 219584182 (CN). Unhooking device and system, 2023. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN406567207> (accessed 04 February 2026).
47. Patent 113942539 (CN). Decoupling and re-hooking robot and decoupling and hooking operation method thereof, 2022. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN349223109> (accessed 04 February 2026).
48. Patent 113844488 (CN). Railway hump operation lifting hook walking device, 2021. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN346980478> (accessed 04 February 2026).
49. Patent 119017354 (CN). Hook lifting robot for railway hump operation, 2024. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN443852489> (accessed 04 February 2026).
50. Patent 120921331 (CN). Hump operation lifting hook robot, 2025. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN468572793> (accessed 04 February 2026).
51. Patent 216043 (RU). Ustroystvo avtomaticheskogo rastsepleniya vagonov [Patent 216043 (RU). Device for automatic uncoupling of cars], 2023. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=216043&TypeFile=html (accessed 04 February 2026).
52. Patent 2728968 (RU). Sposob avtomaticheskogo rastsepleniya avtostepok dvizhushchikhsya vagonov i ustroystvo ego osushchestvleniya [Patent 2728968 (RU). Method for automatic uncoupling of moving car couplers and device for its implementation], 2020. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2728968&TypeFile=html (accessed 04 February 2026).
53. Patent 2700208 (RU). Ustroystvo dlya avtomaticheskogo rastsepleniya vagonov dvizhushchikhsya poyezdov [Patent 2700208 (RU). Device for automatic uncoupling of moving train cars], 2019. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2700208&TypeFile=html (accessed 04 February 2026).
54. Patent 102616247 (CN). Train unhooking robot, 2012. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN85249970> (accessed 04 February 2026).
55. Patent 109940580 (CN). Frame-type railway unhooking manipulator, 2019. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN248492461> (accessed 04 February 2026).
56. Patent 211617713 (CN). Railway hump operation unhooking robot walking system, 2020. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN308421096> (accessed 04 February 2026).
57. Patent 116985862 (CN). Automatic unhooking device for train, 2023. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN414536702> (accessed 04 February 2026).

58. Patent 208417 (RU). Promyshlennyy robot dlya avtomaticheskogo rastsepleniya dvizhushchikhsya gruzovykh vagonov [Patent 208417 (RU). Industrial robot for automatic uncoupling of moving freight cars], 2021. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=208417&TypeFile=html (accessed 04 February 2026).
59. Patent 216401430 (CN). Railway hump operation robot train speed sharing device, 2022. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN360669205> (accessed 04 February 2026).
60. Kudyukin V.V., Vukolov A.V., Kuzmin V.S. Imitatsionnoe modelirovanie raboty robototekhnicheskikh kompleksov, prednaznachennykh dlya rasformirovaniya sostavov na sortirovochnykh gorkakh [Simulation modeling of the operation of robotic complexes intended for train disassembly at sorting humps], *Avtomatika na transporte* [Transport Automation Research], 2025, Vol. 11, No. 1, pp. 16-29. DOI 10.20295/2412-9186-2025-11-01-16-29. EDN UBHDRQ.
61. Patent 21640164 (CN). Intelligent unhooking system for railroad freight transportation and method, 2019. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN276144626> (accessed 04 February 2026).
62. Patent 2732676 (RU). Ustroystvo dlya rastsepleniya zheleznodorozhnykh vagonov [Patent 2732676 (RU). Device for uncoupling railway cars], 2020. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2732676&TypeFile=html (accessed 04 February 2026).
63. Patent 115195810 (CN). A kind of automatic operation method and operation system of hook lifting in hump shunting dismantling operation, 2022. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN377436039> (accessed 04 February 2026).
64. Patent 113460111 (CN). Hook lifting mechanical arm of railway hump operation robot, 2021. Available at: https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN339141369&_cid=P21-MKY3MC-97306-1 (accessed 04 February 2026).
65. Patent 218661815 (CN). Automatic unhooking robot for railway hump operation, 2023. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN394547868> (accessed 04 February 2026).
66. Patent 219428128 (CN). Position adjusting device and unhooking system, 2023. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN404020527> (accessed 04 February 2026).
67. Patent 119795198 (CN). Operation control method and system of unhooking robot, 2025. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN454503441> (accessed 04 February 2026).
68. Boddiford A. et al. Autonomous Robotic System for Pin Pulling Operation in Rail Yard, *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*. American Society of Mechanical Engineers, 2015, Vol. 57137, pp. V05BT08A022.
69. Patent 118618454 (CN). Automatic hump disintegration system and method, 2024. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN439199677> (accessed 04 February 2026).
70. Patent 2379206 (RU). Ustroystvo avtorastsepi gruzovykh vagonov [Patent 2379206 (RU). Device for automatic uncoupling of freight cars], 2010. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2379206&TypeFile=html (accessed 04 February 2026).
71. Patent 115837924 (CN). Hump intelligent hook lifting result detection method, 2023. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN395075268> (accessed 04 February 2026).
72. Patent 119820630 (CN). State self-checking system of unhooking robot, 2025. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN454520116> (accessed 04 February 2026).
73. Han Y., Wang C., Yao J. Train Coupling Robot Based on Extended Implicit Self-Correction Generalized Predictive Control, 2024 *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)*. IEEE, 2024, pp. 1484-1489.
74. Patent 219428126 (CN). Train unhooking device, 2023. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN404024542> (accessed 04 February 2026).
75. Patent 219428130 (CN). Unhooking device and system with unlocking function, 2023. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN404024554> (accessed 04 February 2026).
76. Patent 219428129 (CN). Unhooking system, 2023. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN404020528> (accessed 04 February 2026).
77. Patent 216401431 (CN). Hook lifting manipulator of railway hump operation robot, 2022. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN360669168> (accessed 04 February 2026).
78. Patent 113525445 (CN). Automatic unhooking robot for railway hump operation, 2021. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN340389056> (accessed 04 February 2026).
79. Ozerov A.V., Bochkov A.V. Tekushchee sostoyanie i perspektivy mirovykh issledovaniy v oblasti intellektual'nogo zheleznodorozhnogo transporta [Current state and prospects of global research in the field of intelligent railway transport], *Intellektual'nyi transport* [Intelligent Transport], 2025, Vol. 9, No. 2(34), pp. 43-66.

80. Patent 118810854 (CN). Mechanical unhooking device, unhooking system and unhooking method, 2024. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN442100658> (accessed 04 February 2026).
81. Patent 219806817 (CN). Clamping type unhooking clamp, device and system, 2023. Available at: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN411450932> (accessed 04 February 2026).
82. Patent 2732676 (RU). Ustroystvo dlya rastsepleniya zheleznodorozhnykh vagonov [Patent 2732676 (RU). Device for uncoupling railway cars], 2020. Available at: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2732676&TypeFile=html (accessed 04 February 2026).
83. Strelnikova E.N., Yashkin A.P., Narusova E.Yu., Struchalin V.G. Razrabotka avtomatizirovannykh elektronno-mekhanicheskikh ustroystv po otsepke vagonov zheleznodorozhnogo sostava [Development of automated electromechanical devices for uncoupling railway wagons] // *Sovremennye vyzovy transportnoi otrasli: novye vozmozhnosti: Mater. mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii transportnykh vuzov* [Modern challenges of the transport industry: new opportunities: Proceedings of the interuniversity scientific-practical conference of transport universities]. Moscow: Izdatel'stvo «Pero», 2023, pp. 431-435. EDN AQKXHF.
84. Struchalin V.G. et al. Development of robotic systems to improve the safety of railway transport operations, 2022 *Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus)*. IEEE, 2022, pp. 1749-1752.

Кудюкин Владимир Валерьевич – Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте»; e-mail: v.kudukin@vniias.ru; г. Москва, Россия; тел.: +74992628883 (доб. 12801); зам. генерального директора; <https://orcid.org/0009-0008-2807-7217>.

Кузьмин Владислав Сергеевич – Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте»; e-mail: vs.kuzmin@vniias.ru; г. Москва, Россия; тел.: +79037090586; отдел научно-исследовательской работы центра интеллектуальных и программных решений научно-технического комплекса интеллектуальных систем контроля и управления; в.н.с.; к.т.н.; <https://orcid.org/0000-0001-9181-0145>.

Kudyukin Vladimir Valer'evich – JSC Research and Design Institute of Informatization, Automation and Communication in Railway Transport; e-mail: v.kudukin@vniias.ru; Moscow, Russia; phone: +74992628883 (доб. 12801); deputy general director; <https://orcid.org/0009-0008-2807-7217>.

Kuz'min Vladislav Sergeevich – JSC Research and Design Institute of Informatization, Automation and Communication in Railway Transport; e-mail: vs.kuzmin@vniias.ru; Moscow, Russia; phone: +79037090586; Research Department of the Center for Intelligent and Software Solutions of the Scientific and Technical Complex of Intelligent Control and Management Systems; Leading Research Officer; cand. of eng. sc.; <https://orcid.org/0000-0001-9181-0145>.

УДК 623.746.-519

DOI 10.18522/2311-3103-2026-2-35-45

Л.А. Рыбак, И.А. Дуюн, В.В. Черкасов, А.А. Волошкин, Т.А. Дуюн

РАЗРАБОТКА ЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ ЛОКАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ БПЛА НА ОСНОВЕ ПАТТЕРНОВ ОГИБАНИЯ ПРЕПЯТСТВИЙ

Важной задачей при создании информационно-управляющей системы для обеспечения автономной навигации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в условиях отсутствия спутниковой связи является формирование локальной траектории движения при наличии препятствий (деревья, линии электропередач и др.). Целью исследования является разработка эвристических алгоритмов, обеспечивающих оптимизацию локальной траектории БПЛА с использованием данных LiDAR и построения допустимой локальной траектории на основе паттернов огибания препятствий. Предложена концепция, основанная на двух этапах: декомпозиция облака точек LiDAR в виде ориентированных ограничивающих параллелепипедов (ОВВ) и формирование траектории обхода ОВВ с использованием геометрических паттернов. На первом этапе реализован классический (геометрический) конвейер обработки LiDAR-данных: воксельное прореживание, выделение плоскости земли методом RANSAC, кластериза-