

Автоматизация процесса закрепления подвижного состава

К.И. Корниенко¹, С.В. Богданович², И.А. Ольгейзер^{1,3}, В.Н. Соколов¹

¹ Ростовский филиал АО «НИИАС», Ростов-на-Дону

² Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, Санкт-Петербург

³ Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону

Аннотация: Цифровые двойники железнодорожных станций необходимы для планирования работы и принятия наиболее эффективных управленческих воздействий. Важным фактором является соответствие планируемых временных затрат фактическим. Одной из трудноформализуемых задач на железнодорожных станциях является процесс закрепления подвижного состава. Это связано с тем, что время закрепления зависит от человеческого фактора и закрепляемого подвижного состава. Для создания автоматизированной сортировочной станции, управляемой с помощью цифрового двойника, необходима разработка автоматизированной системы закрепления. Одной из задач по разработке такой системы является задача расположения устройств. Её можно сформулировать следующим образом: необходимо расположить минимально допустимое количество устройств закрепления на контролируемом участке таким образом, чтобы при любой конфигурации подвижного состава обеспечивалось надежное закрепление. В качестве инструмента для решения этой задачи наиболее эффективным будет использование методов генетических алгоритмов. В данной статье авторы рассматривают актуальность исследования и актуальность автоматизации закрепления подвижного состава.

Ключевые слова: Цифровая железнодорожная станция, методы эволюционного исследования, автоматизация, тормозные башмака, УТС-380, ДУЗС, безопасность движения.

Введение

На сегодняшний день все большее развитие получают цифровые двойники объектов инфраструктуры. Данные двойники необходимы для планирования работы объекта и принятия наиболее эффективных решений по управлению. Важным фактором является полное соответствие цифрового двойника реальному объекту. В первую очередь это касается временных затрат на выполнение операций. В идеале каждая операция должна быть строго формализована и занимать определенный временной промежуток. Чем больше будет разброс временного промежутка, тем сложнее будет планировать работу и тем менее вероятно принятие эффективных управленческих решений.

Цифровая железнодорожная станция в настоящий момент является одним из ключевых комплексных научно-технических проектов холдинга ОАО «РЖД» [1]. Целью данного проекта является разработка полностью автоматизированной станции. Первостепенной задачей данного проекта является как исключение тяжелого физического труда с выводом всего персонала из опасной зоны, так и снижение эксплуатационных затрат, и повышение безопасности технологических процессов за счет исключения человеческого фактора.

Одна из важнейших операций на железнодорожной станции - закрепление подвижного состава. Сейчас для закрепления применяются тормозные башмака. Временные затраты на закрепление подвижного состава тормозными башмаками зависят от многих факторов, среди которых можно выделить человеческий фактор, тип подвижного состава, ветровые нагрузки. В связи с этим, временные затраты могут составлять от пары минут до 15-20 минут на один состав.

Для эффективного использования цифрового двойника железнодорожной станции необходимо формализовать процесс закрепления, что можно сделать, автоматизировав процесс закрепления.

Постановка задачи

На сегодняшний день в Российской Федерации в обращении находится более 1 млн вагонов, из которых можно выделить более тысячи моделей. Модели могут отличаться друг от друга по длине базы и расположении вагонных тележек. При этом длина базы может отличаться более чем в два раза: у хопперов длина составляет 10 м, у платформ может достигать 23 м. Вагонные тележки в основном применяются стандартные, длиной 1850 мм.

Составы могут формироваться из вагонов разных моделей, при этом вероятность того, что состав будет сформирован из одних и тех же вагонов ничтожно мала и ее можно принять за ноль. Составы формируются согласно

весовым нормам или нормам длины, поэтому могут значительно отличаться друг от друга по количеству вагонов.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что расположение колесных пар в составе будет значительно отличаться и не повторяться на любом конечном множестве комбинаций.

В зависимости от типа механизированного устройства закрепления, применяемого в автоматизированной системе закрепления, будут различаться технические и технологические ограничения. Также значительные ограничения будут оказываться на данные системы местные условия объекта внедрения. Поэтому также можно утверждать, что конфигурации системы не будут повторяться на любом конечном множестве комбинаций.

Поэтому формально задачу можно поставить следующим образом: необходимо разработать инструмент поиска неповторяющейся конфигурации системы, который обеспечивает надежное закрепление бесконечного количества вариантов составов при наименьших капитальных и эксплуатационных потерях.

Методология

Исходя из поставленных условий, можно сделать вывод, что речь идет о задаче комбинаторики. При этом, с учетом бесконечных множеств, решение этой задачи перебором не представляется возможным. Именно поэтому для решения данной задачи предлагается использовать методы генетических алгоритмов.

Целью данной статьи является обоснование актуальности автоматизации процесса закрепления подвижного состава механизированными устройствами закрепления с точки зрения сокращения времени для выполнения операции.

В качестве метода исследования в данной статье выбран метод имитационного моделирования, описанный в [2-4].

Описание эксперимента

Как было указано выше, в настоящее время на подавляющем количестве станций применяется ручной способ закрепления подвижного состава с помощью тормозных башмаков.

В ПТЭ установлены основные требования по расчету количества тормозных башмаков, необходимых для закрепления группы вагонов:

$$K = \frac{n*(1,5*i+1)}{200} \quad (1)$$

$$K = \frac{n*(4*i+1)}{200} \quad (2)$$

где n – количество осей в закрепляемом составе, шт;

i – средний уклон участка пути, ‰;

Формулы (1) и (2) были получены эмпирическим методом на основе тормозного воздействия башмака [5, 6] и подвергалась большой критике. В статьях [7-9] рассматривается вариант методики расчета количества тормозных башмаков с использованием имитационного моделирования и изменения порядка укладки тормозных башмаков. В [10-12] авторы предлагают изменить конструкцию самого башмака, что позволит снизить вес и увеличить продолжительность службы башмаков.

Так как сокращение непроизводительных временных затрат на станции и ускорение доставки грузов является одним из важнейших факторов развития ОАО «РЖД» (например, в статьях [13,14] рассматриваются аспекты влияния логистики на снижение времени доставки грузов, статья [15] направлена на рассмотрение использования математического моделирования в вопросах определения времени задержек, а в статье [16] представлен метод снижения временных затрат за счет организации движения поездов

повышенной массы), уже долгие годы ведутся работы по разработке механизированных систем закрепления [17-19].

Широкое применение в Российской Федерации нашли Упоры тормозные стационарные УТС-380. Основным элементом УТС-380 являются колодки, которые располагаются на путях. Данные колодки могут с помощью электропривода устанавливаться или сниматься с железнодорожного пути. При закреплении с помощью УТС-380, машинист должен останавливать закрепляемую колесную пару на расстоянии не более 1 метра от тормозного упора. За расположением состава и работой УТС-380 должен следить составитель.

Управление УТС-380 производится с местного пульта управления, который располагается непосредственно рядом с УТС-380. При этом, разрешение на управление УТС-380 дает ДСП, который также может контролировать состояние УТС с пульта ДСП. УТС-380 также должен увязываться с устройствами электрической централизации для исключения задания поездного маршрута через путь, на котором упор находится в рабочем состоянии.

В общем виде схема контроля и управления УТС-380 представлена на рисунке 1.

Анализируя рисунок 1, можно сделать вывод, что УТС-380 не подходит для полностью автоматизированных систем закрепления. Несмотря на то, что при применении УТС-380 ручной труд составителя исключается, эксплуатационные и капитальные затраты остаются достаточно высокими. Первым недостатком УТС-380 является сложность управления. ДСП сначала должен дать оператору разрешение на управление УТС, после чего оператор может переводить УТС в одно из положений. Снять УТС с местного управления ДСП может только после того, как получит разрешение на это от

оператора. Данная система была создана для защиты от человеческих ошибок, но в то же время она является достаточно сложной.

Второй недостаток - это сложность позиционирования. Как было указано выше, колесная пара должна остановиться на расстоянии не более 1 метра от УТС-380, после чего производится перевод УТС в рабочее положение. Данная операция является достаточно простой в случае закрепления подвижного состава с головы поезда, но закрепление подвижного состава с хвоста потребует значительно больше времени. Именно по причине трудности позиционирования, нередки случаи повреждения устройств УТС-380 при позиционировании.

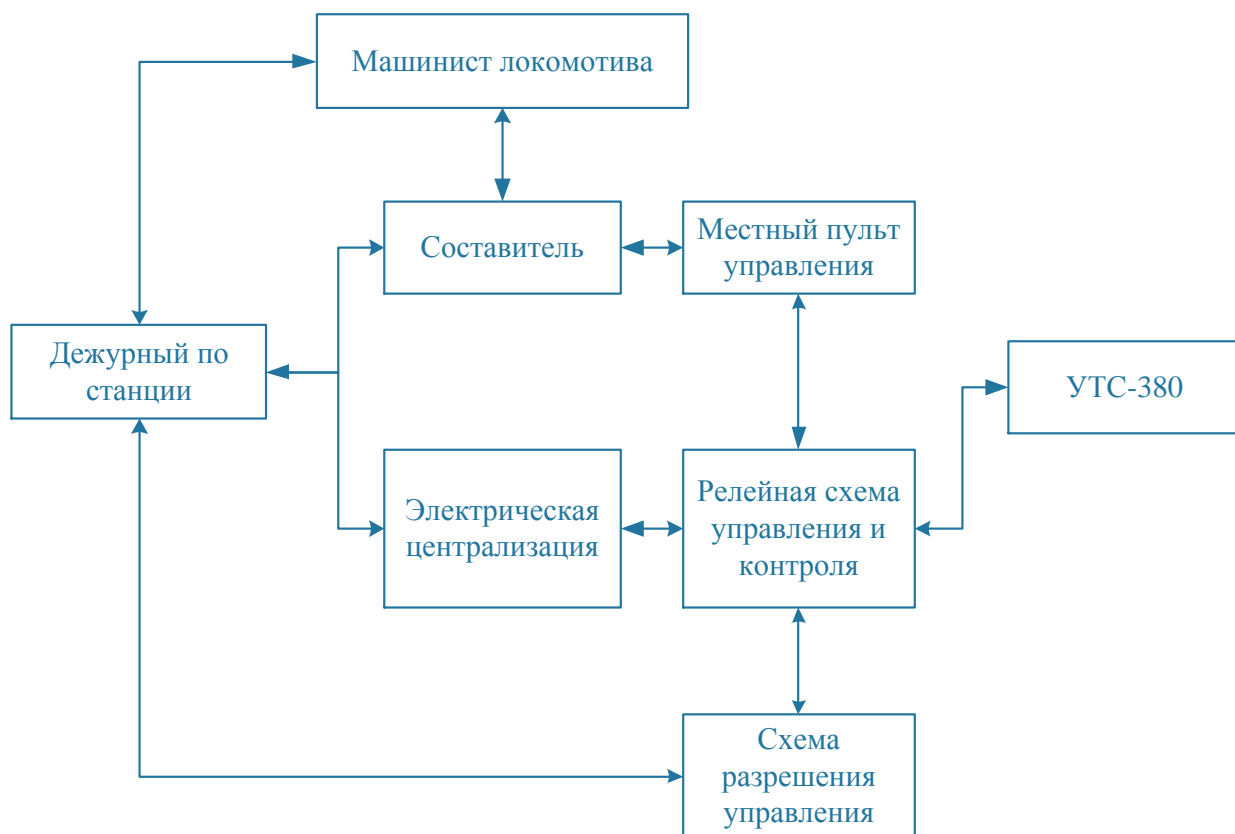


Рисунок 1. – Схема контроля и управления УТС-380

Исходя из опыта проектирования устройств закрепления и текущих требований ГОСТ и СТО, можно сформулировать следующие требования к автоматизированным средствам закрепления:

- Средство закрепления должно иметь возможность пропуска подвижного состава с максимальной скоростью не менее 40 км/ч;
- Оно должно иметь возможность централизованного управления с поста ЭЦ;
- должно исключать самопроизвольный перевод в нерабочее положение при пропаданиях питаниях или долгом времени закрепления;
- должно воздействовать на боковую поверхность колеса, либо на рабочую поверхность с учетом исключения возможности разрушения устройства при движении состава с локомотивом.
- Средство закрепления должно соблюдать требования ПТЭ в области соблюдения габарита для всех используемых типов локомотивов и вагонов.

Концепция цифровой железнодорожной станции предусматривает схему автоматизированного контроля и управления устройствами закрепления. В связи с этим, авторами предлагается новая схема автоматизированного управления и контроля путём закрепления подвижного состава. Предлагаемая структурная схема представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. – Схема автоматического закрепления подвижного состава

Данная схема может быть упрощена в случае применения неуправляемых устройств закрепления. Способ закрепления подвижного состава с использованием домкратовидных устройств закрепления был разработан в 2015 году сотрудниками АО «НИИАС». Применение данного способа на Российских железных дорогах стало возможно после сертификации полностью российских домкратовидных устройств закрепления (далее – ДУЗС).

В последние годы все большее развитие получают системы закрепления, основанные на принципе балочных вагонных замедлителей. АО «НИИАС», совместно с ОАО «ЗРМЗ» и ООО «ФЕСТО-РФ», ведет работы по постановке на постоянную эксплуатацию устройства закрепления (заграждения) составов (далее УЗС). Особенностью УЗС является постановка на фиксаторы в заторможенном состоянии. Это позволяет исключить вероятность перевода из заторможенного в расторможенное состояние при каких-либо отказах.

Расчет количества колес, которые необходимо закрепить для удержания группы вагонов весом Q на пути с уклоном i , производится по следующей формуле:

$$N_T = K_y * Q * |i| / F_T * 10^{-3} \quad (3)$$

где K_y – коэффициент увеличения потребного расчетного удерживающего усилия, принимается равным 1,2;

Q – максимальный вес состава, который может вместить данный путь, т;

i – средний уклон продольного профиля пути или участка пути, ‰;

F_T – удерживающее усилие от одного устройства закрепления.

Количество устройств закрепления, полученных по формуле (3), округляется до большего целого числа. Исходя из формулы (3), можно сделать вывод, что увеличение уклона приведет к необходимости использования большего количества устройств закрепления, необходимых

для закрепления одного состава. Следует отметить, что увеличение количества устройств закрепления не требуется в случае закрепления порожних подвижных единиц.

Результаты эксперимента

Для исследования увеличения количества требуемых устройств от уклона пути были составлены графики зависимостей количества колесных пар, закрепленных в устройства закрепления, от уклона участка, на котором производится закрепление. Данные зависимости представлены на рисунке 3. Для расчета использовался состав в 70 вагонов. На рисунке 3 представлены обозначения:

- ТБ ОГ – зависимость для тормозных башмаков при закреплении однородного подвижного состава;
- ТБ РГ – зависимость для тормозных башмаков при закреплении разнородного подвижного состава;
- ДУЗС/УЗС Л – зависимость для ДУЗС / УЗС при закреплении состава массой 1400 т;
- ДУЗС УЗС Т – зависимость для ДУЗС / УЗС при закреплении состава массой 6300 т.

На основании рисунка 3 можно сделать вывод, что УЗС требуют меньшего количества колесных пар для закрепления состава, чем ДУЗС и тормозные башмаки. Преимущество механизированных устройств закрепления заключается в том, что тормозное воздействие, в отличие от тормозного башмака, не зависит от веса закрепляемой группы. В случае закрепления разнородной группы, количество тормозных башмаков также необходимо увеличивать. При этом, для механизированных устройств закрепления, основным фактором является только вес состава, а не его разнородность.

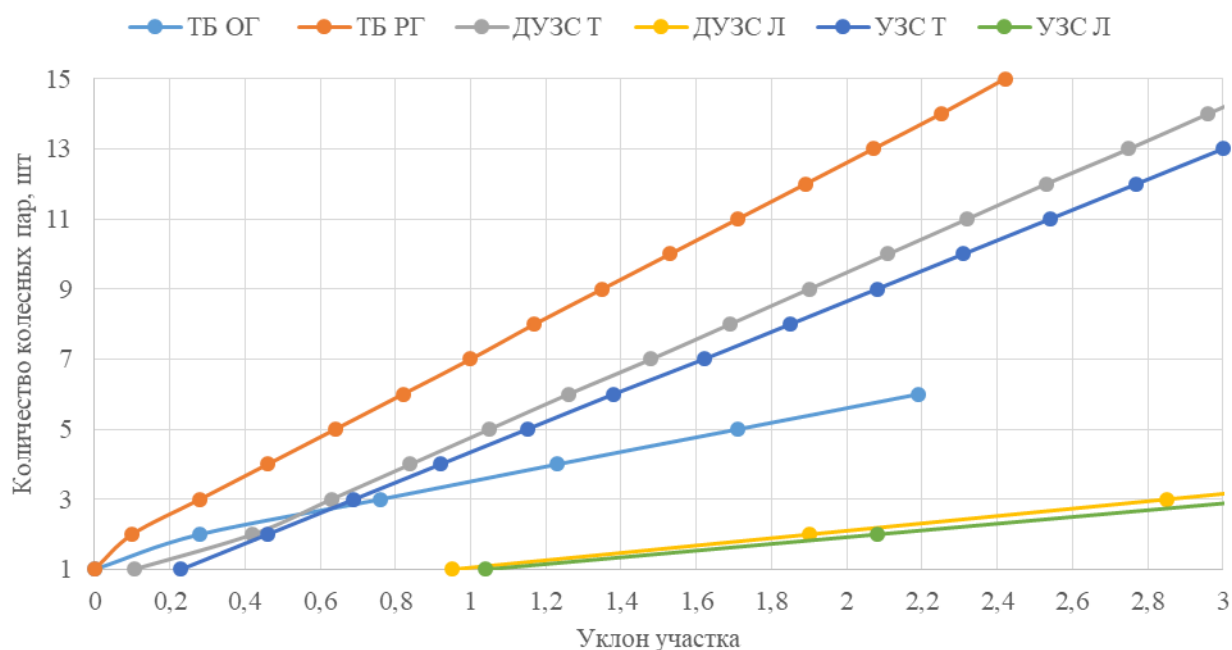


Рисунок 3. – Графики зависимостей количества устройств закрепления от уклона участка

ДУЗС на пути размещаются следующим образом: первая группа ДУЗС размещается для закрепления первой вагонной тележки, для чего устанавливается по 7 замедлителей на каждой рельсе (всего 14). Далее через определенное расстояние устанавливается вторая группа замедлителей. Требуемое расстояние и количество замедлителей выбирается согласно расчетам. Следовательно, минимальное количество ДУЗС даже при нулевом уклоне составляет 14 штук. При увеличении уклона до 1 ‰ для закрепления необходимо разместить на путях 94 ДУЗС, при 1,5 ‰ более 200 шт. Исходя из этого, наиболее выгодным является использование ДУЗС только на путях с уклоном не более 1 ‰.

Минимальное количество УЗС, проектируемое на пути, составляет 2 шт. В каждом УЗС должны находиться по 2 колесных пары, следовательно, минимальное количество закрепляемых колес составляет 4 шт. В этом случае УЗС способно удерживать легкий состав на уклонах вплоть до 4 ‰, тяжелый



состав – до 0,9 ‰. В худших условиях, для закрепления группы вагонов массой 6300 т на пути с уклоном 3,5 ‰ потребуется 15 УЗС.

Расчет временных параметров закрепления

ДУЗС после срабатывания должны переводиться в заторможенное состояние через 20-30 секунд.

Согласно техническому заданию, время перевода одного устройства УЗС составляет 0,33 мин., следовательно, один комплект УЗС будет переводиться за время, равное 0,66 мин. При проектировании мест установки и количества, УЗС предусматривают полную автономность каждого комплекта, и управление каждого комплекта происходит с поста ЭЦ отдельно. Поэтому, вне зависимости от количества комплектов УЗС на пути, время будет одинаковое и составлять 0,66 мин.

Для закрепления состава из 70 разнородных вагонов на пути с уклоном 1,5 ‰ требуется 10 тормозных башмаков. В соответствии с требованиями ПТЭ, закрепление тормозными башмаками производится, начиная от крайнего вагона со стороны уклона. Если рассматривать условие, что в составе все вагоны четырехосные, то под каждый вагон необходимо укладывать по два тормозных башмака (по одному под каждую тележку, начиная от крайней оси). Таким образом, тормозные башмаки укладываются последовательно под пять подряд стоящих вагонов. Стеллажи с тормозными башмаками, как правило, находятся в междупутье, начиная от границы полезной длины пути. Согласно Инструкции, работник, выполняющий закрепление, может одновременно от места хранения к месту закрепления переносить по два тормозных башмака. В соответствии с нормами (Нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожных станциях ОАО «РЖД», нормативы численности бригад маневровых локомотивов. – М.: 2007. – 99 с) на укладку одного тормозного башмака с накатом требуется 0,29 мин. Также необходимо учесть время, требующееся для прохода к месту

производства операций, равное $0,01l_{\text{прох}}$. При длине условного вагона - 14,0 м, можно принять указанное расстояние равным 252 м, тогда затраченное время равно 2,52 мин. Следовательно, на закрепление состава тормозными башмаками с накатом из 70 вагонов потребуется 5,42 мин, или в среднем - 6 мин.

Следовательно, экономия времени для одного состава при применении ДУЗС будет составлять 4 минуты, при применении УЗС - 5,44 минуты.

Если на станции производится 30 смен локомотива в сутки, то общая экономия времени при применении ДУЗС будет составлять 4 часа, при применении УЗС - 5,44 часа.

Выводы

Результаты расчета показывают, что применение механизированных устройств закрепления вместо тормозных башмаков сократит время на закрепление и раскрепление составов, это в результате приведет к повышению перерабатывающей способности станций. С учетом результатов расчетов, экономически обоснованным является применение различных типов устройств закрепления на различном уклоне продольного профиля путей сортировочного парка. Статья подтверждает актуальность развития автоматизированных систем закрепления подвижного состава [20,21].

Дальнейшее развитие темы должно быть направлено на применение методов генетического алгоритма для решения поставленной задачи.

Литература

1. Долгий, А. И. Концептуальный подход к построению современной платформы управления перевозочным процессом в ОАО «РЖД» // Труды АО "НИИАС»: Сборник статей. Том 1. Выпуск 11. – Москва: Типография АО "Т 8 Издательские Технологии", 2021. – С. 9-31.

2. Kornienko K., Olgeizer I., Sukhanov A., Pokrovskaya O., Sokolov V. Study of the efficiency of brake shoes // Transportation Research Procedia : 63 – P. 386-393. – URL: doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.026.

3. Корниенко, К. И. Совершенствование метода расчета продольного профиля сортировочных путей железнодорожных станций: специальность 05.22.08 "Управление процессами перевозок": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук – Новосибирск, 2019. – 170 с.

4. Ахмаев Е.А., Бессоненко С.А., Борисов В.В., Корниенко К.И. Исследования влияния профиля горки на скорость движения отцепов в сортировочном парке при попутном ветре // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 1(40). – С. 13-18.

5. Муха Ю. А., Тишков Л. Б., Шейкин В. П. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств – Москва: Транспорт, 1994. – 220 с.

6. Рудановский В.М. О надежности закрепления подвижного состава на станционных путях – М.: Транспорт, 1972. -№ 464. - 134 с.

7. Ильин А.М., Числов О.Н., Боева А.С. Повышение надежности закрепления подвижного состава на станционных путях // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 10. – С. 24-29.

8. Ильин А.М., Числов О.Н. Многовариантная верификационная методика расчета норм закрепления подвижного состава на железнодорожных путях станций // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 3(79). – С. 115-123. – DOI: 10.46973/0201-727X_2020_3_115

9. Числов О.Н., Ручкин И.В. Мероприятия по сокращению непроизводительных простоев вагонов на предприятиях промышленного железнодорожного транспорта // Транспорт: наука, техника, управление.

Научный информационный сборник. – 2020. – № 7. – С. 27-32. – DOI: 10.36535/0236-1914-2020-07-5.

10. Марков Д.П., Воронин И.Н., Шипулин Н.П., Маршев В.И., Забавина М.В., Гузанов В.В., Куминов А.В., Сухов А.В. Стояночные тормозные башмаки для закрепления подвижного состава на станционных путях. Полигонные испытания // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2016. – Т. 75. – № 5. – С. 308-317.

11. Марков Д.П., Воронин И.Н., Шипулин Н.П., Маршев В.И., Гузанов В.В., Куминов А.В., Сухов А.В. Стояночные тормозные башмаки. Эксплуатационные испытания// Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2017. – Т. 76. – № 3. – С. 153-158.

12. Марков Д.П., Сапожников С.А., Маршев В.И., Воронин И.Н., Забавина М.В. О закреплении составов стояночными тормозными башмаками // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 12. – С. 28-30.

13. Fedorenko R., Pokrovskaya O. Preconditions for the Development of Bonded Logistics // Transportation Research Procedia: 12, Irkutsk-Krasnoyarsk, 06–08 октября 2021 года. – Irkutsk-Krasnoyarsk, 2022. – pp. 294-300. – DOI: 10.1016/j.trpro.2022.01.049.

14. Pokrovskaya O.D., Fedorenko R.V., Kamaletdinov A.S. Northern Latitudinal Railway Project: Priorities and Drivers // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – Vol. 160 LNNS. – pp. 267-274. – DOI: 10.1007/978-3-030-60929-0_34.

15. Карасев С.В., Корягин М.Е. Оценка задержек поездов на железнодорожной сети методом моделирования в условиях случайного образования заявок на перевозку // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2018. – № 2(45). – С. 43-51.

16. Югрина О.П., Танайно Ю.А., Волкова Н.В. Особенности организации работы с поездами повышенного веса на Западно-Сибирской

железной дороге // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 4(43). – С. 60-65.

17. Розенберг И.Н., Шабельников А.Н. Инновации на железнодорожном транспорте // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 3(67). – С. 112-118.

18. Гапанович В.А. Программа научно-технического развития ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. - 2007. - № 2. - С. 1-7.

19. Бочков А. В. Об актуальных задачах и направлениях научно-технологического развития АО «НИИАС». Январь-май 2023 г // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – Т. 7, № 2(26). – С. 3-16.

20. Ольгейзер И.А., Суханов А.В., Корниенко К.И., Пастушенко Д.А. Автоматизация позиционирования подвижного состава в системах закрепления на железнодорожных станциях // Автоматика, связь, информатика. – 2023. – № 3. – С. 2–5.

21. Хатламаджиян А.Е., Ольгейзер И.А., Суханов А.В., Корниенко К.И. Перспективы внедрения комплекса позиционирования и контроля закрепления составов на путях железнодорожных станций «Прицел» // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2023. – № 3 (63). – С. 28–33.

References

1. Dolgij, A. I. Trudy AO «NIAS»: Sbornik statej. Tom 1. Vypusk 11. Moskva: Tipografiya AO "T 8 Izdatel'skie Texnologii", 2021. pp. 9-31.

2. Kornienko K., Olgeizer I., Sukhanov A., Pokrovskaya O., Sokolov V. Transportation Research Procedia 63. pp. 386-393. URL: doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.026.

3. Kornienko, K. I. Sovershenstvovanie metoda rascheta prodol'nogo profilya sortirovochny`x putej zheleznodorozhny`x stancij [Improvement of the method for calculating the longitudinal profile of sorting tracks of railway stations]: special`nost` 05.22.08 "Upravlenie processami perevozok": dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk Novosibirsk, 2019. 170 p.
 4. Axmaev E.A., Bessonenko S.A., Borisov V.V., Kornienko K.I. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya. 2017. № 1(40). pp. 13-18.
 5. Muxa Yu. A., Tishkov L. B., Shejkin V. P. Posobie po primeneniyu Pravil i norm proektirovaniya sortirovochny`x ustrojstv [Manual on the application of the Rules and norms for the design of sorting devices] Moskva Transport, 1994. 220 p.
 6. Rudanovskij V.M. O nadezhnosti zakrepleniya podvizhnogo sostava na stacionny`x putyax [On the reliability of fixing the rolling stock on the station tracks]. M.: Transport, 1972. № 464. 134 p.
 7. Il'in A.M., Chislov O.N., Boeva A.S. Zheleznodorozhny`j transport. 2020. № 10. pp. 24-29.
 8. Il'in A.M., Chislov O.N. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya. 2020. № 3(79). pp. 115-123. DOI: 10.46973/0201-727X_2020_3_115
 9. Chislov O.N., Ruchkin I.V. Transport: nauka, texnika, upravlenie. Nauchny`j informacionny`j sbornik. 2020. № 7. pp. 27-32. DOI: 10.36535/0236-1914-2020-07-5.
 10. Markov D.P., Voronin I.N., Shipulin N.P., Marshev V.I., Zabavina M.V., Guzanov V.V., Kuminov A.V., Suxov A.V. Vestnik nauchno-issledovatel`skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. 2016. T. 75. № 5. pp. 308-317.
-



11. Markov D.P., Voronin I.N., Shipulin N.P., Marshev V.I., Guzanov V.V., Kuminov A.V., Suxov A.V. Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta. 2017. T. 76. № 3. pp. 153-158.
12. Markov D.P., Sapozhnikov S.A., Marshev V.I., Voronin I.N., Zabavina M.V. Zheleznodorozhny`j transport. 2015. p № 12. pp. 28-30.
13. Fedorenko R., Pokrovskaya O. Transportation Research Procedia: 12, Irkutsk-Krasnoyarsk, 06–08 oktyabrya 2021 goda. Irkutsk-Krasnoyarsk, 2022. pp. 294-300. DOI: 10.1016/j.trpro.2022.01.049.
14. Pokrovskaya O.D., Fedorenko R.V., Kamaletdinov A.S. Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 160 LNNS. pp. 267-274. DOI: 10.1007/978-3-030-60929-0_34.
15. Karasev S.V., Koryagin M.E. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya. 2018. № 2(45). pp. 43-51.
16. Yugrina O.P., Tanajno Yu.A., Volkova N.V. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya. 2017. № 4(43). pp. 60-65.
17. Rozenberg I.N., Shabel`nikov A.N. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya. 2017. № 3(67). pp. 112-118.
18. Gapanovich V.A. Zheleznodorozhny`j transport. 2007. № 2. pp. 1-7.
19. Bochkov A. V. Nauka i texnologii zhelezny`x dorog. 2023. T. 7, № 2(26). pp. 3-16.
22. Olgejzer I.A., Suxanov A.V., Kornienko K.I., Pastushenko D.A. Avtomatika, svyaz`, informatika. 2023. № 3. pp. 2–5.
23. Xatlamadzhiyan A.E., Olgejzer I.A., Suxanov A.V., Kornienko K.I. Vestnik Instituta problem estestvenny`x monopolij: Texnika zhelezny`x dorog. 2023. № 3 (63). pp. 28–33.