

На правах рукописи



Бородин Александр Андреевич

**ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОРТИРОВОЧНОЙ
РАБОТЫ ПРИ ГАРАНТИРОВАННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ
ДВИЖЕНИЯ В ГОРОЧНОМ КОМПЛЕКСЕ**

2.9.4. Управление процессами перевозок (технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Екатеринбург – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ))

Научный руководитель – Коваленко Нина Александровна,
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты –

Ададуров Сергей Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (АО «ВНИИЖТ»)), Центр развития новых компетенций, директор Центра.

Климов Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», факультет «Управление процессами перевозок на железнодорожном транспорте», декан.

Ведущая организация – Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»), г. Москва.

Защита диссертации состоится «29» марта 2024 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета 44.2.008.01 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС) по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, аудитория Б2–15 – зал диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: <http://www.usurt.ru>.

Автореферат диссертации разослан « ___ » _____ 202__ г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Колясов Константин
Михайлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

В настоящее время в ОАО «РЖД» утверждена и реализуется Актуализированная Схема размещения и Программа развития сортировочных станций, с учетом развития вспомогательных к ним (технических, предузловых) станций. В данном документе определены мероприятия по развитию сортировочных станций. Перерабатывающая способность сортировочных станций зависит от их технического оснащения и технологии работы, и прежде всего от применяемой технологии расформирования-формирования составов поездов на сортировочных горках. На перерабатывающую способность сортировочной горки оказывают влияние следующие факторы: режимы роспуска, скорости надвига и роспуска составов, количество вынужденных остановок роспуска, структура перерабатываемого вагонопотока, особенности выполнения маневровой работы в сортировочном парке и другие.

Первоочередными задачами организации функционирования горочных комплексов является обеспечение безопасности сортировочного процесса, минимизация рисков возникновения опасных событий, таких как выход неуправляемого подвижного состава за пределы полезной длины пути, взрез стрелок, столкновения подвижного состава.

При разработке и оценке предложений по повышению перерабатывающей способности сортировочных устройств, особенно в условиях концентрации сортировочной работы на крупных поездообразующих станциях, необходимо учитывать требования и условия для обеспечения гарантированной безопасности движения, безопасности станционных работников, сохранности подвижного состава и перевозимых грузов.

Степень разработанности темы исследования. Диссертационное исследование основано на результатах трудов научных и практических работников в области эксплуатации железнодорожного транспорта, в том числе:

– в области определения технико-технологических параметров сортировочной работы железнодорожных станций: В.М. Акулиничева, Е.В. Архангельского, К.А. Бернгарда, С.А. Бессоненко, В.И. Бодюла, В.П. Волкова, Ю.В. Дьякова, А.А. Климова, Н.А. Коваленко, В.Е. Козлова, И.Б. Сотникова, Е.А. Сотникова, Л.Б. Тишкова, Н.Н. Шабалина, А.Н. Шабельникова, В.П. Шейкина и др.

– в области функциональной надежности и безопасности движения на железнодорожном транспорте: С.Е. Ададунова, А.М. Замышляева, В.С. Климанова, Е.Н. Розенберга, Е.Н. Тимухиной, Н.К. Модина и др.

– в области надежности технических средств и элементов станционной инфраструктуры: В.А. Кобзева, В.М. Рудановского, И.П. Старшова, Е.И. Сычева, В.П. Шейкина и др.

– в области автоматизации сортировочных процессов: Н.Н. Лябаха, В.Р. Одикадзе, И.А. Ольгейзера, С.А. Рогова, А.Г. Савицкого, В.Н. Соколова, А.Н. Шабельникова, В.И. Шелухина и др.

– в области имитационного моделирования транспортных процессов: А.Э. Александрова, П.А. Козлова, В.С. Колокольникова, Е.А. Сотникова, О.В. Осокина, Е.Н. Тимухиной, Н.А. Тушина и др.

Но вместе с тем вопросы определения и научного обоснования рациональных и эффективных параметров сортировочной работы во взаимоувязке с использованием современных технических средств и технологических приемов обеспечения безопасности движения в горочном комплексе не нашли должного отражения в трудах ученых и требуют дальнейшего изучения. Так, например, в настоящее время практически отсутствуют научные исследования взаимозависимостей параметров сортировочной работы и использования заграждающих средств, обеспечивающих безопасность процесса расформирования-формирования составов поездов. В частности, отсутствуют научно обоснованные методики определения издержек, связанных с использованием в качестве заграждающих средств «барьерных групп» вагонов, формируемых на путях подгорочных парков.

Направления диссертационного исследования. Технология транспортных процессов, моделирование и совершенствование транспортных технологических процессов. Теоретические основы, методы и технические средства обеспечения безопасности движения.

Предмет диссертационного исследования – процессы расформирования-формирования поездов на железнодорожных горочных станциях, показатели эффективности их работы при использовании различных технических систем и технологических решений для обеспечения безопасности движения в сортировочных комплексах.

Целью диссертационного исследования является разработка научно-методических решений по обоснованию эффективных параметров сортировочной работы для повышения перерабатывающей способности железнодорожных горочных станций при гарантированном обеспечении безопасности движения в сортировочном горочном комплексе.

К числу основных **задач диссертационного исследования** относятся:

выявление факторов, определяющих основные параметры применения нестационарных заграждающих средств, разработка методических положений по их количественной оценке;

определение взаимовлияния параметров использования заграждающих средств и взаимодействия станционных процессов;

разработка гибридной технологии расчетов, которая помимо использования аналитических зависимостей и расчетных формул, подразумевает разработку имитационной модели сортировочной станции и проведение серии имитационных экспериментов;

постановка серии имитационных экспериментов, анализ и интерпретация модельных расчетов с целью обоснования эффективных параметров сортировочной работы.

Научная новизна исследования заключается в разработке нового научно обоснованного подхода к определению эффективных технико-технологических

параметров сортировочной работы железнодорожных станций, обеспечивающих безопасность движения в горочных комплексах, для чего:

разработан метод определения удерживающей способности нестационарных заграждающих средств, обеспечивающих безопасность сортировочного процесса, предназначенный для определения требуемой величины и нормы закрепления «барьерных групп» вагонов на сортировочных путях с различными техническими характеристиками (длина и профиль подгорочных путей), с учетом динамически изменяемых параметров (характеристики распускаемых отцепов) и внешних условий (метеорологической обстановки);

разработана методика расчета дополнительных затрат на формирование «барьерных групп» вагонов;

даны предложения по совершенствованию методики расчета максимально допустимой длины отцепа при роспуске на сортировочных горках, позволяющие уточнить максимально допустимую длину отцепа с учетом возможности его остановки при движении по свободному подгорочному пути, возможности остановки отцепа при его наезде на ограждающий тормозной башмак или при взаимодействии с заграждающим средством;

разработана гибридная технология расчетов по определению эффективных параметров сортировочной работы, включающая предварительный аналитический расчет параметров использования «барьерных групп» вагонов и проведение имитационных расчетов с учетом вариантообразования способов формирования «барьерных групп».

Теоретическая и практическая значимость. Исследованы факторы, определяющие величину и нормы закрепления «барьерных групп» вагонов, исследованы взаимозависимости параметров сортировочной работы и использования заграждающих средств, обеспечивающих безопасность процесса расформирования-формирования составов, исследованы взаимосвязи загрузки сортировочных устройств, использования сортировочных путей и диспетчерского управления расформированием-формированием поездов.

Разработана и апробирована методика, предназначенная для расчета затрат времени, маневровых средств, энергоресурсов на формирование «барьерных групп» вагонов на любых железнодорожных горочных станциях, так как она позволяет учесть особенности технического оснащения и технологии сортировочной работы конкретных станций. Использование разработанного математического аппарата позволяет оценить целесообразность использования «барьерных групп» вагонов в качестве заграждающих средств и выполнить сравнение разработанной технологии с альтернативными способами предотвращения выхода подвижного состава за пределы полезной длины путей подгорочных парков.

Разработаны предложения по интеграции разработанной математической модели в Комплексную систему автоматизированного управления сортировочным процессом.

Методология и методы проведенного исследования основываются на:

– многофакторном анализе существующих научных разработок в области определения параметров сортировочной работы, практического опыта работы

сортировочных станций с различными технико-технологическими характеристиками;

- использовании методов имитационного моделирования;
- использовании методов сопоставления, статистического анализа, сравнения и теоретического обоснования аналитических зависимостей для расчета показателей работы сортировочной станции.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

методика определения величины «барьерных групп» вагонов и норм их закрепления для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков, обеспечивающая определение потребного числа вагонов в «барьерной группе»;

методика расчета потребного числа тормозных башмаков для закрепления «барьерной группы» вагонов с учетом различных сочетаний основных влияющих факторов;

методические положения по расчету максимально допустимой длины отцепа при роспуске на сортировочных горках;

предложения по применению различных вариантов технологии формирования «барьерных групп» вагонов;

принципы расчета влияния технологии применения заграждающих средств на эксплуатационные возможности станций по выполнению сортировочной работы с учетом загрузки сортировочных устройств, использования сортировочных путей и диспетчерского управления расформированием-формированием поездов на основе решения уравнения баланса перерабатывающей способности сортировочного устройства в рамках гибридной технологии имитационных и аналитических расчетов;

перспективный алгоритм проверки необходимости установки заграждающих средств на свободных подгорочных путях до начала расформирования состава в КСАУ СП, использование которого позволит:

- осуществлять роспуск вагонов в автоматическом режиме на подгорочные пути, продольный профиль которых имеет отклонения от нормативных отметок, до проведения выправки;

- формировать для дежурно-диспетчерского персонала станции конкретные предложения по минимизации эксплуатационных издержек, связанных с установкой «барьерных групп» вагонов;

- осуществлять проверку фактической установки «барьерной группы» вагонов на свободном подгорочном пути с использованием устройств КЗП.

Реализация результатов работы. Результаты диссертационного исследования реализованы в:

- «Методике определения величины «барьерных групп» вагонов для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков и расчета норм закрепления «барьерных групп», утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» № 102 от 02 февраля 2018 г.;

- «Изменениях, которые вносятся в Методику определения величины «барьерных групп» вагонов для установки перед роспуском на свободных путях

сортировочных парков и расчета норм закрепления «барьерных групп», утвержденную ОАО «РЖД» 2 февраля 2018 г. № 102», утвержденных распоряжением ОАО «РЖД» № 1673/р от 06 августа 2020 г.;

– «Методических рекомендациях по составлению инструкции по работе сортировочной горки с установлением требований по обеспечению безопасности движения», утвержденных распоряжением Центральной дирекции управления движением № ЦД-248/р от 29 декабря 2018 г.;

– автоматизированной системе ИСУЖТ НС ТРА.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов подтверждается использованием известных научных методов, современных методик сбора, обработки исходной информации, проверяемых данных транспортной статистики и информационных систем ОАО «РЖД»; формулировкой идеи диссертации на базе анализа прогрессивного опыта работы отечественных сортировочных станций; корректным применением разработанного математического аппарата, включая применение компьютерной имитационной системы, соответствующей требованиям действующих методик ОАО «РЖД»; согласованностью с положениями эксплуатационной теории и практики, логичной и последовательной структурой исследования с учетом ранее исследованных факторов и результатов предшествующих работ по рассматриваемой тематике; фактом использования результатов диссертационного исследования в нормативных документах и практике работы железнодорожных станций ОАО «РЖД».

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования докладывались на:

– заседаниях кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ));

– XVIII Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», Россия, Москва, 16 – 17 ноября 2017 г.;

– XIX Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», Россия, Москва, 8 – 9 ноября 2018 г.;

– X Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте», Беларусь, Гомель, БелГУТ, 26 – 27 ноября 2020 г.;

– Международной научно-практической конференции «Федор Петрович Кочнев – выдающийся организатор транспортного образования и науки в России», Россия, Москва, РУТ (МИИТ), 22 – 23 апреля 2021 г.;

– II Международной научно-практической конференции «Кочневские чтения-2023: современная теория и практика эксплуатационной работы железных дорог», Россия, Москва, РУТ (МИИТ), 19 – 20 апреля 2023 г.;

– Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт: логистика, строительство, эксплуатация, управление» (TLCM – 2023), Россия, Екатеринбург, УрГУПС, 18 мая 2023 г.

Публикации. Основные положения диссертационной работы и научные результаты опубликованы в 15 печатных работах, в том числе: 5 статей опубликованы в изданиях, входящих в перечень рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, 1 статья – в периодическом издании, индексируемом единой международной базой научных материалов Scopus.

Структура и объем диссертации. Диссертационное исследование изложено на 183 страницах, включает 61 иллюстрацию, 12 таблиц. Диссертация включает в себя введение, 4 главы, заключение, список литературы (119 наименований), 2 приложения.

Содержание работы

Во введении приведены актуальность темы исследования; степень ее разработанности; цели и задачи исследования; научная новизна; теоретическая и практическая значимость работы; методы исследования; положения, выносимые на защиту; степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе выполнен анализ технического оснащения и технологии работы российских и зарубежных поездообразующих станций.

Систематизированы средства обеспечения безопасности сортировочного процесса при роспуске вагонов на свободные пути подгорочного парка (рисунок 1).



Рисунок 1 – Средства обеспечения безопасности сортировочного процесса при роспуске вагонов на свободный сортировочный (сортировочно-отправочный) путь

Анализ предыдущих исследований и нормативных документов показал, что необходимо исследовать взаимосвязности параметров сортировочной работы и

использования заграждающих средств, обеспечивающих безопасность процесса расформирования-формирования составов поездов.

Для достижения цели диссертационного исследования решен ряд задач, которые делятся на три основных блока (рисунок 2):

- обоснование эффективных параметров применения нестационарных заграждающих средств;
- определение влияния способа установки и параметров нестационарных заграждающих средств на эксплуатационные возможности и показатели работы горочных станций;
- оценка применения и эффективности разработанных научно-методических решений.

Во второй главе диссертационного исследования рассматриваются взаимозависимости параметров сортировочной работы на железнодорожных станциях и требований обеспечения безопасности движения в горочном комплексе.

Выполнена систематизация факторов, определяющих величину и нормы закрепления «барьерных групп» вагонов на свободных сортировочных (сортировочно-отправочных) путях до начала роспуска (рисунок 3).

Разработана математическая модель определения необходимости формирования «барьерных групп» вагонов на свободных сортировочных (сортировочно-отправочных) путях до начала роспуска и расчета величины и норм закрепления «барьерных групп».

Математические методы, используемые в разработанной модели, позволяют решить следующие основные задачи:

- определение условий, при соблюдении которых отсутствует необходимость использования «барьерных групп» вагонов и их размещения на свободных сортировочных (сортировочно-отправочных) путях перед роспуском;
- определение минимально необходимой величины «барьерной группы» в вагонах для обеспечения её удерживающей способности, позволяющей при соединении с максимальным отцепом со скоростью не более 5 км/ч обеспечить смещение («юз») объединённой группы вагонов не более чем на заданную величину;
- определение потребного количества тормозных башмаков для закрепления вагонов «барьерных групп» при различном сочетании основных влияющих факторов (масса и состав «барьерной группы», место её расположения, погодные и другие условия).

Согласно принятым критериям расчета использовать «барьерные группы» вагонов на пути накопления нет необходимости при выполнении следующих условий:

- отцеп максимальной массы, выходя из парковой тормозной позиции со скоростью не выше расчетной, при подходе к контрольной точке, расположенной в месте укладки первого со стороны горки ограждающего тормозного башмака или на расстоянии не менее $l_{0Б2} \geq 95$ м от границы полезной длины пути в выходной горловине парка в сторону сортировочной горки будет двигаться со скоростью не более 5 км/ч;



Рисунок 2 – Структурная схема диссертационного исследования

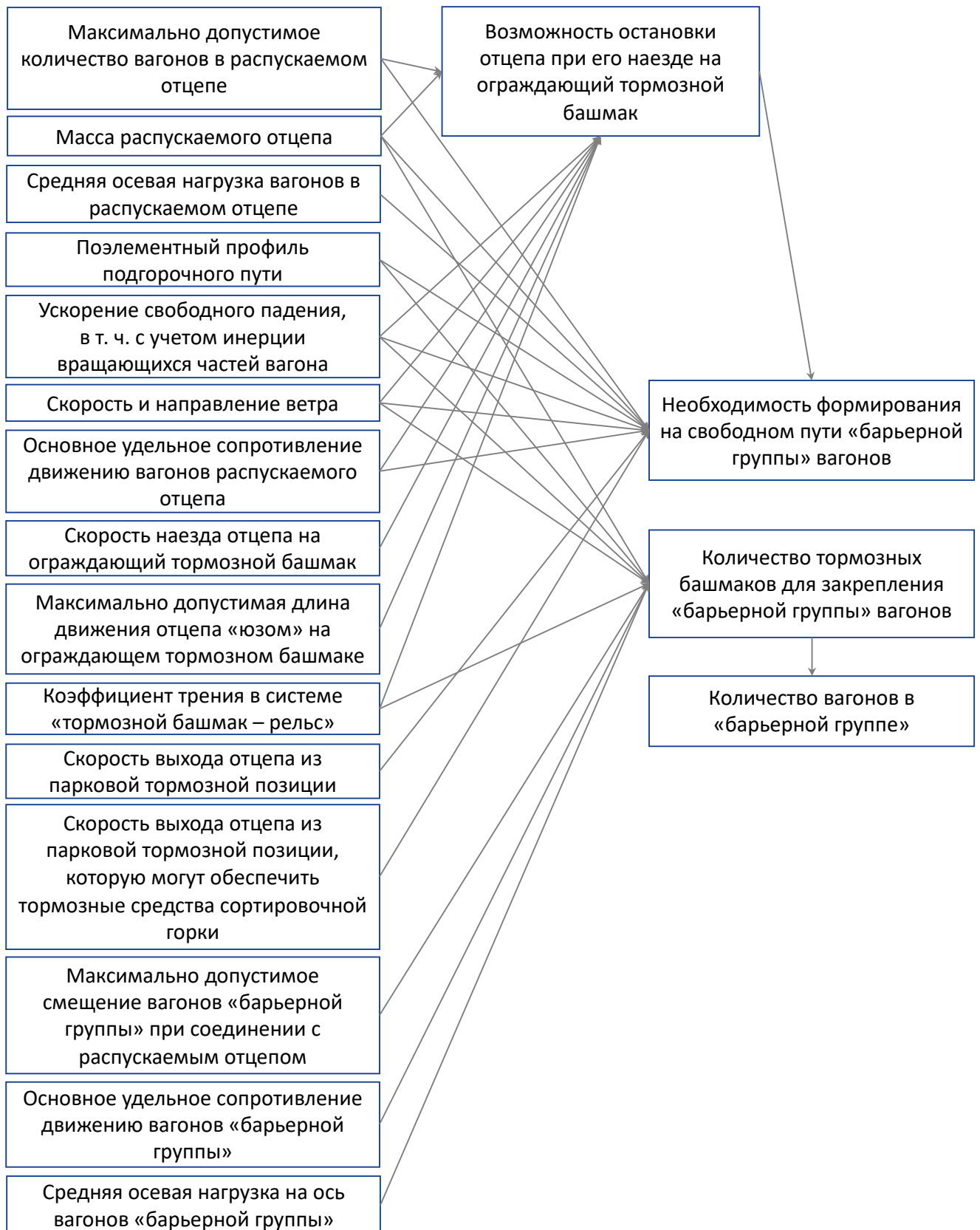


Рисунок 3 – Факторы, определяющие параметры применения нестационарных ограждающих средств

– полученное расчетное значение скорости выхода отцепа из парковой тормозной позиции не менее величины, установленной с учетом мощности

тормозных средств (указанных в паспортах устройств, применяемых на горке, и учитываемых при расчете максимальной длины отцепа);

– отцеп заданной длины при наезде на ограждающий тормозной башмак проследует на нем «юзом» не более заданного расстояния.

Выполнение данного условия проверяется решением неравенства (1) с учетом ограничений (2):

$$\frac{V_H^2}{2 \cdot n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} + 2 \cdot g' \cdot (w_0 + i + w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3}} \leq l_{\text{юза}}^{\text{max}}, \quad (1)$$

где V_H – скорость наезда отцепа на ограждающий тормозной башмак, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; g' – ускорение свободного падения с учетом инерции вращающихся частей вагона, м/с²; w_0 – основное удельное сопротивление движению отцепа, кгс/тс; $w_{\text{ср}}$ – удельное сопротивление движению отцепа от воздушной среды и ветра, кгс/тс (значение берется со знаком «+» при встречном ветре, со знаком «-» – при попутном ветре); $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$ – количество вагонов в скатывающемся отцепе; μ – коэффициент трения в системе «тормозной башмак – рельс»; $l_{\text{юза}}^{\text{max}}$ – максимально допустимая длина участка пути, который отцеп может проследовать «юзом» на ограждающем тормозном башмаке, м; i – приведенный уклон участка пути, который отцеп проследует «юзом» на ограждающем тормозном башмаке, ‰. Если приведенный уклон имеет положительное значение, то значение i берется со знаком «+», а если отрицательное – то со знаком «-».

$$\begin{cases} n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \in Z \\ n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \geq 1, \\ n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \leq m_p \end{cases}, \quad (2)$$

где Z – множество целых чисел; m_p – длина расформировываемого состава, вагонов.

Если не обеспечивается выполнение указанных требований, то запрещается осуществлять роспуск вагонов на рассматриваемый путь до формирования и закрепления на нём «барьерной группы» вагонов.

Разработанный математический аппарат позволяет определить величину «барьерной группы» вагонов и норму её закрепления тормозными башмаками (с уточнением на погодные условия) с учетом максимальной массы распускаемого отцепа, основного удельного сопротивления движению вагонов «барьерной группы», уклона места расположения «барьерной группы», скорости и направления ветра, количества тормозных башмаков, которыми закреплена «барьерная группа», а также осевой нагрузки закрепляемых вагонов.

Получена формула расчета минимального количества тормозных башмаков для закрепления «барьерной группы» вагонов с целью обеспечения её удерживающей способности:

$$K = \frac{m \cdot V^2 - 0,002 \cdot m \cdot g \cdot i \cdot S}{2 \cdot g \cdot P \cdot S \cdot (0,002 \cdot (\omega_0 + i + \omega_{\text{ср}}) + \mu)}, \quad (3)$$

где 2 – коэффициент из формулы расчета кинетической энергии; 0,002 – коэффициент, учитывающий перевод из кгс в тс, количество осей в четырехосном

вагоне и максимально возможное количество тормозных башмаков, укладываемое под один четырехосный вагон; V – скорость отцепа в момент его соединения с вагонами «барьерной группы», м/с; S – максимальное допустимое перемещение вагонов «барьерной группы» после соединения с отцепом, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; i – расчетный максимальный уклон участка пути, на котором будет располагаться «барьерная группа», ‰ (если «барьерная группа» располагается на противоклоне, то значение уклона i берется со знаком «+», а если «барьерная группа» располагается на уклоне – то со знаком «–»); m – масса распускаемого отцепа, т; ω_0 – основное удельное сопротивление движению вагонов «барьерной группы», кгс/тс; ω_{cp} – удельное сопротивление движению вагонов «барьерной группы» от воздушной среды и ветра, кгс/тс (значение является положительным при встречном ветре, значение является отрицательным – при попутном ветре); μ – коэффициент трения в системе «тормозной башмак – рельс»; P – осевая нагрузка закрепляемых вагонов, входящих в «барьерную группу», т/ось.

При получении дробного числа значение K округляется до целого значения в большую сторону.

Минимальное необходимое количество вагонов «барьерной группы» определяется по формуле:

$$n_{\text{ваг}} = \frac{K}{2}, \text{ усл. ваг.} \quad (4)$$

При получении по формуле (4) дробной величины она должна быть округлена в большую сторону до целого значения.

При сильном (более 15 м/с) и штормовом ветре (25 м/с) норма закрепления увеличивается в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. После увеличения количества тормозных башмаков для закрепления «барьерной группы» вагонов проверяется достаточность числа осей для укладки тормозных башмаков. При необходимости потребное количество закрепляемых вагонных осей корректируется в сторону их увеличения.

С учетом технологических особенностей выполнения операций по формированию «барьерных групп» вагонов разработана методика расчета дополнительных затрат, связанных с формированием «барьерных групп». С ее использованием определяются затраты времени и маневровых средств на выполнение данной работы, а также экономическая целесообразность использования стационарных заграждающих средств вместо нестационарных.

Выделены три основных способа формирования «барьерных групп» вагонов:

- формирование «барьерной группы» в процессе накопления состава из последних отцепов (вагонов), следующих на сортировочный (сортировочно-отправочный) путь;
- формирование «барьерной группы» путем отцепки группы вагонов от распускаемого состава у вершины горки и перестановки ее к месту установки «барьерной группы» дополнительно привлекаемым локомотивом;
- формирование «барьерной группы» путем осаживания расформировываемого состава, отцепки «барьерной группы» вагонов с последующим ее подтягиванием (осаживанием) к месту установки.

Даны предложения по совершенствованию существующей методики расчета максимально допустимого числа вагонов в отцепе при роспуске на сортировочных горках. При определении максимально допустимого количества вагонов в отцепе необходимо дополнительно учитывать возможность останова отцепа при его движении по свободному сортировочному (сортировочно-отправочному) пути до контрольной точки (места установки первого со стороны горки ограждающего тормозного башмака), возможность останова отцепа при его наезде на ограждающий тормозной башмак при заданной максимально допустимой длине движения отцепа «юзом» (решение неравенства 1), возможность останова отцепа при соединении его с «барьерной группой» вагонов (решение неравенства 5) или при взаимодействии со стационарным заграждающим средством.

$$n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \leq \frac{K_{\text{ТБ}}^{\text{БГ}} \cdot P_{\text{БГ}} \cdot l_{\text{юза}}^{\text{БГ}} \cdot (0,04 \cdot i + 3,37)}{m \cdot (V^2 - 0,02 \cdot i \cdot l_{\text{юза}}^{\text{БГ}})}, \quad (5)$$

где $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$ – количество вагонов в отцепе; 0,02 – расчетный коэффициент, учитывающий ускорение свободного падения и перевод из кгс в тс; 3,37 – расчетный коэффициент, учитывающий основное удельное сопротивление движению вагонов «барьерной группы» и наиболее неблагоприятный коэффициент трения в системе «тормозной башмак – рельс»; 0,04 – удвоенный расчетный коэффициент, учитывающий ускорение свободного падения и перевод из кгс в тс; V – скорость отцепа в момент его соединения с вагонами «барьерной группы», м/с; $l_{\text{юза}}^{\text{БГ}}$ – максимальное допустимое смещение вагонов «барьерной группы», м; $K_{\text{ТБ}}^{\text{БГ}}$ – количество тормозных башмаков, используемых для закрепления вагонов «барьерной группы»; m – максимальная масса одного груженого вагона, т; $P_{\text{БГ}}$ – минимальная осевая нагрузка закрепляемых вагонов, входящих в «барьерную группу», т/ось; i – расчетный максимальный уклон участка сортировочного (сортировочно-отправочного) пути, на котором будет располагаться «барьерная группа», ‰.

Кроме того, исходя из наличия свободного места на подгорочном пути, определяется длина отцепа, который может быть распущен на занятый путь, с целью дальнейшего формирования из него «барьерной группы» вагонов:

$$n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} = l_{\text{пути}} - m_{\text{ф}} - l_{\text{доп}}, \quad (6)$$

где $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$ – длина отцепа, усл. ваг.; $l_{\text{пути}}$ – полезная длина сортировочного (сортировочно-отправочного пути) пути, усл. ваг.; $m_{\text{ф}}$ – установленная длина состава, формируемого на данном пути, усл. ваг.; $l_{\text{доп}}$ – дополнительное расстояние, необходимое для размещения локомотива и обеспечения безопасности, усл. ваг.

После перестановки сформированного состава в парк отправления (после отправления поезда с сортировочно-отправочного пути) на подгорочном пути останется «барьерная группа» длиной $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$ вагонов.

Это позволит уточнить максимальную длину распускаемых отцепов, исходя из удерживающей способности заграждающих средств, что гарантированно повысит безопасность сортировочного процесса. Укрупненный алгоритм расчета максимально допустимой длины отцепа приведен на рисунке 4.

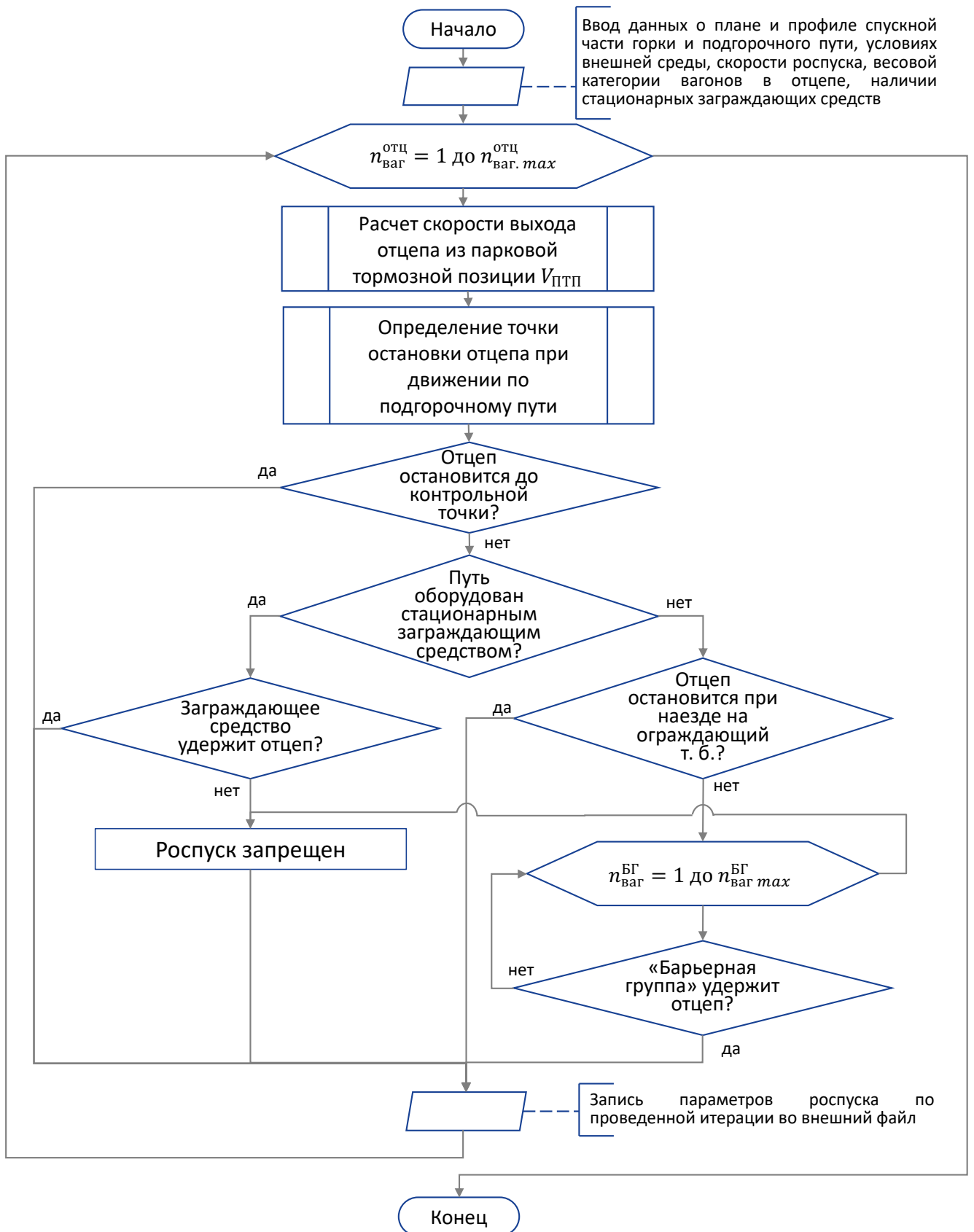


Рисунок 4 – Укрупненный алгоритм расчета максимально допустимой длины отцепы

Выполнено исследование взаимосвязей загрузки сортировочных устройств и использования сортировочных путей. Изменения эксплуатационных возможностей

станции по размерам перерабатываемого вагонопотока ΔN_T и числу назначений формируемых поездов Δk , а также изменения времени нахождения на станции перерабатываемых вагонов $\Delta t_{\text{пер}}$ характеризуются зависимостями:

для станций (сортировочных систем) с сортировочным парком и парком отправления

$$\begin{cases} \Delta N_T = f_1(t_{\Gamma}, \Delta \gamma_{\text{гор}}, \omega_c, t_{\text{ож}}^{\text{выст}}, \Delta \Pi_{\text{дисп}}, t_{\text{горл}}^{\text{зан}}) \\ \Delta k = f_2(t_{\Gamma}, \Delta \gamma_{\text{гор}}, \omega_c, t_{\text{ож}}^{\text{выст}}, \Delta \Pi_{\text{дисп}}, t_{\text{горл}}^{\text{зан}}) ; \\ \Delta t_{\text{пер}} = f_3(t_{\Gamma}, \Delta \gamma_{\text{гор}}, \omega_c, t_{\text{ож}}^{\text{выст}}, \Delta \Pi_{\text{дисп}}, t_{\text{горл}}^{\text{зан}}) \end{cases} \quad (7)$$

для станций (сортировочных систем) с сортировочно-отправочным парком

$$\begin{cases} \Delta N_T = f_1(t_{\Gamma}, \Delta \gamma_{\text{гор}}, \omega_{\text{со}}, t_{\text{доп}}^{\text{со}}, \Delta \Pi_{\text{дисп}}, t_{\text{горл}}^{\text{зан}}) \\ \Delta k = f_2(t_{\Gamma}, \Delta \gamma_{\text{гор}}, \omega_{\text{со}}, t_{\text{доп}}^{\text{со}}, \Delta \Pi_{\text{дисп}}, t_{\text{горл}}^{\text{зан}}) , \\ \Delta t_{\text{пер}} = f_3(t_{\Gamma}, \Delta \gamma_{\text{гор}}, \omega_{\text{со}}, t_{\text{доп}}^{\text{со}}, \Delta \Pi_{\text{дисп}}, t_{\text{горл}}^{\text{зан}}) \end{cases} \quad (8)$$

где t_{Γ} – горочный технологический интервал, мин; $\Delta \gamma_{\text{гор}}$ – относительные потери перерабатывающей способности горки из-за переполнения сортировочных путей, ваг/сут; ω_c – соотношение вместимости путей и длин формируемых составов для сортировочных путей; $\omega_{\text{со}}$ – соотношение вместимости путей и длин формируемых составов для сортировочно-отправочных путей; $t_{\text{ож}}^{\text{выст}}$ – ожидание выставления сформированного состава в парк отправления, мин; $t_{\text{доп}}^{\text{со}}$ – дополнительное (после окончания накопления) время занятия сортировочно-отправочного пути одним поездом, мин; $\Delta \Pi_{\text{дисп}}$ – изменение числа диспетчерских путей в подгорочном парке; $t_{\text{горл}}^{\text{зан}}$ – время занятия элементов горловины формирования, мин.

Предложен перспективный алгоритм проверки необходимости установки заграждающих средств на свободных подгорочных путях до начала расформирования состава в КСАУ СП (рисунок 5).

Использование данного алгоритма позволит:

- осуществлять роспуск вагонов в автоматическом режиме на подгорочные пути, продольный профиль которых имеет отклонения от нормативных отметок, до проведения выправки;
- формировать для дежурно-диспетчерского персонала станции конкретные предложения по минимизации эксплуатационных издержек, связанных с установкой «барьерных групп» вагонов;
- осуществлять проверку места фактической установки «барьерной группы» на свободном подгорочном пути с использованием устройств контроля заполнения путей (КЗП).

В третьей главе диссертационного исследования сформулированы основные положения гибридной технологии расчетов (рисунок 6) по определению эффективных параметров сортировочной работы, которая включает предварительный аналитический расчет параметров использования нестационарных заграждающих средств, вариантообразование способов формирования «барьерных групп» вагонов, проведение имитационных расчетов, анализ и интерпретацию получаемых результатов.

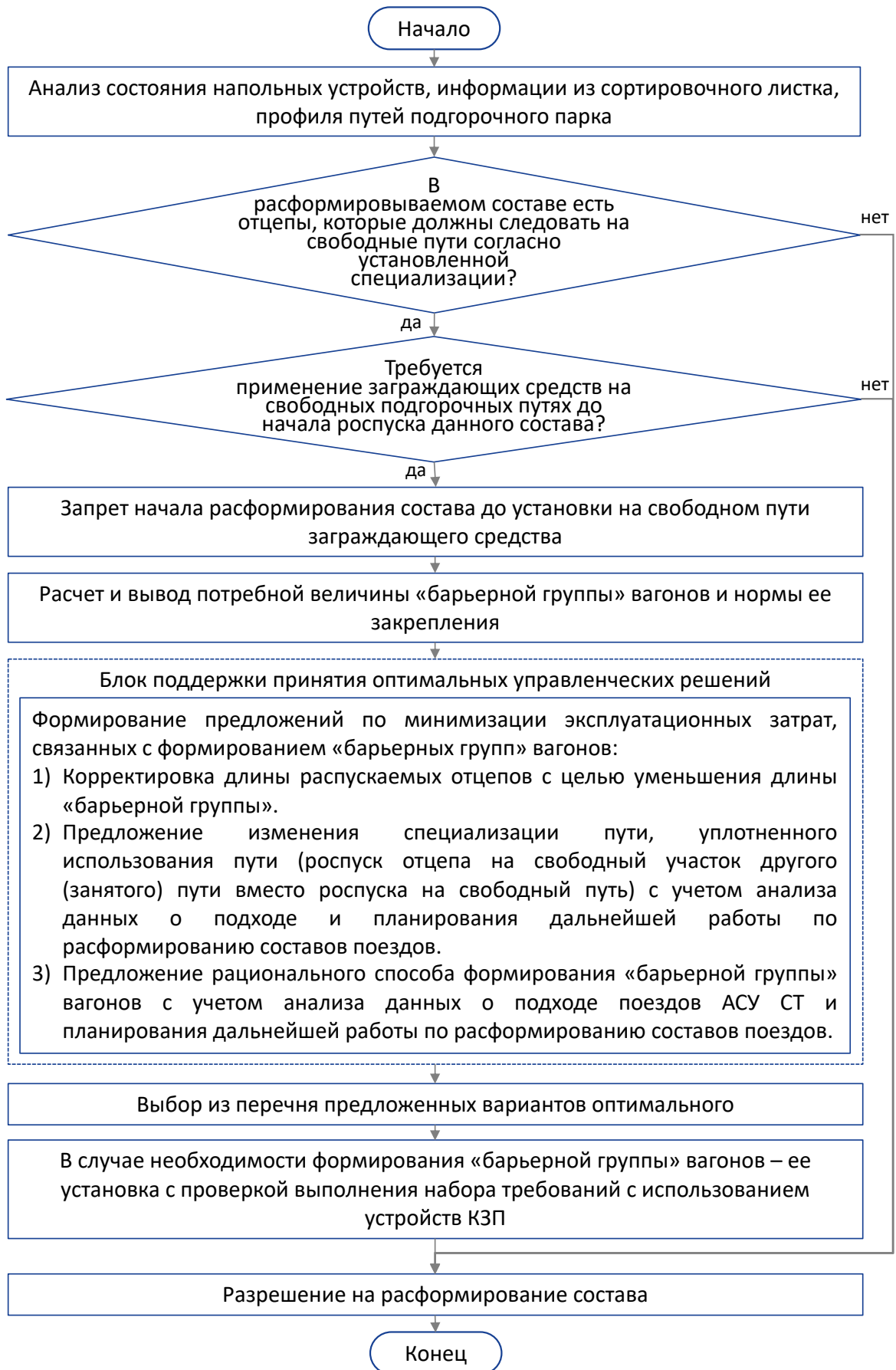


Рисунок 5 – Перспективный алгоритм проверки необходимости установки заграждающих средств на свободных подгорочных путях до начала расформирования состава в КСАУ СП

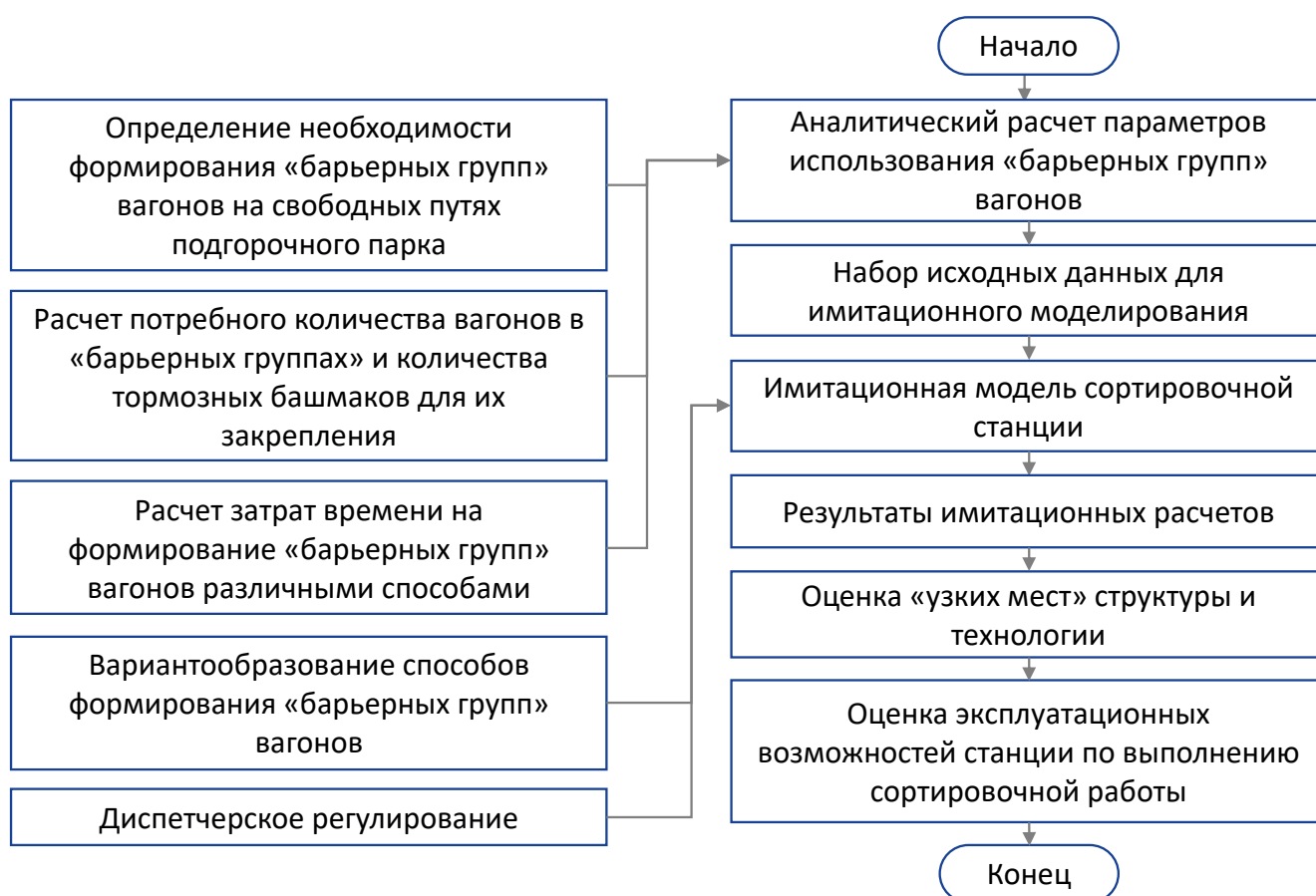


Рисунок 6 – Гибридная технология аналитических и имитационных расчетов

Производить оценку эксплуатационных возможностей станции по выполнению сортировочной работы в условиях применения нестационарных заграждающих средств следует путем анализа основных показателей работы станции, полученных в результате имитационного моделирования для различных наборов исходных данных. К таким показателям относятся: количество непринятых поездов; простой транзитного вагона с переработкой; загрузка сортировочной горки; загрузка горочного локомотива; загрузка маневрового локомотива района формирования; среднее время занятия путей парка приема ожиданием расформирования; среднее время занятия подгорочных путей ожиданием окончания формирования и другие.

Для оценки применяемой технологии использования нестационарных заграждающих средств необходимо определить влияние этой технологии на элементы и операции, которые вызывают наибольшие задержки транспортных потоков. Результаты расчетов будут отличаться для железнодорожных станций с различным путевым развитием и технологией работы.

Разработан алгоритм выбора способа формирования «барьерной группы» вагонов при имитационном моделировании, включающий последовательность из шести управляющих операций.

Для постановки серии имитационных экспериментов применена имитационная модель сортировочной станции Красноярск-Восточный в системе имитационного моделирования ИСТРА-САПР. Выполнена доработка модели с реализацией вариантообразования способов формирования «барьерных групп»

вагонов в дереве технологического процесса работы станции. Полученные результаты имитационных расчетов показали нелинейный характер влияния условий и технологии применения заграждающих средств на показатели и эксплуатационные возможности станций по выполнению сортировочной работы. По результатам выполненных имитационных расчетов для сортировочной станции Красноярск-Восточный при изменении количества вагонов в формируемых «барьерных группах» в диапазоне $2 \leq n_{\text{ваг}}^{\text{БГ}} \leq 10$ изменяется количество операций по формированию «барьерных групп» вагонов разными способами, приходящееся в среднем на одни сутки (рисунок 7):

- в процессе роспуска последних отцепов – уменьшается в диапазоне от 30,6 до 7,4;
- методом «съема» у вершины горки локомотивом района формирования – увеличивается в диапазоне от 8 до 22;
- методом осаживания расформируемого состава, отцепки «барьерной группы» и вытягивания состава обратно на горку – увеличивается в диапазоне от 14,6 до 38,6.

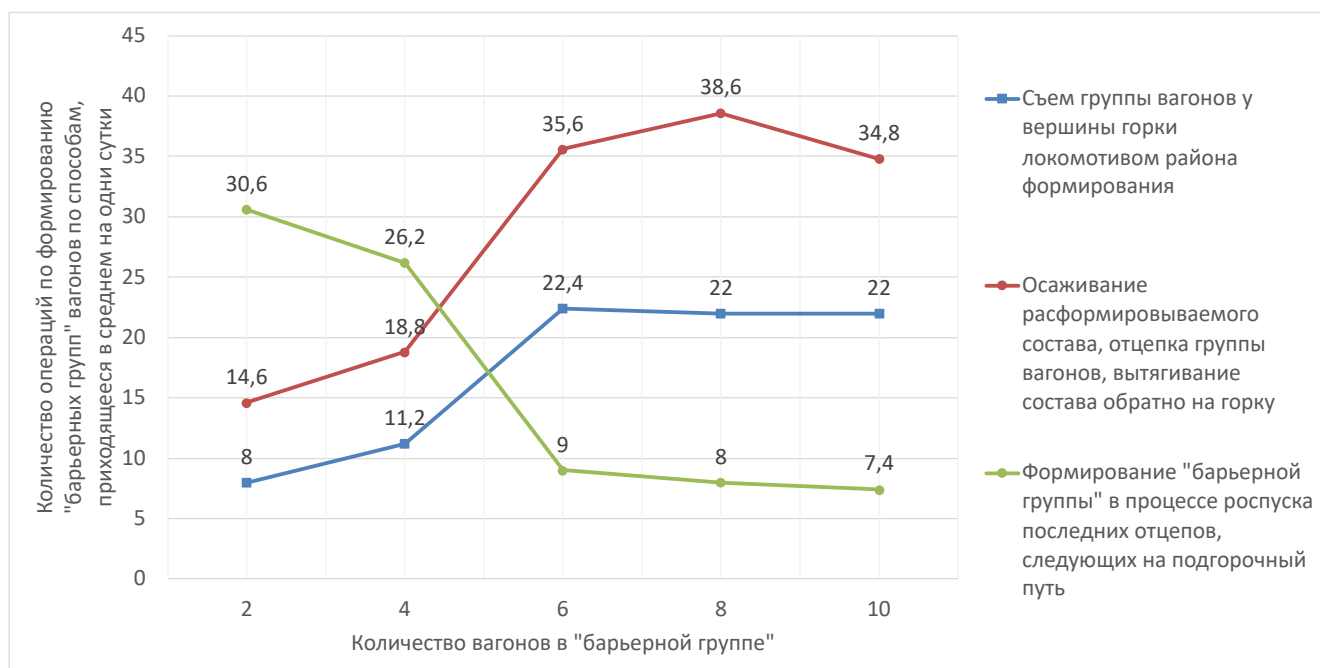


Рисунок 7 – Зависимость количества операций по формированию «барьерных групп» вагонов разными способами, приходящегося в среднем на одни сутки, от количества вагонов в «барьерных группах»

При увеличении количества вагонов в «барьерных группах» увеличивается общее количество операций по формированию «барьерных групп» вагонов ввиду того, что требуется выполнить большее количество операций по роспуску, «снятию» или осаживанию, чтобы сформировать «барьерную группу» требуемой длины. Также при увеличении числа вагонов в «барьерных группах» в диапазоне $2 \leq n_{\text{ваг}}^{\text{БГ}} \leq 10$:

- загрузка горочных локомотивов в среднем за сутки нелинейно изменяется в диапазоне 0,49 – 0,72;

– загрузка локомотивов района формирования в среднем за сутки нелинейно изменяется в диапазоне 0,33 – 0,38;

– загрузка сортировочной горки в среднем за сутки нелинейно изменяется в диапазоне 0,68 – 0,96;

– среднее время занятия путей парка приема ожиданием расформирования в среднем за сутки нелинейно увеличивается на 1,28 – 7,3 ч;

– среднее время занятия подгорочных путей ожиданием окончания формирования в среднем за сутки нелинейно изменяется в диапазоне 0,2 – 0,26 ч.

В четвертой главе диссертационного исследования рассмотрено применение и эффективность разработанных научно-методических решений.

Приведены примеры использования разработанной математической модели определения параметров «барьерных групп» вагонов. Получены зависимости, характеризующие влияние различных факторов на параметры применения «барьерных групп» (рисунок 8).

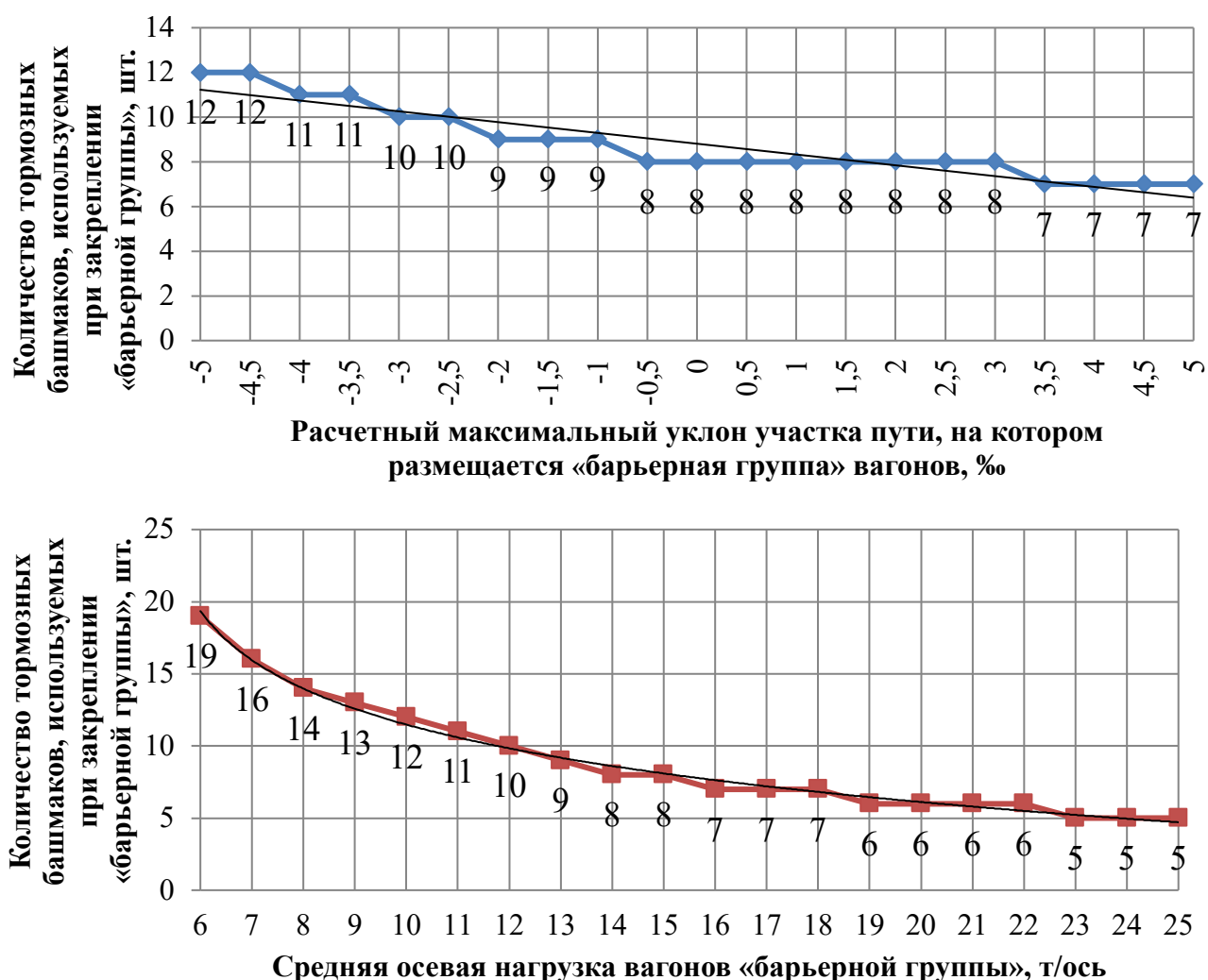


Рисунок 8 – Зависимости, характеризующие влияние различных факторов на параметры применения «барьерных групп» вагонов (пример для сортировочной станции Е и отцепа длиной 22 вагона с осевой нагрузкой вагонов 25 т/ось)

Рассмотрено применение разработанных научно-методических решений в нормативных документах и в автоматизированных системах. Разработанные в рамках диссертации положения нашли отражение в автоматизированной системе ИСУЖТ НС ТРА. В подсистеме «Расчет параметров «барьерных групп» вагонов» осуществляется ведение параметров «барьерных групп» на железнодорожных станциях ОАО «РЖД».

Дана характеристика эффективности применения разработанных методических решений и определены перспективы их развития. Научно обоснованный расчет величины «барьерных групп» вагонов в зависимости от длины и продольных профилей конкретных сортировочных путей, метеоусловий, веса и длины отцепов, а также определение требуемого количества тормозных башмаков для закрепления «барьерных групп» на сортировочных путях перед роспуском в совокупности с предложениями по применению диспетчерских приемов по формированию «барьерных групп» позволяет: повысить эффективность использования технических средств; сократить простой транзитных вагонов с переработкой; увеличить производительность работы горочных локомотивов и маневровых локомотивов района формирования; увеличить перерабатывающую способность сортировочных горок; повысить безопасность выполнения маневровой работы на железнодорожных станциях.

Заключение

В диссертационном исследовании:

1. Выполнен анализ основных факторов, определяющих параметры применения нестационарных ограждающих средств на путях подгорочных парков. Факторы сгруппированы по их влиянию на основные параметры применения нестационарных ограждающих средств, а именно: на возможность остановки отцепа при его наезде на ограждающий тормозной башмак; на необходимость формирования «барьерной группы» вагонов на свободном сортировочном (сортировочно-отправочном) пути до начала роспуска; на величину «барьерной группы» и нормы ее закрепления тормозными башмаками.

2. Исследованы взаимозависимости параметров сортировочной работы и требований обеспечения безопасности движения в горочном комплексе, учитывающие технические параметры применения нестационарных ограждающих средств на путях подгорочных парков. Это даёт возможность определить необходимые параметры использования «барьерных групп» вагонов, а именно: необходимость формирования «барьерной группы» вагонов на свободном подгорочном пути перед роспуском, потребное число вагонов в «барьерной группе» и потребное число тормозных башмаков для ее закрепления при условии обеспечения безопасности движения.

3. Разработан метод определения удерживающей способности нестационарных ограждающих средств, обеспечивающих безопасность сортировочного процесса. Сформулированы предложения по совершенствованию методики расчета максимально допустимой длины отцепа при роспуске на

сортировочных горках с учетом проверки условия останковки отцепа при его движении по свободному подгорочному пути, а также с учетом проверки условия останковки отцепа при его наезде на ограждающий тормозной башмак или при взаимодействии с заграждающим средством.

4. Разработана гибридная технология расчетов с применением имитационного моделирования по определению эффективных параметров сортировочной работы в условиях исключения несанкционированного выхода подвижного состава за пределы полезной длины сортировочных (сортировочно-отправочных) путей. Применение данной технологии позволит оценить влияние структуры, технологии, случайных процессов и диспетчерского управления при использовании нестационарных заграждающих средств на эксплуатационные возможности станции по выполнению сортировочной работы.

5. Дальнейшие исследования следует посвятить разработке инновационных средств, предотвращающих несанкционированный выход подвижного состава за пределы полезной длины сортировочных (сортировочно-отправочных) путей. Необходимо дальнейшее развитие алгоритмов диагностики продольного профиля путей подгорочных парков, в т. ч. с использованием компьютерного зрения и нейросетевых моделей, а также разработка системы поддержки принятия решений, которая позволит минимизировать эксплуатационные издержки, связанные с использованием заграждающих средств.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Коваленко, Н. А. Факторы, определяющие величину и нормы закрепления «барьерных групп» / Н. А. Коваленко, А. А. Бородин, К. А. Тарасов // Мир транспорта. – 2019. – Т. 17, № 6(85). – С. 242-257. – DOI 10.30932/1992-3252-2019-17-242-257.

2. Коваленко, Н. А. Применение новых критериев расчета при определении необходимости формирования барьерных групп / Н. А. Коваленко, А. А. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 9. – С. 15-17.

3. Коваленко, Н. А. Метод определения удерживающей способности заграждающих средств, обеспечивающих безопасность процесса расформирования составов / Н. А. Коваленко, А. А. Бородин // Наука и техника транспорта. – 2020. – № 2. – С. 48-55.

4. Коваленко, Н. А. О расчете оптимальной величины отцепа при роспуске составов на сортировочных горках / Н. А. Коваленко, А. А. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 3. – С. 40-43.

5. Бородин, А. А. Методика расчета дополнительных затрат времени на формирование «барьерных групп» вагонов / А. А. Бородин // Транспорт Урала. – 2021. – № 3(70). – С. 109-115. – DOI 10.20291/1815-9400-2021-3-109-115.

В изданиях, индексируемых Scopus:

6. Kovalenko, N. Ensuring the safety of breaking up and making up of freight trains / N. Kovalenko, A. Borodin // E3S Web of Conferences: Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019, Moscow,

20–22 ноября 2019 года. Vol. 164. – Moscow: EDP Sciences, 2020. – P. 03010. – DOI 10.1051/e3sconf/202016403010.

В других изданиях:

7. Коваленко, Н. А. Разработка методов расчета величины «барьерных групп» вагонов для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков и норм их закрепления / Н. А. Коваленко, Р. А. Ефимов, А. А. Бородин // Труды Восемнадцатой всероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: РУТ (МИИТ), 2017. – С.VIII-9-VIII-10.

8. Коваленко, Н. А. Определение рациональной величины отцепов для исключения опасности выхода вагонов за пределы полезной длины сортировочных путей / Н. А. Коваленко, А. А. Бородин // Труды Девятнадцатой всероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – М.: РУТ (МИИТ), 2018. – С. VI-14-VI-15.

9. Бородин, А. А. Расчет величины и норм закрепления «барьерных групп» для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных (сортировочно-отправочных) парков / А. А. Бородин // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Неделя науки – 2018». – М.: РУТ (МИИТ). – 2018. – С. IV-17-IV-18.

10. Бородин, А. А. Величина отцепа как один из основных технологических параметров обеспечения безопасности роспуска и повышения перерабатывающей способности сортировочной горки / А. А. Бородин // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Неделя науки – 2019». – М.: РУТ (МИИТ). – 2019. – С.IV-13-IV-14.

11. Бородин, А. А. Развитие Методики определения величины «барьерных групп» вагонов для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков и расчета норм закрепления «барьерных групп» / А. А. Бородин // Материалы X научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» часть 3 / Отв. ред. Ю.И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2020. – С. 7-8.

12. Коваленко, Н. А. Определение рациональной величины отцепов для обеспечения безопасности процесса расформирования-формирования поездов / Н. А. Коваленко, А. А. Бородин // Материалы X научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» часть 3 / Отв. ред. Ю.И. Кулаженко – Гомель: БелГУТ, 2020. – С. 29-30.

13. Коваленко, Н. А. Мероприятия по снижению уровня риска возникновения событий и происшествий в горочном комплексе / Н. А. Коваленко, Р. А. Ефимов, А. А. Бородин, А. А. Сухов // Тенденции развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом: Материалы международной юбилейной научно-технической конференции, посвященной 95-летию кафедр «Железнодорожные станции и транспортные узлы», «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте», Москва, 20–21 ноября 2019 года. – М.: Российский университет транспорта, 2020. – С. 120-124.

14. Коваленко, Н. А. Анализ технической поддержки на сортировочных станциях / Н. А. Коваленко, Р. А. Ефимов, А. А. Бородин // Наука и технологии железных дорог. – 2021. – Т. 5. – № 4 (20). – С. 64-73.

15. Коваленко, Н. А. Анализ технического оснащения и технологии формирования поездов на российских и зарубежных сортировочных станциях / Н. А. Коваленко, Р. А. Ефимов, А. А. Бородин // Славянский форум. – 2021. – № 4 (34). – С. 215-227.

Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [5, 9, 10, 11] подготовлены единолично.

Личный вклад автора диссертации в рамках публикаций [1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15], подготовленных в соавторстве: разработка новых критериев формирования «барьерных групп» вагонов, проведение многофакторных расчетов [2], принципы расчета величины и норм закрепления «барьерных групп» вагонов [1, 7, 13], математическая модель, позволяющая определить удерживающую способность и потребную величину «барьерной группы» вагонов [3], предложения по совершенствованию действующей Инструкции по расчету максимально допустимой длины отцепа [4, 11, 12], анализ технического оснащения и технологии работы российских и зарубежных сортировочных станций [14, 15], методы формирования «барьерных групп» вагонов на путях подгорочных парков [6].

Бородин Александр Андреевич

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОРТИРОВОЧНОЙ РАБОТЫ ПРИ ГАРАНТИРОВАННОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ В ГОРОЧНОМ КОМПЛЕКСЕ

2.9.4. Управление процессами перевозок (технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Подписано в печать «26» января 2024 г.

Формат 60×84 1/16

Объем усл. печ. л. 1,4

Тираж 100 экз.

Заказ 73

Издательство УрГУПС, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66