

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
РУТ(МИИТ)

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)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент
Коваленко Нина Александровна

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ЭФФЕКТИВНОЙ И БЕЗОПАСНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СОРТИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА.....	14
1.1 Анализ особенностей технического оснащения и технологии работы российских и зарубежных поездобразующих станций.....	14
1.2 Анализ использования заграждающих средств на сортировочных путях, в том числе «барьерных групп» вагонов.....	17
1.3 Теоретические исследования по обеспечению эффективности и безопасности сортировочного процесса.....	25
1.4 Автоматизация управления сортировочным процессом в горочных комплексах	29
1.5 Обеспечение эффективности и безопасности сортировочного процесса в горочных комплексах за рубежом	31
1.6 Пути повышения эффективности и безопасности сортировочной работы в горочных комплексах. Постановка задачи исследования	36
1.7 Выводы по главе 1	40
2 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ СОРТИРОВОЧНОЙ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ В ГОРОЧНОМ КОМПЛЕКСЕ	43
2.1 Исследование факторов, определяющих величину и нормы закрепления «барьерных групп» вагонов.....	43
2.2 Определение возможности остановки отцепа при наезде на ограждающий тормозной башмак.....	62
2.3 Исследование взаимозависимостей параметров сортировочной работы и использования заграждающих средств, обеспечивающих безопасность процесса расформирования составов.....	67
2.3.1 Вывод аналитических зависимостей и расчетных формул	67

2.3.2	Дополнительные расходы, связанные с формированием «барьерных групп» вагонов.....	80
2.3.3	Определение целесообразности использования стационарных заграждающих средств на путях подгорочных парков	82
2.4	Предложения по совершенствованию методики расчета максимально допустимого числа вагонов в отцепе при роспуске на сортировочных горках	85
2.5	Исследование взаимосвязей загрузки сортировочных устройств и использования сортировочных путей.....	93
2.6	Оценка влияния систем автоматизации управления сортировочным процессом на показатели эффективности и безопасности сортировочной работы.....	101
2.7	Выводы по главе 2.....	105
3	ГИБРИДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОРТИРОВОЧНОЙ РАБОТЫ.....	109
3.1	Основные положения.....	109
3.2	Отображение приемов и методов диспетчерского управления при имитационном моделировании сортировочного процесса.....	112
3.3	Имитационное моделирование работы станций с различными параметрами формирования «барьерных групп» вагонов (система ИСТРА САПР).....	116
3.4	Постановка серии имитационных экспериментов, интерпретация и анализ результатов модельных расчетов	119
3.5	Выводы по главе 3.....	133
4	ПРИМЕНЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРАБОТАННЫХ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	135
4.1	Экспериментальная проверка и результаты расчетов по станциям	135
4.1.1	Примеры использования математической модели определения параметров «барьерных групп» вагонов.....	135
4.1.2	Анализ результатов практических расчетов дополнительных затрат на формирование «барьерных групп» вагонов.....	143

4.1.3 Исследование взаимозависимостей параметров сортировочной работы и затрат времени на формирование «барьерных групп» вагонов.....	145
4.2 Применение разработанных положений в нормативно-методических документах	151
4.3 Применение разработанных положений в автоматизированных системах	154
4.4 Характеристика эффективности применения разработанных методических решений и перспективы их развития.....	160
4.5 Выводы по главе 4.....	161
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	163
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	165
Приложение А. Примеры результатов расчета параметров применения нестационарных загрязжающих средств	180
Приложение Б. Акт внедрения результатов работы	182

ВВЕДЕНИЕ

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 [1]. 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 [5].

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 взаимосвязке 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 загряздающих средств, обеспечивающих безопасность процесса расформирования-формирования составов поездов. В частности, отсутствуют научно обоснованные методики определения издержек, связанных с использованием в качестве загряздающих 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 исследования.

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 необходимого числа вагонов в «барьерной группе»;

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

методические положения по расчету максимально допустимой длины отцепы 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. [2];

– «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. [3];

– «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. [4];

– автоматизированной системе ИСУЖТ НС ТРА (Приложение Б).

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, управления» (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.

Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [5, 6, 7, 8] подготовлены единолично.

Личный вклад автора диссертации в рамках публикаций [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19], подготовленных в соавторстве: разработка новых критериев формирования «барьерных групп» вагонов, проведение многофакторных расчетов [9], принципы расчета величины и норм закрепления «барьерных групп» вагонов [10, 16, 19], математическая модель, позволяющая определить удерживающую способность и требуемую величину «барьерной группы» вагонов [11], предложения по совершенствованию действующей Инструкции по расчету максимально допустимой длины отцепы [12, 17, 18], анализ технического оснащения и технологии работы российских и зарубежных сортировочных

станций [13, 14], методы формирования «барьерных групп» вагонов на путях подгорочных парков [15].

1 ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ЭФФЕКТИВНОЙ И БЕЗОПАСНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СОРТИРОВОЧНОГО ПРОЦЕССА

1.1 Анализ особенностей технического оснащения и технологии работы российских и зарубежных поездобразующих станций

Неотъемлемой частью перевозочного процесса на железнодорожном транспорте является технологическая работа, связанная с переработкой составов поездов на сортировочных станциях. Назначение сортировочной станции заключается в приеме поездов, подлежащих расформированию, расформировании составов путем направления отцепов на определенные пути, на которых формируются поезда новых назначений с последующим отправлением их по маршруту следования.

Технология работы и техническое оснащение сортировочных станций должны прежде всего минимизировать эксплуатационные затраты, а также ускорять сортировку вагонов [20]. Снижение времени нахождения вагонов на станциях при выполнении установленных технологических процессов улучшает качество перевозочного процесса.

На многих сортировочных станциях сети российских железных дорог внедрены различные устройства и системы автоматизации контроля и управления, например: системы идентификации подвижного состава, маневровая автоматическая локомотивная сигнализация МАЛС, автоматизированная система коммерческого осмотра вагонов АСКОПВ, системы контроля и диагностики АДК СЦБ, АПК ДК и др. Функционирование таких систем обеспечивает предоставление оперативных данных в реальном времени диспетчерскому персоналу для поддержки принятия оптимальных и оперативных управленческих решений, а также позволяет формировать аналитику для оценки выполнения установленных показателей [20].

Основными задачами системы управления сортировочной станцией являются повышение эффективности работы, сокращение до минимума ручного

ввода информации [21], а также исключение поступления информации в искаженном виде. Такие системы должны в режиме реального времени предоставлять оперативные данные стационарным работникам для повышения качества принимаемых управленческих решений. Мировой опыт эксплуатации горочных комплексов показывает, что проблема улучшения процесса принятия решений и планирования работы сортировочных станций является актуальной для железных дорог других стран. Так, ведущие компании США, которые специализируются на разработке программного обеспечения для систем автоматизации, активно работают над созданием нового поколения систем управления для грузовых и сортировочных станций [20].

Проблемой российских сортировочных станций является недостаточная длина путей, которая не позволяет формировать поезда длиной 71 условный вагон. При относительно малом количестве путей в сортировочном парке (в 1,5 – 2 раза меньше по сравнению с зарубежными станциями) на большинстве отечественных станций выполняется повторная сортировка вагонов, снижающая перерабатывающую способность. К тому же, увеличение количества путей невозможно из-за территориального размещения станций в черте городов. Наличие в расформировываемых составах вагонов с опасными грузами также увеличивает объем маневровой работы и снижает перерабатывающую способность сортировочных горок [20].

На большинстве станций профили путей спускной части сортировочных горок и путей сортировочного парка содержатся ненадлежащим образом (рисунок 1.1). За замедлителями парковых тормозных позиций имеются резкие переломы продольного профиля. При движении по сортировочным (сортировочно-отправочным) путям отцепы могут останавливаться, а затем начинать движение в сторону сортировочной горки. На некоторых путях имеется значительный уклон в сторону выходной горловины подгорочного парка. В связи с этим продольные профили путей сортировочных парков необходимо содержать и своевременно приводить в соответствие с проектом [20].



Рисунок 1.1 – Основные проблемы российских сортировочных станций [20]

По состоянию на 2023 год на сети ОАО «РЖД» функционирует 26 важнейших сетевых и 13 сортировочных станций дорожного уровня [1], обеспечивающих выполнение эксплуатационной работы Компании и оказание услуг железнодорожной инфраструктуры другим участникам перевозочного процесса.

Техническая реализация процесса расформирования-формирования составов поездов включает подсистемы управления: скоростью надвига и роспуска составов, маршрутами скатывания отцепов с горки, скоростью движения отцепов по спускной части и сортировочным путям. В связи с этим необходимо обеспечивать безопасность движения каждого отцепа с момента начала его скатывания с сортировочной горки до остановки на пути подгорочного парка.

На этапе эксплуатации сортировочных горочных комплексов необходимо проводить анализ выполнения требований безопасности движения, с целью своевременной выработки мер по поддержанию этого показателя в нормативных пределах. В соответствии с работой [22] количественная оценка безопасности функционирования горочного комплекса, а именно вероятность отсутствия нарушений безопасности функционирования при скатывании N отцепов, определяется по формуле:

$$Q_{n=0} = e^{-Nq}, \quad (1.1)$$

где n – количество нарушений безопасности функционирования;

NQ – математическое ожидание числа нарушений безопасности функционирования при скатывании с горки N отцепов.

Одной из мер воздействия на показатель безопасности функционирования горочных комплексов является использование заграждающих средств на путях подгорочных парков [23], которое позволяет избежать возникновения в процессе роспуска вагонов опасных событий, таких как выход неуправляемых вагонов за пределы полезной длины путей, взрез стрелок, столкновение, образование ползунов [23].

1.2 Анализ использования заграждающих средств на сортировочных путях, в том числе «барьерных групп» вагонов

Согласно требованиям действующих нормативно-технических документов пути подгорочного парка горок большой, средней и малой мощности должны оборудоваться заграждающими средствами [24, 25, 26], позволяющими избежать в процессе роспуска несанкционированного следования вагонов за пределы полезной длины путей, а также уменьшающими риск возникновения других опасных событий.

Анализ текущей ситуации показывает, что на ряде сортировочных станций отсутствуют заграждающие средства, а продольный профиль путей сортировочного парка соответствует нормативам всего лишь на 19 % станций, оборудованных сортировочными горками (рисунок 1.2).

Стационарные заграждающие средства отсутствуют даже на таких высокотехнологичных сортировочных станциях как Красноярск-Восточный, Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский и других, оборудованных системами КСАУ СП, МАЛС [13].



Рисунок 1.2 – Характеристика горочных комплексов сети ОАО «РЖД»
(по состоянию на 2023 г.)

С течением времени в процессе эксплуатации фактические параметры горок, отметки плана и профиля сортировочных (сортировочно-отправочных) путей начинают отличаться от проектных решений. Работы по реконструкции устройств и элементов сортировочных горок, удлинению сортировочных (сортировочно-отправочных) путей, выправке продольных профилей приводят к корректировкам проектных параметров горок. Корректировки производятся также после допущенных случаев нарушения безопасности движения.

Постоянное наращивание избыточных ограничений в работе горок, с целью обеспечения безопасности сортировочной работы при отступлении реальных профильных отметок сортировочных путей от нормативных параметров и отсутствии заграждающих средств, приводит к снижению их перерабатывающей способности и уменьшению производительности [13].

Особенно остро данная проблема стоит на реконструированных станциях, которые строились в 80-х годах прошлого столетия. Полезная длина сортировочных путей на таких станциях рассчитывалась на накопление составов

длиной до 50 вагонов, а выходная горловина подгорочного парка располагалась на подъёме до 2 ‰. По нормам проектирования такой профиль получался поднятием горловины со спуском после. Если в дальнейшем на станции проводилось удлинение подгорочных путей [23] путём переноса стрелок и удлинения горловины, участок спуска оказывался в границах полезной длины путей или в горловине парка, а последние 100 метров пути фактически оказывались на уклоне до 3 ‰ [23].

Анализ нормативных документов, в части требования использования заграждающих средств на путях подгорочных парков, подтверждает данный вывод. Нормативное требование по использованию заграждающих средств на подгорочных путях появилось только в Правилах и нормах проектирования сортировочных устройств (ПНПСУ) 1992 г. [27] (таблица 1.1). В нормативных документах: Технические указания на проектирование узлов и станций (ТУПС) 1948 г. [28], 1961 г. [29], 1965 г. [30], Инструкция по проектированию станций и узлов (ИПСУ) 1978 г. [31] требование об использовании заграждающих средств отсутствует.

Среди других причин, вызвавших на определенном историческом этапе необходимость использования заграждающих средств взамен укладки ограждающих тормозных башмаков на свободные пути до начала роспуска, стали:

- увеличение доли «хороших бегунов»;
- увеличение скоростей роспуска;
- увеличение длины отцепов за счет календарного планирования погрузки на грузовых станциях узла по назначениям плана формирования сортировочной станции [32];
- увеличение грузоподъемности вагонов и как следствие увеличение массы распускаемых отцепов.

В результате действия вышеуказанных причин остро встал вопрос предотвращения выхода вагонов за пределы полезной длины путей сортировочного (сортировочно-отправочного) парка и применения

дополнительных заграждающих средств для обеспечения безопасности (рисунок 1.3).

Таблица 1.1 – Изменения нормативных требований по использованию заграждающих средств на путях подгорочных парков

Документ, год издания	Требование использования заграждающих средств на путях подгорочных парков	Требования к продольному профилю путей подгорочного парка
ТУПС, 1948 г.	Отсутствует	Спуск 2,0 ‰ для первых двух третей пути, для последней трети сортировочного пути – подъем 2,0 ‰ [28]
ТУПС, 1961 г.	Отсутствует	Спуск 1,0 – 1,5 ‰ для первых двух третей пути на прямых участках, в кривых – до 2,0 ‰. Для последней трети пути – подъем до 2,0 ‰ [29]
ТУПС, 1965 г.	Отсутствует	То же [30]
ИПСУ, 1978 г.	Отсутствует	Первый элемент со стороны стрелочной зоны (длиной на половину длины состава) размещается на равномерном уклоне по направлению скатывания: 1,0 ‰ – при длине состава 800 м; 0,9 ‰ – для 1000 м и 0,8 ‰ – для 1200 м. Следующий элемент продольного профиля сортировочного пути проектируется крутизной не более 0,5 ‰. Для автоматизированных горок первый элемент профиля (длиной 200 м) проектируется на уклоне до 1,5 ‰, а при длине 125 м – на уклоне 2,0 ‰. Следующий элемент продольного профиля сортировочного пути проектируется на уклоне не более 0,5 ‰ [31]
ПНПСУ, 1992 г.	Пути подгорочного парка горок повышенной, большой, средней и малой мощности должны оборудоваться заграждающими средствами	Уклон сортировочных путей до 0,6 ‰. Последние 100 м подгорочного пути и выходную горловину подгорочного парка проектируют на противоклоне 2,0 ‰. [27]
ПНПСУ, 2003 г.	Пути подгорочного парка горок большой, средней и малой мощности должны оборудоваться заграждающими средствами	То же [24]



Рисунок 1.3 – Причины, вызвавшие необходимость использования дополнительных заграждающих средств на подгорочных путях

В настоящее время в качестве средств, предотвращающих несанкционированный выход подвижного состава за пределы полезной длины путей сортировочного (сортировочно-отправочного) парка в противоположную от горки сторону, используются «барьерные группы» вагонов (рисунок 1.4). Роспуск вагонов с горки и производство маневровой работы толчками на свободные сортировочные (сортировочно-отправочные) пути запрещен до формирования и закрепления на них «барьерных групп» вагонов [4].

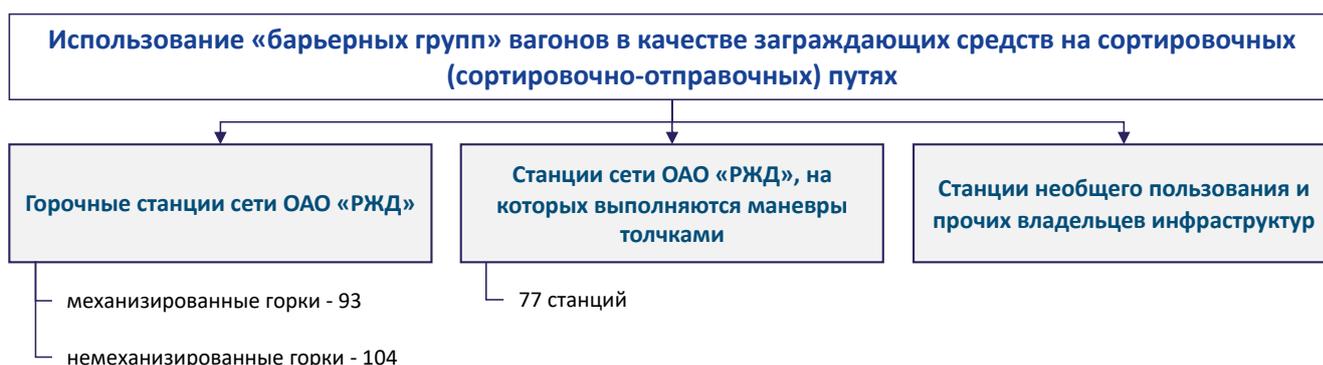


Рисунок 1.4 – Использование «барьерных групп» вагонов на сортировочных (сортировочно-отправочных) путях (по состоянию на 2023 г.)

На практике величина и масса «барьерной группы» вагонов, а также количество тормозных башмаков, укладываемых для её закрепления, определялись, как правило, эмпирическим путём на основе наблюдений и личного опыта руководителей конкретной железнодорожной станции, а также

анализа допущенных случаев выхода подвижного состава за пределы полезной длины сортировочных (сортировочно-отправочных) путей на других железнодорожных станциях ОАО «РЖД». Однако эмпирический путь не позволяет учесть все возможные сочетания неблагоприятных факторов, что может привести к возникновению событий, связанных с нарушением безопасности движения.

Кроме того, использование «барьерных групп» необоснованно завышенной величины приводит к дополнительным простоям сортировочных горок, а также к непроизводительным потерям и снижению их перерабатывающей способности.

Так, например, на станции Новая Еловка Красноярской железной дороги время выполнения операций по накоплению и установке одной «барьерной группы» составляет 40 минут. Выполнение указанных операций увеличивает технологический горочный интервал на 11,5 мин., что приводит к снижению перерабатывающей способности горки на 21 % [23].

Таким образом, стала очевидна необходимость разработки научно обоснованной методики расчета величины «барьерных групп» вагонов в зависимости от длины и профилей конкретных сортировочных (сортировочно-отправочных) путей, метеоусловий, веса и длины отцепов, а также определения требуемого количества тормозных башмаков для закрепления «барьерных групп», устанавливаемых на сортировочных (сортировочно-отправочных) путях до начала расформирования состава.

В 2018 году в ОАО «РЖД» была утверждена Методика определения величины «барьерных групп» вагонов для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков и расчёта норм закрепления «барьерных групп» [2], разработанная при непосредственном участии автора настоящей диссертации. Об основных положениях данной Методики пойдет речь во втором разделе диссертации.

Среди стационарных заграждающих средств, предотвращающих несанкционированный выход подвижного состава за пределы полезной длины пути, можно выделить [33, 34]:

- балочное заграждающее устройство с дистанционным управлением (БЗУ-ДУ), основной функцией которого является торможение и удержание подвижного состава в пределах полезной длины путей;

- модернизированное балочное заграждающее устройство с дистанционным управлением (БЗУ-ДУ-СП2К). БЗУ-ДУ-СП2К отличается от БЗУ-ДУ двухрельсовым исполнением;

- точечные (домкратовидные) вагонные замедлители (ТВЗ).

ТВЗ предназначены для квазинепрерывного регулирования скорости движения отцепов. ТВЗ в отличие от балочных заграждающих устройств для создания тормозного эффекта взаимодействуют не с боковой поверхностью колеса, а с гребнем.

Каждый точечный замедлитель изначально настраивают на требуемую (граничную) скорость проследования отцепа, при превышении которой появляется тормозной эффект. Если эта скорость ниже граничной, тормозной эффект отсутствует [35].

Использование ТВЗ имеет целый ряд недостатков:

- требует установки большого количества замедлителей для создания необходимого тормозного эффекта;

- требует создания значительного количества технологических отверстий в рельсах, что приводит к увеличению концентраторов напряжений;

- требует дополнительных затрат энергии на преодоление сопротивления движению со стороны ТВЗ при маневровых передвижениях [35];

- требует организации надлежащего технического обслуживания и другие.

Кроме того, для эффективной работы точечных вагонных замедлителей требуется сплошной продольный уклон подгорочных путей не менее 1,5 ‰. Таким образом, использование ТВЗ может улучшить качество и повысить безопасность выполнения сортировочного процесса, однако для это потребуется выполнить большой объем дорогостоящих работ по перепрофилированию сортировочных горок и/или путей подгорочного парка. Для каждой конкретной

сортировочной горки решение о целесообразности использования ТВЗ должно приниматься на основе технико-экономического обоснования.

На основании анализа технического оснащения горочных станций было выявлено, что на сети ОАО «РЖД» всего 3 станции оборудованы БЗУ-ДУ: Челябинск-Главный, Елец и четный сортировочный парк станции Екатеринбург-Сортировочный и 3 станции оборудованы ТВЗ: Лужская, Елец [36] и Забайкальск (по состоянию на 2023 г.).

Классификация средств обеспечения безопасности сортировочного процесса при роспуске вагонов на свободные пути подгорочного парка представлена на рисунке 1.5.

Об особенностях применения нестационарных заграждающих средств на путях сортировочных (сортировочно-отправочных) парков пойдет речь во втором разделе диссертации.



Рисунок 1.5 – Средства обеспечения безопасности сортировочного процесса при роспуске вагонов на свободный сортировочный (сортировочно-отправочный) путь

1.3 Теоретические исследования по обеспечению эффективности и безопасности сортировочного процесса

Отечественная наука внесла большой вклад в теорию обеспечения эффективности и безопасности сортировочного процесса.

Работы [37 – 40] посвящены оптимизации процесса переработки вагонов на станциях. Основопологающим фактором при планировании сортировочной работы является выбор специализации сортировочных путей [41, 42].

Корешков А.Н. в научном труде [43] исследовал влияние загрузки вытяжек формирования на работу сортировочной горки и работу парка приема на сортировочных станциях. Была произведена оценка влияния простоев составов в ожидании расформирования на перерабатывающую способность сортировочной горки и продолжительность задержек в ее работе, когда из-за занятости сортировочных путей накопившимися составами сортировочная горка прекращает работу по роспуску очередных составов. В своем исследовании автор применил методы теории вероятности и предложил при осуществлении мероприятий по увеличению перерабатывающей способности сортировочной горки своевременно увеличивать и количество вытяжек формирования с тем, чтобы снизить загрузку каждой из них.

Быкадоров А.В. в докторской диссертации [44] произвел системное исследование оснащения, технологии работы, пропускной и перерабатывающей способностей технической станции. Было установлено, что пропускная способность комплекса расформирования существенно снижается из-за колебаний времени обработки составов в парке приема и продолжительности их расформирования на сортировочной горке. Важным резервом увеличения пропускной способности комплекса расформирования-формирования он считал обеспечение примерно одинаковой производительности технологических линий подготовки составов к роспуску и расформирования на сортировочной горке.

В монографии [45] д.т.н., профессор Сотников Е.А. рассмотрел вопросы интенсификации работы сортировочных станций, обосновал направления интенсификации, предложил меры по увеличению перерабатывающей способности сортировочных станций и эффективности их работы совершенствованием техники, технологии и методов управления.

В технологическом процессе работы сортировочной станции определяющее значение имеет нормирование горочных операций. В работе [46] к.т.н. Москалев П.И. приводит методику расчета времени подготовки сортировочного пути к роспуску вагонов с горки. Данная подготовка заключается в выполнении полурейсов подтягивания или осаживания вагонов с целью ликвидации на подгорочном пути «окон» между отцепами и освобождения концов сортировочных путей для роспуска очередных отцепов. Однако в данной методике не учитывается установка каких-либо заграждающих средств, предотвращающих выход подвижного состава за пределы полезной длины подгорочных путей в противоположную сортировочной горке сторону.

В кандидатской диссертации [47] Коваленко Н.А. разработала методику определения влияния переработки вагонопотока, запрещенного к роспуску с сортировочной горки, на показатели функционирования сортировочных станций. В частности, определяется влияние переработки данного вагонопотока на горочный технологический интервал, на показатели использования горочных локомотивов и сортировочных устройств, а также на основные расчетные нормативы плана формирования.

В 1970-е годы профессор Е.А. Сотников ввел фундаментальное понятие «техническая характеристика сортировочной станции» [45]. Так называется функция, отражающая зависимость простоя вагонов от перерабатываемого за сутки вагонопотока $N_{\text{пер}}$.

$$t_{\text{пер}} = t_{\text{техн}} + t_{\text{ож.техн}} + t_{\text{нак}} + t_{\text{доп}} = f(N_{\text{пер}}), \quad (1.2)$$

где $t_{\text{техн}}$ – средняя длительность выполнения технологических операций, ч;

$t_{\text{ож.техн}}$ – среднее время ожидания технологических операций, ч;

$t_{\text{нак}}$ – среднее время нахождения вагонов под накоплением, ч;

$t_{\text{доп}}$ – среднее время на дополнительные операции (промывка, отцепочный ремонт и другие), ч.

Также в монографии [45] сформулирована зависимость себестоимости отправленного вагона с переработкой $e_{\text{пер}}$ от величины $N_{\text{пер}}$ и эффективность перехода от одного технико-технологического состояния станции к другому.

Современные задачи развития сортировочных станций, организации их работы, управления вагонопотоками требуют исследования и оценки работы станций с помощью набора технических и экономических характеристик, сформулированного в кандидатской диссертации Щепанова С.Л. [48] на основе результатов имитационного моделирования станционных процессов, алгоритмов аналитических расчетов. Указанные результаты применены в комплексе задач «Компьютерный паспорт сортировочной станции» (КПСС) в составе Автоматизированной системы организации вагонопотоков (АСОВ) [49] и включены в действующие Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД» [50].

Созданием и научной разработкой имитационного моделирования транспортных процессов и его применения в теории и на практике занимались ученые-исследователи УрГУПС: Козлов П.А. [51], Осокин О.В. [52], Пермикин В.Ю. [53], Тушин Н.А. [54] и другие. Осокин О.В. в докторской диссертации [52] разработал технологию построения автоматизированных систем в области интеллектуального анализа, прогнозирования, планирования, управления потоками и оптимизации использования технических средств. Колокольников В.С. в работе [55] предложил принципы построения автоматизированных имитационных систем для структурно-технологического исследования железнодорожных станций, разработал технологию автоматизированного построения имитационных моделей. В докторской диссертации Тимухиной Е.Н. [56] разработана методология оценки технологических потерь от сбоев и их влияния на работоспособность станции с использованием имитационного моделирования. Также автором разработана математическая модель,

описывающая поведение груза при соударении вагонов во время роспуска с горки (для снижения вероятности сдвига груза). Александров А.Э. разработал методологию моделирования транспортных систем с использованием моделей строгой оптимизации [57]. Методология позволяет выбрать способ моделирования в зависимости от поставленной задачи и заданных свойств объекта.

Разработкой системы процессного управления безопасностью железнодорожных перевозок занимался д.т.н. С. Е. Ададунов [58, 59].

Специалистами АО «НИИАС» разработана система формирования многогруппных составов [60]. Основным элементом данной системы является сортировочно-группировочный парк с удерживающими тормозными позициями, расположенными в конце каждого пути.

Отечественными учеными и инженерами (В.А. Бычковым, В.В. Горой, К.С. Исаевым, В.А. Кобзевым [61 – 63], И.П. Старшовым, В.П. Шейкиным и др.) развиты методы обеспечения безопасности движения и разработаны устройства для закрепления железнодорожного подвижного состава (упор для закрепления, заграждающее устройство и др.).

В работе ученых МИИТа [64] рассмотрена проблема безопасности движения на железнодорожных станциях, изложены основные сведения о назначении, устройстве, особенностях эксплуатации, развитии и совершенствовании различных технических средств, обеспечивающих безопасность выполнения станционных технологических процессов.

В настоящее время система оценки рисков функциональной безопасности на железнодорожном транспорте базируется на методологии УРРАН, основоположниками которой являются Замышляев А.М., Шубинский И.Б. и др. [65 – 70].

Вопросу автоматизации сортировочных процессов, разработке средств и методов учета различных факторов и условий в управлении горочными операциями посвящен комплекс работ д.т.н. Шабельникова А.Н., к.т.н. Ольгейзера И.А. и др. [71 – 76]. Специалистами Ростовского филиала

АО «НИИАС» создана Комплексная автоматизированная система управления сортировочными процессами (КСАУ СП), которая внедрена на важнейших сортировочных станциях сети ОАО «РЖД».

Ученые-эксплуатационники СГУПС в работах [77 – 81] раскрывают несовершенство существующей методики расчета основного удельного сопротивления движению вагонов при роспуске с сортировочной горки и на необходимость актуализации ее положений. В своей докторской диссертации Бессоненко С.А. [77] разработал методику расчета параметров сортировочной горки, обеспечивающей выполнение требуемых объемов переработки вагонопотоков при безусловном выполнении надежности и безопасности движения. В научной статье [81] к.т.н. Климов А.А. указывает, что одной из причин нарушения скоростного режима скатывания отцепов и, как следствие, увеличения риска возникновения случаев нарушения безопасности движения является несоответствие продольного профиля подгорочных путей нормативам.

1.4 Автоматизация управления сортировочным процессом в горочных комплексах

В настоящее время на отечественных сортировочных станциях широкое распространение получила комплексная система автоматизации управления сортировочным процессом (КСАУ СП). Система КСАУ СП внедрена на 21 сортировочной горке (по состоянию на 2023 год) сети железных дорог России различной конфигурации и перерабатывающей способности, включая горки с возможностью осуществления параллельного роспуска, оборудованные различными типами напольного оборудования [82] и расположенные в различных климатических зонах (таблица 1.2).

При этом, анализ показателей работы автоматизированных сортировочных станций за предыдущие годы позволяет констатировать следующие факты: среднее количество перерабатываемых ежедневно вагонов увеличилось от 20 %

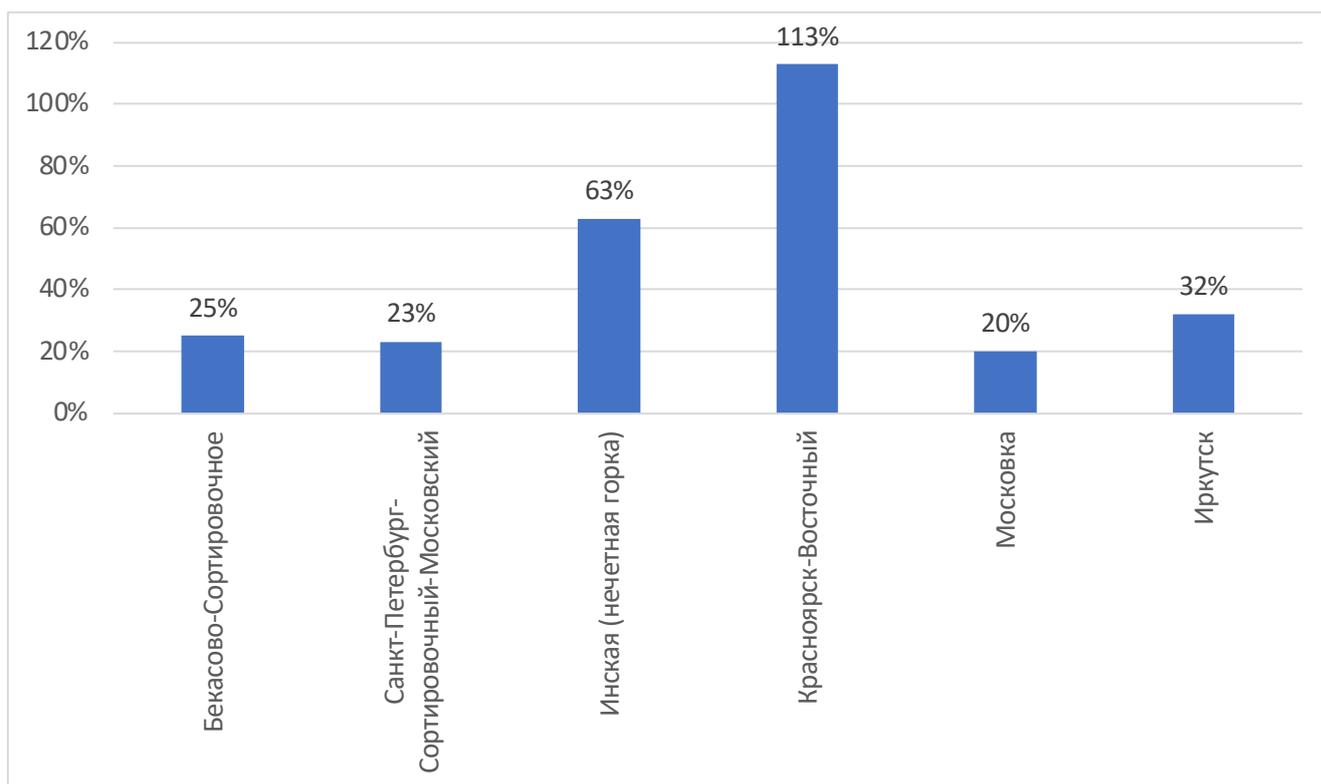
на станции Московка Западно-Сибирской железной дороги до 113 % на станции Красноярск-Восточный [83]. Кроме того, все станции с автоматизированными горками имеют еще и дополнительный резерв перерабатывающей способности (рисунок 1.6).

Таблица 1.2 – Оснащение российских сортировочных станций системой КСАУ СП (по состоянию на 2023 год)

Категория сортировочной горки	Наименование станции
Повышенной мощности	Бекасово-Сортировочное; Орехово-Зуево
Большой мощности	Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский; Лоста; Екатеринбург-Сортировочный; Челябинск-Главный (2-е системы); Кинель; Входная; Инская (2-е системы); Алтайская
Средней мощности	Елец; Московка; Красноярск-Восточный; Новокузнецк-Восточный; Тайшет; Иркутск-Сортировочный
Малой мощности	Старый Оскол; Новая Еловка; Вихоревка

Анализ представленных данных свидетельствует о достижении системой КСАУ СП значительного повышения перерабатывающей способности сортировочных горок, что позволяет обеспечить безопасную и технологичную переработку возрастающих вагонопотоков на горках различной мощности.

Одним из ключевых преимуществ работы системы является возможность автоматического роспуска под управлением КСАУ СП с одним пользователем. Такая технология успешно используется на сортировочных горках станций Красноярск-Восточный Красноярской железной дороги, Тайшет и Иркутск-четный Восточно-Сибирской железной дороги.



Примечание: Бекасово-Сортировочное, Московка, Иркутск – с 2009 г, Инская (нечетная горка) – с 2010 г., Красноярск-Восточный – с 2005 г., Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский – с 2011 г.

Рисунок 1.6 – Увеличение перерабатывающей способности сортировочных горок на сортировочных станциях после внедрения КСАУ СП

1.5 Обеспечение эффективности и безопасности сортировочного процесса в горочных комплексах за рубежом

Для определения основных отличий в работе сортировочных станций в России и за рубежом, особенно в части технологии, путевого развития, объемов переработки вагонов и времени простоя транзитных вагонов с переработкой, проведем сравнительный анализ показателей функционирования крупнейшей сортировочной станции США – Бэйли Ярд (Bailey Yard) (штат Небраска) и одной из важнейших сортировочных станций России – Инская (Западно-Сибирская железная дорога). Результаты сравнительного анализа сведены в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Сравнительный анализ показателей станций Инская и Бэйли Ярд

Наименование показателя	Ед. изм.	Бэйли Ярд	Инская	Показатели ст. Инская к ст. Бэйли Ярд	
				в ед. изм.	в %
1	2	3	4	5	6
Вагонооборот	ваг/сут	14000	23000	+ 9000	164
Число путей в сортировочном парке	Чет.	путей	65	24	- 41
	Нечет.	путей	49	36	- 13
Суммарная перерабатывающая способность	ваг/сут	3600	9000	+ 5400	250
Количество вагонов, снимаемых с одного пути сортировочного парка	ваг/сут	60	170	+ 110	283
Средний простой транзитного вагона с переработкой	час	20	9,5	- 10,5	47,5

Из приведенного выше анализа следует, что несмотря на меньшее число путей в сортировочных парках, станция Инская перерабатывает за сутки в 2,5 раза больше вагонов, вагонооборот более чем в 1,5 раза превышает аналогичный показатель станции Бэйли Ярд, а средний простой транзитного вагона с переработкой почти в 2 раза меньше.

По такому показателю, как «Количество вагонов, снимаемых с одного пути сортировочного парка», четная сортировочная горка станции Инская не имеет себе равных ни в России, ни за рубежом. При наличии всего 24 путей в сортировочном парке, четная горка по факту разбирает более 4000 вагонов в сутки, а «съем» вагонов с одного пути достигает 170 вагонов в сутки или порядка 3 готовых поездов на одном пути среднесуточно. Для сравнения, на сортировочных станциях США и Западной Европы за сутки на одном пути сортировочного парка накапливается не более 60 вагонов за счет большого числа путей (от 32 до 80) и невысокого среднесуточного вагонопотока с переработкой.

Результаты анализа теоретических и практических разработок показали, что решение вопросов, касающихся обеспечения качественного заполнения путей накопления вагонов на железнодорожных станциях, в других странах, происходит

за счет внедрения современных технических средств, в частности, новых устройств квазинепрерывного торможения вагонов.

Подобные системы используются на железных дорогах Германии, Австрии, КНР и ряда других стран. Как показывает опыт эксплуатации, использование данных систем позволяет эффективно решать вопросы обеспечения качественного заполнения сортировочных путей только при наличии ускоряющих уклонов продольного профиля путей подгорочного парка. В этих странах на протяжении последних 15-25 лет ведутся непрерывные работы по совершенствованию как конструкции самих замедлителей, так и схем их размещения. В результате в некоторых странах (в КНР и других) к настоящему времени уже разработаны и используются системы регулирования скоростей движения вагонов по сортировочным путям.

В США на сортировочных станциях широко используются современные системы автоматизации сортировочных процессов, вычислительная техника и новые высокоэффективные механизмы и устройства – радиолокационные спидометры, электродинамические замедлители, вагоноосаживатели, рельсовые цепи, приборы измерения скорости и направления ветра, установки для измерения степени заполнения путей и управления вагонными замедлителями, быстродействующие стрелочные переводы [84] и т. п.

Большое значение в работе современных сортировочных станций приобретает применение работниками мобильных устройств связи, с помощью которых осуществляется поддержка процесса обработки поезда от прибытия до отправления [86]. Внедрение новых систем мобильной связи позволяет снизить эксплуатационные расходы почти на 70 %.

Переход от локальных устройств автоматизации отдельных операций к непрерывно действующим системам управления расформированием-формированием составов поездов в последние годы отмечается на крупных сортировочных станциях железных дорог I класса Северной Америки.

Комплекс автоматических систем для сортировочной горки является главным компонентом комплексной системы автоматизации сортировочной станции и состоит из:

- автоматической системы дистанционной индикации локомотивов и управления скоростью надвига;
- автоматической системы установки маршрутов;
- автоматической системы управления скоростью скатывания отцепов;
- автоматической системы расцепления вагонов.

Из всех перечисленных выше систем автоматическая система управления скоростью скатывания отцепов имеет ключевое значение, причем не только с точки зрения эффективности выполнения маневровых операций на сортировочной горке, но и с точки зрения обеспечения безопасности свободно скатывающихся вагонов и сохранности содержащихся в них грузов.

Автоматическая система управления скоростью скатывания вагонов представляет собой разновидность системы управления циклом без обратной связи.

Результаты исследований, проведенных железными дорогами Германии совместно с компанией Siemens, показали, что экономичность процесса расформирования-формирования составов поездов в значительной степени зависит от двух компонентов:

- рационализации технологических операций на всех этапах обработки – от прибытия до отправления поезда;
- повышения уровня автоматизации всех технологических операций процесса расформирования-формирования.

Для строительства и модернизации сортировочных станций фирмой Siemens был разработан универсальный комплекс MSR 32 для горок средней, большой и повышенной мощности.

В зависимости от типа, требуемой высоты сортировочной горки, профиля спускной части, местных условий, выбранного типа стрелочных переводов и тормозных средств создается модель горки, которая тестируется на ЭВМ [87]. По

итогах моделирования выбираются типы и места расположения измерителей скоростей скатывания отцепов, измерителей скорости ветра в разных зонах горки, весомеров, измерителей длин распускаемых отцепов, количество и оптимальные зоны размещения тормозных позиций, а также датчиков контроля свободности путей.

Система MSR 32 устроена по модульному принципу, что позволяет легко адаптировать ее к любым требованиям заказчика [88]. Эта система внедрена на сортировочных горках с различным техническим оснащением и различной перерабатывающей способностью (таблица 1.4) [89].

Таблица 1.4 – Внедрение системы MSR-32 на некоторых зарубежных станциях

Наименование станции	Перерабатывающая способность	Оснащение горки	Вид управления	Элементы MSR-32	Год внедрения
1	2	3	4	5	6
Цюрих (Швейцария)	330 ваг/час	Основная горка: I-ТП – 2 зам.; II-ТП – 8 зам.; ПТП – 64 зам.; Вагоноосаживатели. Второстепенная горка: I-ТП – 2 зам.; ПТП – 13 зам.; Вагоноосаживатели.	Полностью автоматизированное.	Управление маршрутами скатывания, управление замедлителями и вагоноосаживателями, система радиопередачи горочным локомотивом, связь с центральной обрабатывающей системой.	1999
Коувола (Финляндия)	1400 ваг/сут	I-ТП – 3 зам.; 49 подгорочных путей.	Неавтоматизированное прицельное торможение, автоматический способ задания маршрутов, контроль маршрутов приема и отправления.	Управление маршрутами и контроль следования отцепов, система управления замедлителями II-ТП, увязка с МПЦ станции.	2001

Продолжение таблицы 1.4

Зельце (Германия)	Нет данных	I-ТП – 4 зам.; ПТП – 34 зам.; Вагоноосаживатели.	Точное прицельное торможение и буксировка.	Система маршрутизации процесса роспуска, управление всеми замедлителями, вагоноосаживателями, система радиоуправления горочным локомотивом, связь с центральной обрабатывающей системой.	2006
Вена (Австрия)	320 ваг/час	2 пути надвига; 48 подгорочных путей; Точечные замедлители.	Квазинепрерывное торможение в процессе роспуска с автоматизацией процесса задания маршрутов	Управление процессом роспуска, система радиоуправления горочным локомотивом, связь с центральной обрабатывающей системой.	2004
Вайдогай (Литва)	3000 ваг/сут	1 путь надвига; 20 подгорочных путей; I-ТП – 1 балочный зам.; II-ТП – 3 зам.; ПТП – 20 зам.	Полностью автоматизированное.	Система автоматизации процесса роспуска и маршрутизации, управление всеми замедлителями, прицельное торможение, связь с центральной системой планирования.	2008

На всех указанных сортировочных горках обеспечен непрерывный обмен информацией с горочными постами управления.

В настоящее время системой MSR 32 оборудована станция Лужская Октябрьской железной дороги [90].

1.6 Пути повышения эффективности и безопасности сортировочной работы в горочных комплексах. Постановка задачи исследования

Общая структура диссертационного исследования (рисунок 1.7) состоит из трёх взаимосвязанных групп задач.

К первой группе относятся задачи, направленные на обоснование технических параметров применения нестационарных заграждающих средств на сортировочных (сортировочно-отправочных) путях.



Рисунок 1.7 – Структурная схема диссертационного исследования

На основе анализа исходных требований безопасности сортировочного процесса необходимо определить факторы, определяющие основные параметры применения нестационарных загрязжающих средств, разработать методические положения по их количественной оценке.

Как показывают ранее выполненные исследования, в каком районе станции ни проводилось бы усиление технического развития или улучшение технологии, прирост мощности станции должен определяться по увеличению возможности приема поездов без задержек на подходах. Поэтому необходимо оценивать влияние применения загрязжающих средств на характеристики, регламентированные Инструктивными указаниями по организации вагонопотоков [50]:

зависимости расчетного времени нахождения на станции транзитного вагона с переработкой $t_{\text{пер}}$, ч (за вычетом простоя под накоплением, который учитывается отдельно) и стоимостных оценок, связанных с распределением сортировочной работы и приходящихся на один проследующий станцию транзитный вагон с переработкой $E_{\text{пер}}$, руб./вагон, от числа перерабатываемых составов $n_{\text{пер}}$ и расчетных составов расформировываемых и формируемых поездов m_r и $m_{\text{ф}}$, физических вагонов,

$$t_{\text{пер}} = f(n_{\text{пер}}, m_r, m_{\text{ф}}); \quad (1.3)$$

$$E_{\text{пер}} = f(n_{\text{пер}}, m_r, m_{\text{ф}}); \quad (1.4)$$

зависимости технически допустимых размеров переработки на горке N_T , вагонов/сут, от количества назначений формируемых поездов k ;

$$N_T = f(k). \quad (1.5)$$

При этом в соответствии с темой данного исследования необходимо:

1) установить взаимовлияние параметров использования загрязжающих средств и взаимодействия станционных процессов.

Необходимо оценить влияние способа установки и параметров нестационарных заграждающих средств (необходимость формирования «барьерной группы» вагонов на свободном сортировочном (сортировочно-отправочном) пути перед роспуском, количество вагонов и количество тормозных башмаков для закрепления «барьерной группы») на расчетные элементы технико-экономических характеристик горочных станций (дополнительное время занятия сортировочных путей, загрузку сортировочной горки, загрузку горочного локомотива, загрузку маневрового локомотива вытяжки формирования, среднее время простоя составов в парке приема от момента прибытия до начала расформирования и другие).

Данное влияние будет различным на разных станциях в зависимости от «узких мест» структуры и технологии, то есть расположения элементов инфраструктуры и технологических операций, вызывающих наибольшие задержки транспортных потоков.

2) предложить рациональные технологические приемы формирования «барьерных групп» вагонов совместно с диспетчерскими приемами использования скользящей специализации и уплотненного использования сортировочных путей с целью уменьшения потерь времени и затрат маневровых средств.

3) разработать гибридную технологию расчетов, которая помимо использования аналитических зависимостей и расчетных формул, подразумевает разработку имитационной модели сортировочной станции и проведение серии имитационных экспериментов.

Использование гибридной технологии расчетов позволит оценить влияние структуры, технологии, случайных процессов и приемов диспетчерского управления при использовании нестационарных заграждающих средств на эксплуатационные возможности станции по выполнению сортировочной работы.

4) провести серию имитационных экспериментов, анализ и интерпретацию модельных расчетов с целью обоснования эффективных параметров сортировочной работы.

1.7 Выводы по главе 1

1. Выполненный многофакторный анализ теоретических исследований, нормативных документов и практического опыта организации сортировочного процесса показал, что к условиям, которые вызвали на определенном историческом этапе функционирования сортировочных горочных комплексов необходимость использования заграждающих средств для предотвращения несанкционированного выхода подвижного состава за пределы полезной длины путей подгорочного парка относятся:

- ненадлежащее содержание профилей спускных частей горок и путей подгорочных парков;
- увеличение доли хороших бегунов;
- увеличение скоростей роспуска;
- увеличение длины и массы распускаемых отцепов.

2. Среди средств обеспечения безопасности сортировочного процесса при роспуске вагонов на свободный сортировочный (сортировочно-отправочный) путь можно выделить применение заграждающих средств, а также использование автоматизированных систем управления роспуском составов в совокупности с содержанием профилей сортировочных (сортировочно-отправочных) путей в нормативных отметках. Заграждающие средства в свою очередь подразделяются на стационарные (БЗУ-ДУ, БЗУ-ДУ-СП2К, точечные вагонные замедлители) и нестационарные («барьерные группы» вагонов).

По состоянию на 2023 г. стационарными заграждающими средствами оборудованы всего лишь 5 горочных станций сети ОАО «РЖД» (Елец, Забайкальск, Лужская, Челябинск-Главный, Екатеринбург-Сортировочный).

В то время как «барьерные группы» вагонов применяются на всех горочных станциях сети ОАО «РЖД» с механизированными (93 сортировочные горки) и немеханизированными (104 сортировочные горки) сортировочными горками, на станциях сети ОАО «РЖД», на которых осуществляются маневры толчками (77

станций), а также на станциях необщего пользования и прочих владельцев инфраструктур.

3. Анализ предыдущих исследований и нормативных документов показывает, что необходимо исследовать взаимозависимости параметров сортировочной работы и использования загряздающих средств, обеспечивающих безопасность процесса расформирования-формирования составов поездов.

4. Анализ зарубежного опыта по обеспечению эффективности и безопасности сортировочного процесса в горочных комплексах показал, что на зарубежных сортировочных станциях широко применяются различные системы автоматизации. Обеспечение качественного заполнения путей накопления вагонов на железных дорогах других стран происходит за счет внедрения современных технических средств, в частности, новых устройств квазинепрерывного торможения вагонов. При этом, несмотря на меньшие размеры путевого развития по сравнению с крупными зарубежными сортировочными станциями, объемы работы российских сортировочных станций значительно выше, а показатели использования горочных устройств и подвижного состава намного лучше.

Повышение эффективности функционирования поездообразующих станций на современном этапе развития и с учетом построения системы «Цифровая железная дорога» [91] возможно лишь за счет внедрения современных малообслуживаемых, экономичных и высокоэффективных технических средств и аппаратно-программных комплексов, позволяющих выполнять в автоматическом режиме основные технологические операции с соблюдением требований безопасности движения.

5. Для достижения цели диссертационного исследования необходимо решить ряд задач, которые делятся на три основных блока:

– обоснование эффективных параметров применения нестационарных загряздающих средств;

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

2 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ СОРТИРОВОЧНОЙ РАБОТЫ И ТРЕБОВАНИЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ В ГОРОЧНОМ КОМПЛЕКСЕ

2.1 Исследование факторов, определяющих величину и нормы закрепления «барьерных групп» вагонов

Анализ ранее выполненных исследований и практики сортировочной работы горочных станций позволяет систематизировать факторы, определяющие величину и нормы закрепления «барьерных групп» вагонов на свободных сортировочных (сортировочно-отправочных) путях до начала роспуска (рисунок 2.1).

Исходя из приведенной систематизации факторов, составлен алгоритм определения необходимости формирования «барьерных групп» вагонов и расчета величины и норм их закрепления (рисунок 2.2).

В разработанной математической модели решаются 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).

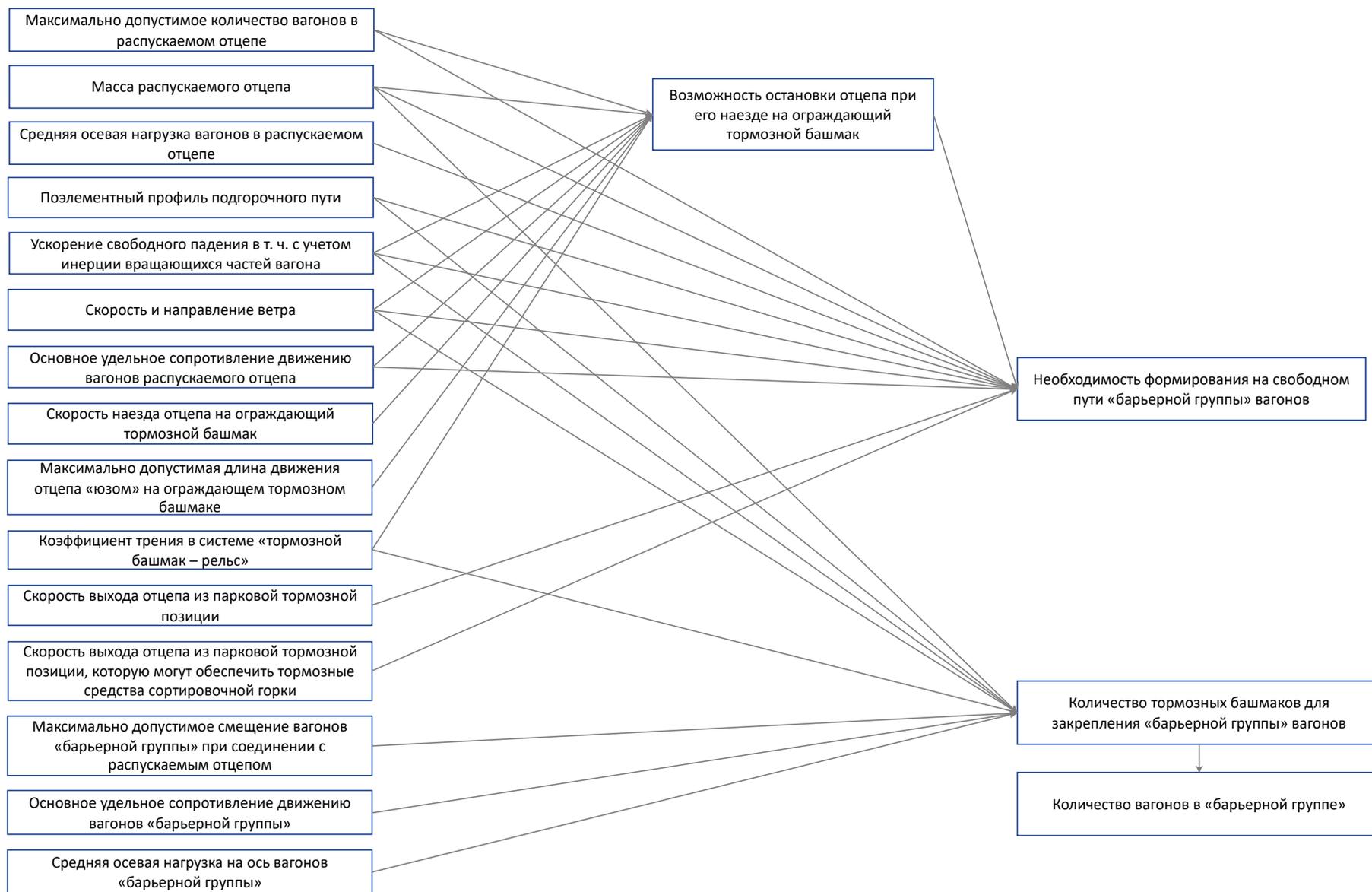


Рисунок 2.1 – Факторы, определяющие параметры применения нестационарных ограждающих средств

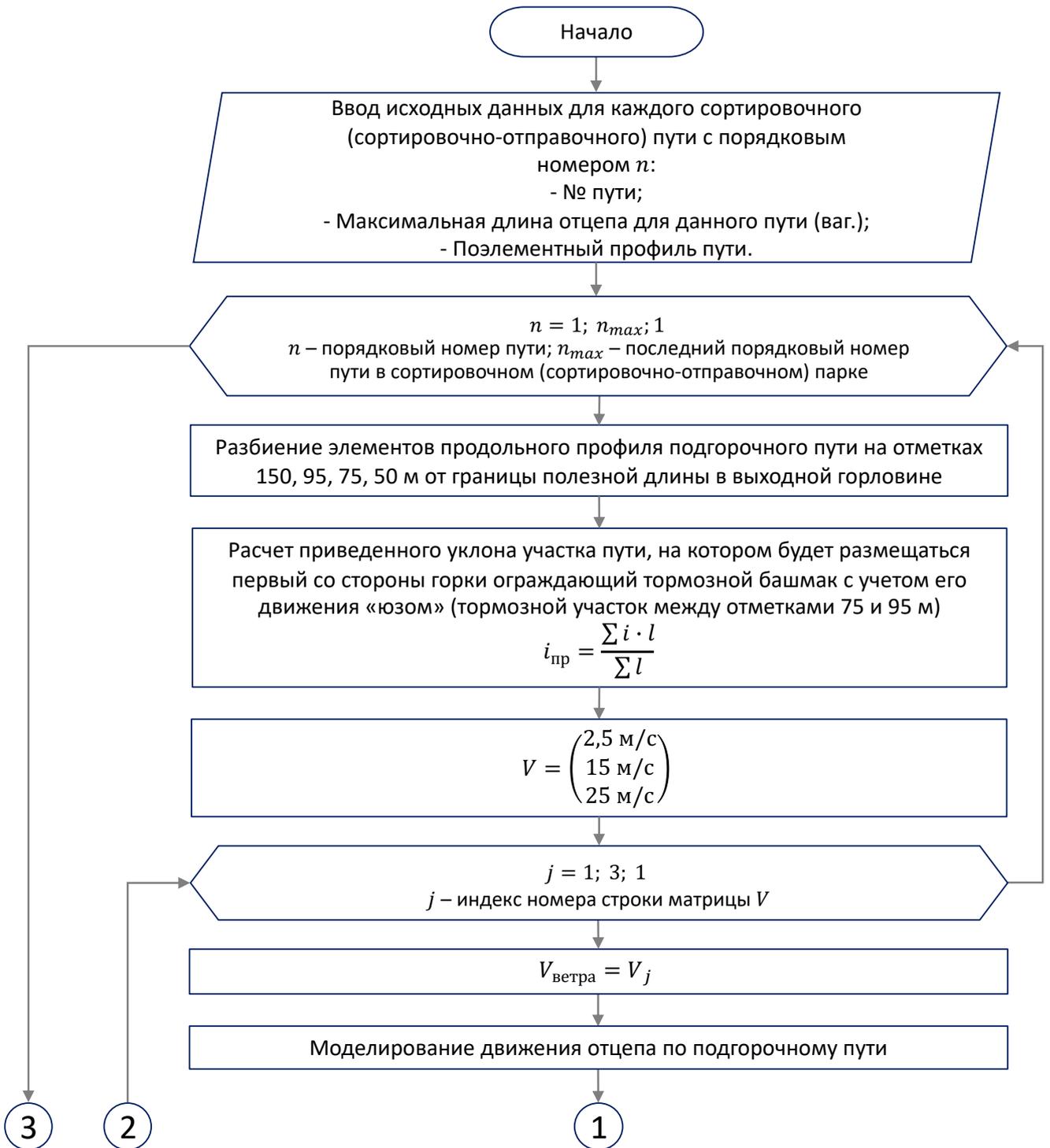


Рисунок 2.2 – Алгоритм расчета параметров «барьерных групп» вагонов
(лист 1 из 2)

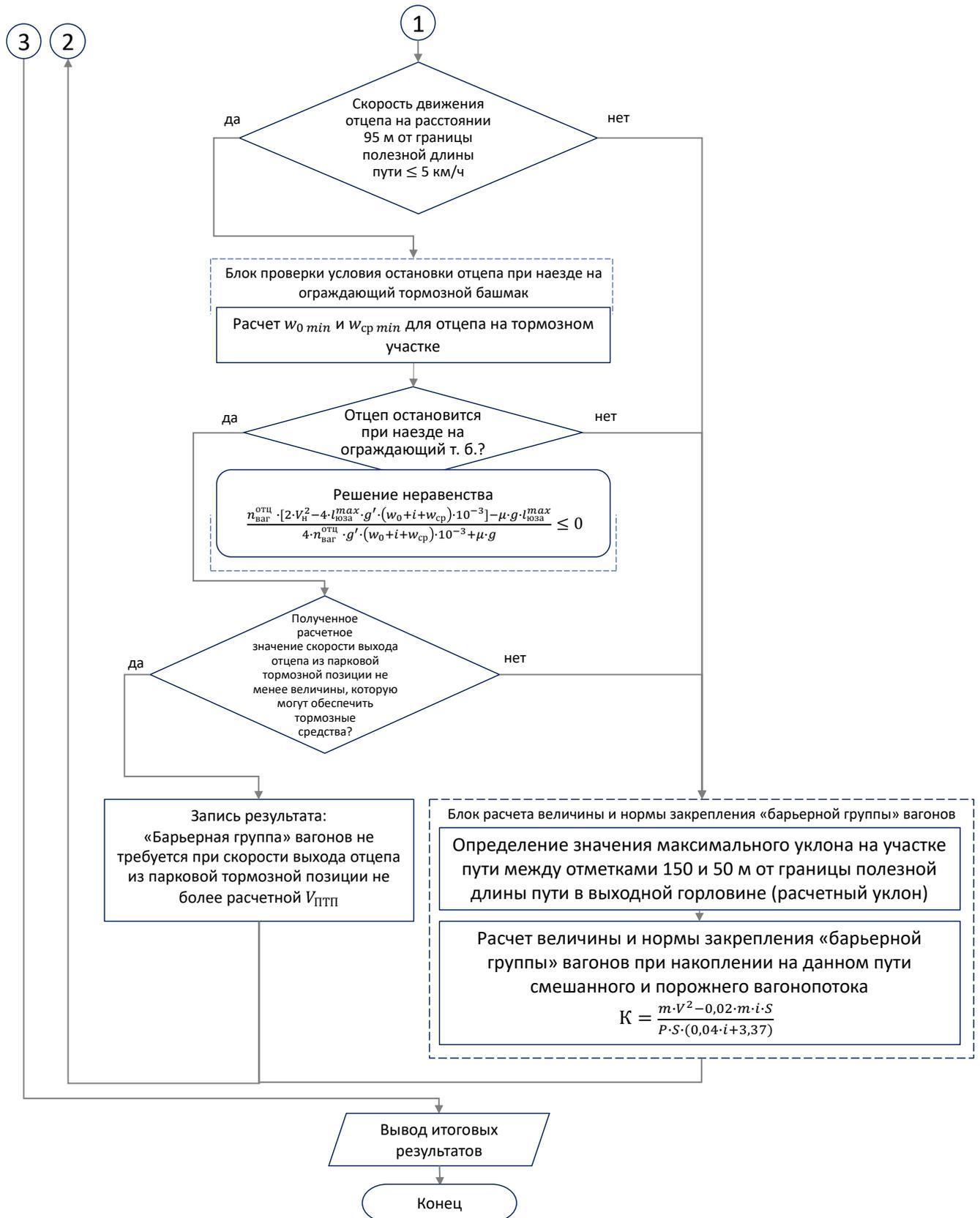


Рисунок 2.2 (лист 2 из 2)

При выполнении расчётов учитываются климатические особенности района расположения железнодорожной станции и следующие режимы её работы: обычный (при благоприятных погодных условиях) и экстремальный (при неблагоприятных погодных условиях), а также особые условия (штормовой ветер).

Расчёт выполняется в два этапа.

Первый этап – определение необходимости формирования «барьерной группы» на конкретном сортировочном пути.

Для выполнения математического моделирования используются следующие исходные данные:

- поэлементный профиль сортировочного (сортировочно-отправочного) пути;
- максимально допустимое количество вагонов в скатывающемся отцепе, определяемое согласно станционной документации (Инструкции по работе сортировочной горки) [92, 93];
- максимальная масса скатывающегося отцепа;
- средняя осевая нагрузка вагонов в скатывающемся отцепе;
- сопротивление движению вагонов в отцепе, включая основное удельное сопротивление движению, удельное сопротивление от среды и ветра, от кривых и стрелочных переводов.

Согласно принятым критериям расчёта, в использовании «барьерных групп» 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 $l_{0B2} \geq 95$ м от границы полезной длины пути в выходной горловине парка в сторону сортировочной горки будет двигаться со скоростью не более 5 км/ч;

– полученное расчётное значение скорости выхода отцепа из парковой тормозной позиции не менее величины, установленной с учётом мощности тормозных средств (указанных в паспортах устройств, применяемых на горке, и учитываемых при расчёте максимальной длины отцепа) [94];

– отцеп заданной длины при наезде на ограждающий тормозной башмак проследует на нём «юзом» не более 20 метров.

Математическое моделирование движения отцепа по подгорочному пути осуществляется с использованием аналитических зависимостей и формул горочных расчетов [24].

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

Второй этап – определение величины «барьерной группы» вагонов и нормы её закрепления тормозными башмаками на конкретном пути сортировочного (сортировочно-отправочного) парка.

В качестве исходных данных используются параметры, оказывающие наибольшее влияние на рассчитываемые величины:

- 1) специализация пути (сортировочный или сортировочно-отправочный);
- 2) полезная длина пути;
- 3) поэлементный продольный профиль пути;
- 4) максимальное количество вагонов в скатывающемся отцепе;
- 5) формирование состава из смешанного подвижного состава или порожних вагонов;
- 6) длина составов, накапливаемых на данном пути.

С учётом того, что «барьерная группа» должна удерживать отцеп максимального веса в пределах полезной длины сортировочного (сортировочно-отправочного) пути, её величина определяется из условия: отцеп при подходе к стоящим на пути и закреплённым тормозными башмаками вагонам «барьерной группы» со скоростью 5 км/ч не вызывает её смещения более чем на заданное расстояние [24, 26, 95].

Разработанный математический аппарат позволяет определить величину «барьерной группы» вагонов и норму её закрепления тормозными башмаками (с уточнением на погодные условия) с учётом 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 средней осевой нагрузки закрепляемых вагонов [16] (рисунок 2.3).

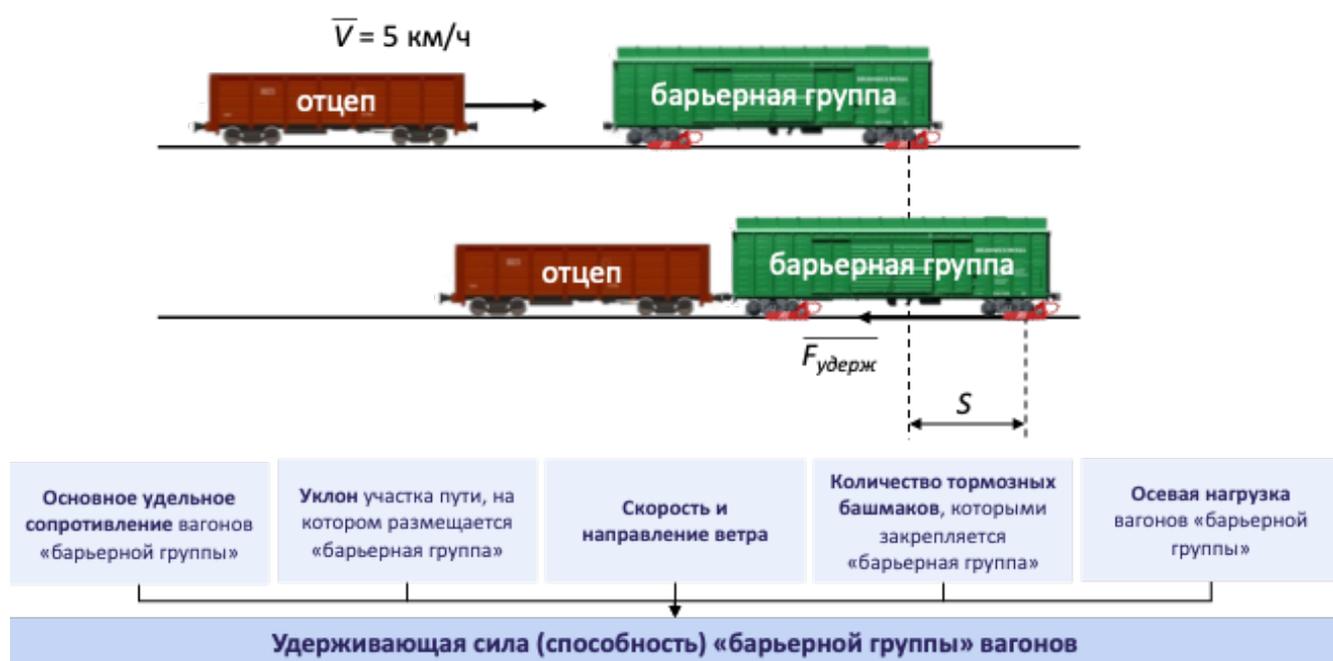


Рисунок 2.3 – Схема взаимодействия распускаемого отцепа и «барьерной группы» вагонов

Удерживающая способность «барьерной группы» вагонов зависит, прежде всего, от ее величины и нормы закрепления тормозными башмаками, а также от уклона места её расположения. Под удерживающей способностью «барьерной группы» вагонов понимается способность «барьерной группы» удерживать отцеп максимального веса в пределах полезной длины сортировочного (сортировочно-отправочного) пути таким образом, что отцеп при подходе к стоящим на пути и закрепленным тормозными башмаками вагонам «барьерной группы» со скоростью 5 км/ч не вызывает ее смещения более чем на заданное расстояние.

В основу разработанного метода расчета массы и величины «барьерной группы» положен закон сохранения энергии. Закон сохранения энергии в механике Ньютона утверждает, что полная механическая энергия замкнутой системы физических тел, между которыми действуют консервативные силы, является величиной постоянной, в ней могут происходить лишь превращения потенциальной энергии в кинетическую и наоборот. Величина кинетической энергии, которой обладает движущееся тело массой m , зависит от скорости его движения V .

Диссипация кинетической энергии скатывающегося отцепа происходит за счет работы удерживающей силы «барьерной группы»:

$$\frac{mV^2}{2} = A_{\text{удерж}} = F_{\text{удерж}} \cdot S, \quad (2.1)$$

где m – масса максимального отцепа, т;

V – скорость отцепа в момент его соединения с вагонами «барьерной группы» ($V = 5 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 1,39 \frac{\text{м}}{\text{с}}$);

$F_{\text{удерж}}$ – суммарное удерживающее усилие «барьерной группы», тс;

S – максимальное допустимое перемещение «барьерной группы», м.

Также на отцеп при подходе к вагонам «барьерной группы» действует движущая сила, которая зависит от уклона [96]:

$$F_{\text{движ}} = 0,001 \cdot m \cdot g \cdot i, \quad (2.2)$$

где m – масса максимального по длине отцепа, т;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

i – уклон пути, на котором располагается «барьерная группа», ‰.

При этом если «барьерная группа» располагается на противоуклоне, то значение уклона i берется со знаком «+», а если «барьерная группа» располагается на уклоне – то со знаком «-»;

0,001 – переводной коэффициент из кгс в тс.

Таким образом:

$$\frac{mV^2}{2} - 0,001 \cdot m \cdot g \cdot i \cdot S = F_{\text{удерж}} \cdot S \quad (2.3)$$

При закреплении «барьерной группы» тормозными башмаками, суммарное удерживающее усилие «барьерной группы» рассчитывается по формуле:

$$F_{\text{удерж}} = W + K \cdot F_{\text{ТБ}}, \quad (2.4)$$

где W – сила сопротивления движению вагонов «барьерной группы», тс;

K – количество тормозных башмаков, шт;

$F_{\text{ТБ}}$ – суммарное усилие удержания одного тормозного башмака, тс.

При закреплении вагонной тележки тормозным башмаком, укладываемым под одно из ее колес, на тележку (состав) действует удерживающая сила трения тормозного башмака со стоящим на нем колесом о рельс и второго колеса заблокированной тележки о рельс.

В общем случае сила трения F_{tr} [97] рассчитывается по формуле:

$$F_{tr} = \mu \cdot F_{pr}, \quad (2.5)$$

где μ – коэффициент трения в системе «тормозной башмак – рельс»;

F_{pr} – прижимная сила, тс.

На второе свободно стоящее на рельсе колесо заблокированной тележки действует прижимная сила F_{pr} , величина которой определяется по формуле:

$$F_{pr} = p \cdot g, \quad (2.6)$$

где p – нагрузка на колесо (масса вагона, деленная на количество колес вагона или осевая нагрузка, деленная пополам), т.

g – ускорение свободного падения 9,8 м/с².

Таким образом, суммарное усилие удержания одного тормозного башмака при установке его под колесо определяется по формуле:

$$F_{\text{ТБ}} = 2 \cdot \mu \cdot p \cdot g = \mu \cdot P \cdot g, \quad (2.7)$$

где P – нагрузка на ось вагонов «барьерной группы», т/ось.

Сила сопротивления движению вагонов «барьерной группы» W рассчитывается по формуле:

$$W = 0,001 \cdot Q(\omega_0 + i + \omega_{\text{ср}}), \quad (2.8)$$

где Q – вес «барьерной группы», $Q = M \cdot g$, тс;

ω_0 – основное удельное сопротивление движению вагонов «барьерной группы», кгс/тс;

$\omega_{\text{ср}}$ – дополнительное сопротивление среды и ветра, кгс/тс (значение является положительным при встречном ветре, значение является отрицательным – при попутном ветре);

0,001 – переводной коэффициент из кгс в тс.

i – уклон пути, на котором располагается «барьерная группа», ‰.

При этом если «барьерная группа» располагается на противоуклоне, то значение уклона i берется со знаком «+», а если «барьерная группа» располагается на уклоне – то со знаком «-».

Учитывая, что «барьерная группа» может быть расположена на двух и более элементах профиля, имеющих разные значения уклонов, для выполнения расчетов значение уклона i принимается равным величине наиболее неблагоприятного уклона на участке пути, в пределах которого будет располагаться «барьерная группа», при этом:

– если рассматриваемый участок расположен на уклоне в сторону выходной горловины парка или имеет ломаный профиль (элементы с уклоном и противоуклоном), то для расчета принимается наиболее ускоряющий уклон;

– если рассматриваемый участок расположен на противоуклоне (уклон в сторону сортировочной горки), то выбирается минимальная величина противоуклона.

Далее этот уклон будет называться расчетным уклоном.

Величина ω_0 является случайной и зависит от состояния ходовых частей вагонов, массы вагонов, нагрузки на ось, а также состояния верхнего строения пути. В соответствии с пособием [98] перерабатываемый вагонопоток делится на 5 категорий: легкая (Л), легко-средняя (ЛС), средняя (С), среднетяжелая (СТ), тяжелая (Т).

Для одного вагона основное удельное сопротивление определяется по формуле [24]:

$$\omega_{0.\text{ваг}} = -\frac{1}{b} \cdot \ln \left(\prod_{j=1}^a R_j \right), \quad (2.9)$$

где a, b – параметры гамма-распределения;

R_j – равномерно распределенные случайные числа в интервале (0; 1).

Значения случайной величины $\omega_{0.\text{ваг}}$ описываются законом гамма-распределения, параметры которого приведены в Правилах и нормах проектирования сортировочных устройств железнодорожной колеи 1520 мм [24].

Основное удельное сопротивление движению группы вагонов определяется по формуле [99]:

$$\omega_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{ваг}}} \omega_{0.\text{ваг}.i} \cdot Q_i}{Q_{\text{гр}}}, \quad (2.10)$$

где $n_{\text{ваг}}$ – число вагонов в группе;

Q_i – вес i -го вагона в группе, тс;

$Q_{\text{гр}}$ – вес группы вагонов, тс;

$\omega_{0.\text{ваг}.i}$ – основное удельное сопротивление движению i -го вагона в группе, кгс/тс.

Числовые характеристики распределения основного удельного сопротивления для вагонов разных весовых категорий приведены в таблице 2.1 [24].

Таблица 2.1 – Числовые характеристики распределения основного удельного сопротивления для вагонов разных весовых категорий

Весовая категория вагонов	Диапазон массы вагонов, т	Среднее значение ω_0 , кгс/тс	Среднеквадратичное отклонение $\sigma\omega_0$, кгс/тс	Коэффициенты гамма-распределения	
				a	b
Легкая (Л)	до 28	1,75	0,67	7,00	4,0
Легко-средняя (ЛС)	28-44	1,54	0,59	7,00	4,55
Средняя (С)	44-60	1,40	0,5	8,00	5,76
Средне-тяжелая (СТ)	60-72	1,25	0,38	11,00	8,80
Тяжелая (Т)	свыше 72	1,23	0,35	13,00	10,54

Согласно Правилам [24] воздействие на вагоны воздушной среды и ветра $\omega_{\text{ср}}$ определяется по формуле:

$$\omega_{\text{ср}} = c \cdot V_{\text{от}}^2, \quad (2.11)$$

где $V_{\text{от}}$ – относительная скорость движения отцепа, м/с;

c – приведенный коэффициент воздушного сопротивления.

Значение приведенного коэффициента c для отцепа из одного вагона определяется по формуле:

$$c = \frac{17,8 \cdot c_x \cdot S}{(273 + t) \cdot q'}, \quad (2.12)$$

а для отцепов из нескольких вагонов по формуле:

$$c = 17,8 \frac{c_x \cdot S + \sum_2^n c_{xxj} \cdot S_j}{(273 + t) \cdot \sum_i^n q_j}, \quad (2.13)$$

где c_x – коэффициент воздушного воздействия одиночных вагонов или первого вагона в отцепе;

c_{xxj} – коэффициент воздушного воздействия на вагон (кроме первого) в отцепе;

S, S_j – площадь поперечного сечения соответственно одиночного (или первого) вагона и последующих вагонов в отцепе, м²;

t – расчетная температура наружного воздуха, °С;

q – вес вагона, т;

$\sum_i^n q_j$ – вес отцепа из n вагонов, т.

Коэффициенты c_x и c_{xxj} принимаются в зависимости от рода вагона и угла α (угол между результирующим вектором относительной скорости $V_{от}$ и направлением оси пути, на котором размещается состав) в соответствии с Правилами [24].

Относительная скорость $V_{от}$ и угол α определяются, как:

$$V_{от}^2 = V^2 + V_B^2 + 2V \cdot V_B \cdot \cos\beta, \quad (2.14)$$

$$\alpha = \arcsin \frac{V_B \cdot \sin\beta}{V_{от}}, \quad (2.15)$$

где V – средняя скорость движения вагонов на участке, м/с;

V_B – скорость ветра, м/с;

β – угол между направлением ветра и осью пути, на котором размещается состав.

Знак $\omega_{ср}$ в формуле (2.11) принимается со знаком «+» при встречном ветре ($\beta > 90^\circ$) и со знаком «-» при попутном ($\beta < 90^\circ$).

Удельным сопротивлением движению вагонов «барьерной группы» от стрелочных переводов, кривых, снега и инея в рамках вывода общей формулы удерживающей способности «барьерной группы» вагонов можно пренебречь, так как наличие данных параметров зависит от местных условий и вызывает дополнительное увеличение удерживающей способности.

Таким образом, суммарное удерживающее усилие «барьерной группы» рассчитывается по формуле:

$$F_{удерж} = 0,001 \cdot Mg(\omega_0 + i + \omega_{ср}) + \mu \cdot P \cdot g \cdot K \quad (2.16)$$

Подставляя полученное выражение в формулу (2.3), получается:

$$\begin{aligned} & \frac{mV^2}{2} - 0,001 \cdot m \cdot g \cdot i \cdot S = \\ & = (0,001 \cdot M \cdot g \cdot (\omega_0 + i + \omega_{cp}) + \mu \cdot P \cdot g \cdot K) \cdot S \end{aligned} \quad (2.17)$$

Масса «барьерной группы» определяется следующим образом:

$$M = n_{\text{ваг}} \cdot m_{\text{БГ}}^{\text{Б}}, \quad (2.18)$$

где $n_{\text{ваг}}$ – количество вагонов в «барьерной группе»;

$m_{\text{БГ}}^{\text{Б}}$ – масса одного вагона «барьерной группы».

Исходя из условия, что максимальное количество тормозных башмаков, укладываемое под четырехосный вагон равно двум, рассчитывается минимальное потребное количество вагонов в «барьерной группе»:

$$n_{\text{ваг}} = K/2 \quad (2.19)$$

Масса одного вагона «барьерной группы» определяется следующим образом:

$$m_{\text{БГ}}^{\text{Б}} = 4 \cdot P, \quad (2.20)$$

где 4 – количество осей условного вагона;

P – нагрузка на ось вагонов «барьерной группы», т/ось.

Подставив полученные значения в формулу (2.17), выражается формула расчета минимального количества тормозных башмаков для закрепления «барьерной группы» вагонов с целью обеспечения ее удерживающей способности:

$$\begin{aligned} & \frac{mV^2}{2} - 0,001 \cdot m \cdot g \cdot i \cdot S = \\ & = (0,001 \cdot 2 \cdot K \cdot P \cdot g \cdot (\omega_0 + i + \omega_{cp}) + \mu \cdot P \cdot g \cdot K) \cdot S \end{aligned} \quad (2.21)$$

$$K = \frac{m \cdot V^2 - 0,002 \cdot m \cdot g \cdot i \cdot S}{2 \cdot g \cdot P \cdot S \cdot (0,002 \cdot (\omega_0 + i + \omega_{cp}) + \mu)}, \quad (2.22)$$

где 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», ‰;

При этом если «барьерная группа» располагается на противоуклоне, 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} – дополнительное сопротивление 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.

Расчет массы отцепа m производится следующим образом:

– при накоплении на заданном сортировочном (сортировочно-отправочном) пути груженого или смешанного (груженого и порожнего) вагонопотока – $m = 4 \cdot P_{\text{груж}}^{\text{отц}} \cdot n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$,

где $P_{\text{груж}}^{\text{отц}}$ – средняя осевая нагрузка груженых вагонов, т/ось ($P_{\text{груж}}^{\text{отц}} = 15$ т/ось);

$n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$ – максимальное количество вагонов в отцепе, длина которого рассчитана в соответствии с Инструкцией [93] и указана в Инструкции по работе сортировочной горки;

– при накоплении на заданном сортировочном (сортировочно-отправочном) пути только порожних вагонов – $m = 4 \cdot P_{\text{пор}}^{\text{отц}} \cdot n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$,

где $P_{\text{пор}}^{\text{отц}}$ – средняя осевая нагрузка порожних вагонов, т/ось ($P_{\text{пор}}^{\text{отц}} = 6$ т/ось);

Для выполнения расчетов по формуле (2.22) значение P принимается, исходя из следующих условий:

– при закреплении смешанной (разнородной по весу) «барьерной группы», состоящей из груженых и порожних вагонов или груженых вагонов различного веса, при условии, что тормозные башмаки укладываются под вагоны с нагрузкой на ось не менее 15 т (брутто), значение P принимается равным 15 т/ось;

– при закреплении «барьерной группы», состоящей только из порожних вагонов, значение P принимается равным 6 т/ось.

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

Таким образом, получена формула расчета потребного числа тормозных башмаков для закреплении «барьерной группы» вагонов в общем виде (формула 2.22). Далее необходимо упростить данную формулу с целью возможности ее применения для практических расчетов.

Для дальнейшего упрощения расчетов принимается, что вагоны «барьерной группы» весят одинаково.

Согласно [24] самое неблагоприятное ускоряющее воздействие попутный ветер оказывает на вагоны-хопперы. Поэтому для обеспечения безопасности сортировочной работы горочных станций следует принять следующие значения коэффициентов воздушного сопротивления и площади поперечного сечения вагона:

- $S = 9,9 \text{ м}^2$;
- $c_x = c_{xxj} = 0,92$.

Согласно монографии [100] максимальное воздействие ветровой нагрузки на вагон возникает при направлении действия ветра под углом $\beta = 30^\circ$ к боковой поверхности вагона.

Для практических расчетов используется попутный ветер под углом $\beta = 30^\circ$ к боковой поверхности вагонов «барьерной группы» (как самый неблагоприятный фактор).

Принимается, что $t = 0$. Подставив значения S , c_x , c_{xxj} , значение веса вагона «барьерной группы» (формула 2.20) в формулу 2.13 получается значение $c \approx \frac{0,15}{P}$.

Так как «барьерная группа» находится в состоянии покоя, то значение $V = 0$ (формула 2.14), а $V_{от}^2 = V_B^2$. Таким образом, сопротивление среды и ветра определяется:

$$\omega_{cp} = - \frac{0,15 \cdot V_B^2}{P}.$$

Коэффициент трения принимается в соответствии с работой [101] $\mu = 0,17$.

Для выполнения расчетов по формуле (2.22) значение V_B принимается, исходя из следующих условий:

- при благоприятных погодных условиях $V_B = 2,5 \text{ м/с}$;
- при неблагоприятных погодных условиях $V_B = 15 \text{ м/с}$;
- при штормовом ветре $V_B = 25 \text{ м/с}$.

Значение ω_0 принимается минимально возможным (как самый неблагоприятный фактор) в соответствии с таблицей 2.1 и равным $0,88 \text{ кгс/тс}$.

Подставив все вышеперечисленные значения, а также значение $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, преобразована формула 2.22.

Полученные формулы расчета потребного количества тормозных башмаков для закрепления «барьерной группы» вагонов при различных погодных условиях и при различном накапливаемом вагонопотоке сведены в таблицу 2.2.

Рассмотрено влияние удельного сопротивления среды и ветра на расчет величины «барьерной группы» и нормы ее закрепления. Как видно по данным таблицы 2.2, удельное сопротивление от среды и ветра незначительно влияет на требуемое число тормозных башмаков для закрепления вагонов «барьерной группы». В подтверждение этому приведен конкретный пример расчета количества тормозных башмаков для удержания отцепа длиной 22 вагона, при расположении «барьерной группы» на горизонтальном участке пути и максимальном допустимом смещении «барьерной группы» – 10 метров (таблица 2.3).

Как видно по данным таблицы 2.3 – удельное сопротивление среды и ветра оказывает влияние на требуемое количество тормозных башмаков только при средней осевой нагрузке вагонов «барьерной группы» 6 т/ось. В этом случае количество тормозных башмаков увеличивается на 1. Но данное увеличение нормы закрепления учитывается в ИДП (Приложение № 12 Приложения № 2 к ПТЭ [25]). Следовательно, удельным сопротивлением среды и ветра в формуле 2.22 можно пренебречь, и учитывать увеличение числа тормозных башмаков при усилении ветра в соответствии с требованиями ПТЭ [25].

После преобразований формула расчета требуемого количества тормозных башмаков для закрепления «барьерной группы» вагонов будет иметь вид:

$$K = \frac{m \cdot V^2 - 0,02 \cdot m \cdot i \cdot S}{P \cdot S \cdot (0,04 \cdot i + 3,37)} \quad (2.23)$$

После определения требуемого количества тормозных башмаков необходимо рассчитать минимальное необходимое количество вагонов «барьерной группы» по формуле:

$$n_{\text{ваг}} = \frac{K}{2}, \text{ усл. ваг.} \quad (2.24)$$

При получении по формуле (2.24) дробной величины, она должна быть округлена в большую сторону до целого значения.

Таблица 2.2 – Формулы расчета необходимого количества тормозных башмаков для закрепления «барьерной группы» вагонов при различных влияющих факторах

Погодные условия Накапливаемый вагонопоток	Погодные условия		
	Благоприятные погодные условия	Неблагоприятные погодные условия	Штормовой ветер
Смешанный вагонопоток	$K = \frac{n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \cdot (115,926 - 1,1772 \cdot i \cdot S)}{S \cdot (50,5 + 0,5886 \cdot i)}$	$K = \frac{n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \cdot (115,926 - 1,1772 \cdot i \cdot S)}{S \cdot (49,22 + 0,5886 \cdot i)}$	$K = \frac{n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \cdot (115,926 - 1,1772 \cdot i \cdot S)}{S \cdot (46,87 + 0,5886 \cdot i)}$
Порожний вагонопоток	$K = \frac{n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \cdot (46,3704 - 0,47 \cdot i \cdot S)}{S \cdot (20,18 + 0,24 \cdot i)}$	$K = \frac{n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \cdot (46,3704 - 0,47 \cdot i \cdot S)}{S \cdot (18,9 + 0,24 \cdot i)}$	$K = \frac{n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \cdot (46,3704 - 0,47 \cdot i \cdot S)}{S \cdot (16,54 + 0,24 \cdot i)}$

Таблица 2.3 – Расчет количества тормозных башмаков для удержания отцепа длиной 22 вагона

Накапливаемый вагонопоток	Количество тормозных башмаков		
	При благоприятных погодных условиях	При неблагоприятных погодных условиях	При штормовом ветре
Смешанный вагонопоток	6	6	6
Порожний вагонопоток	6	6	7

При накоплении на рассматриваемом пути смешанного (груженого и порожнего) вагонопотока тормозными башмаками будут закрепляться груженые вагоны «барьерной группы» и по формуле (2.24) будет определяться минимальное количество груженых вагонов в «барьерной группе». При накоплении на рассматриваемом пути только порожних вагонов – по формуле (2.24) определяется минимальное количество вагонов в «барьерной группе».

Масса «барьерной группы» определяется по формуле (2.25):

$$M = P \cdot n_{\text{ваг}} \cdot n_{\text{осей}}^{\text{ваг БГ}}, \quad (2.25)$$

где $n_{\text{осей}}^{\text{ваг БГ}}$ – количество осей в вагоне «барьерной группы».

При сильном (более 15 м/с) и штормовом ветре (25 м/с) норма закрепления увеличивается в соответствии с требованиями ПТЭ [25].

После увеличения количества тормозных башмаков для закрепления «барьерной группы» вагонов проверяется достаточность числа осей для укладки тормозных башмаков. При необходимости потребное количество вагонных осей, корректируется в сторону их увеличения.

Примеры результатов расчета параметров «барьерных групп» вагонов приведены в Приложении А.

2.2 Определение возможности остановки отцепа при наезде на ограждающий тормозной башмак

Изменение кинетической энергии отцепа при его наезде на ограждающий тормозной башмак равняется сумме работ сил сопротивления и удерживающей силы ограждающего тормозного башмака, взятой со знаком «минус»:

$$\frac{m \cdot V_{\text{к}}^2}{2} - \frac{m \cdot V_{\text{н}}^2}{2} = -[F_{\text{Тб}} + m \cdot g' \cdot (w_0 + i + w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3}] \cdot l_{\text{юза}}, \quad (2.26)$$

где m – масса скатывающегося отцепа, т;

V_H – скорость наезда отцепа на ограждающий тормозной башмак, м/с;

V_K – конечная скорость отцепа, 0 м/с;

$l_{\text{юзa}}$ – длина участка пути, который отцеп проследует «юзом» на ограждающем тормозном башмаке, м;

g' – ускорение силы тяжести (свободного падения), с учётом инерции вращающихся частей вагона, м/с²;

w_0 – основное удельное сопротивление движению отцепа, кгс/тс;

w_{cp} – удельное сопротивление от среды и ветра, кгс/тс (значение берется со знаком «+» при встречном ветре, со знаком «-» – при попутном ветре);

$F_{\text{тб}}$ – удерживающая способность одного ограждающего тормозного башмака, Н;

i – приведенный уклон участка пути между отметками 75 и 95 метров от границы полезной длины пути (участок пути, на котором размещается первый со стороны сортировочной горки ограждающий тормозной башмак, с учетом движения на нем отцепа «юзом» не более 20 метров), ‰. При этом если данный участок располагается на противоклоне, то значение уклона i берется со знаком «+», а если на уклоне – то со знаком «-».

Суммарное усилие удержания одного тормозного башмака рассчитывается по формуле (2.7).

Учитывая, что $V_K = 0$ м/с, преобразуется формула (2.26):

$$\frac{m \cdot V_H^2}{2} = [\mu \cdot P \cdot g + m \cdot g' \cdot (w_0 + i + w_{\text{cp}}) \cdot 10^{-3}] \cdot l_{\text{юзa}} \quad (2.27)$$

Осевая нагрузка P определяется по формуле (2.28):

$$P = \frac{m}{n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \cdot 4}, \quad (2.28)$$

где m – масса скатывающегося отцепа, т;

$n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$ – количество вагонов в скатывающемся отцепе;

4 – количество осей в одном условном вагоне.

Подставив (2.28) в (2.27), выражается $l_{\text{юза}}$:

$$l_{\text{юза}} = \frac{V_{\text{H}}^2}{\frac{\mu \cdot g}{2 \cdot n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}} + 2 \cdot g' \cdot (w_0 + i + w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3}} \quad (2.29)$$

Зная, что значение $l_{\text{юза}}$ не должно превышать заданного максимально допустимого значения $l_{\text{юза}}^{\text{max}}$ (в нашем случае равное 20 м), получается следующее неравенство:

$$\frac{V_{\text{H}}^2}{\frac{\mu \cdot g}{2 \cdot n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}} + 2 \cdot g' \cdot (w_0 + i + w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3}} \leq l_{\text{юза}}^{\text{max}} \quad (2.30)$$

Далее необходимо привести данное неравенство к рациональному неравенству вида:

$$\frac{f(x)}{g(x)} \leq 0, \quad (2.31)$$

где в качестве аргумента x выступит количество вагонов в отцепе $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$.

После преобразования неравенства (2.30) получается:

$$\frac{V_{\text{H}}^2}{\frac{\mu \cdot g + 4 \cdot K \cdot g' \cdot (w_0 + i + w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}}} - l_{\text{юза}}^{\text{max}} \leq 0 \quad (2.32)$$

$$\frac{2 \cdot n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \cdot V_{\text{H}}^2 - 4 \cdot n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \cdot l_{\text{юза}}^{\text{max}} \cdot g' \cdot (w_0 + i + w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3} - \mu \cdot g \cdot l_{\text{юза}}^{\text{max}}}{\mu \cdot g + 4 \cdot n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \cdot g' \cdot (w_0 + i + w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3}} \leq 0 \quad (2.33)$$

$$\frac{n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \cdot [2 \cdot V_{\text{H}}^2 - 4 \cdot l_{\text{юза}}^{\text{max}} \cdot g' \cdot (w_0 + i + w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3}] - \mu \cdot g \cdot l_{\text{юза}}^{\text{max}}}{4 \cdot n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \cdot g' \cdot (w_0 + i + w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3} + \mu \cdot g} \leq 0 \quad (2.34)$$

Получено неравенство вида $\frac{f(n_{\text{ваг}}^{\text{отц}})}{g(n_{\text{ваг}}^{\text{отц}})} \leq 0$. Далее необходимо определить нули функции и область определения функции.

Нули функции: $f(n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}) = 0$. Область определения: $g(n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}) \neq 0$.

Таким образом получено:

$$n_{\text{ваг}1}^{\text{отц}} = \frac{\mu \cdot g \cdot l_{\text{юза}}^{\text{max}}}{2 \cdot V_{\text{H}}^2 - 4 \cdot l_{\text{юза}}^{\text{max}} \cdot g' \cdot (w_0 + i + w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3}} \quad (2.35)$$

$$n_{\text{ваг}2}^{\text{отц}} \neq \frac{-\mu \cdot g}{4 \cdot g' \cdot (w_0 + i + w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3}} \quad (2.36)$$

Определены точки смены знака $n_{\text{ваг}1}^{\text{отц}}$ и $n_{\text{ваг}2}^{\text{отц}}$. Далее рассматриваются возможные варианты решения неравенства (2.34) методом интервалов:

1) Если $n_{\text{ваг}1}^{\text{отц}} < n_{\text{ваг}2}^{\text{отц}}$:

Берется значение $n_{\text{ваг}3}^{\text{отц}} < n_{\text{ваг}1}^{\text{отц}}$ и подставляется в неравенство (2.34). Если неравенство (2.34) выполняется, то есть левая часть неравенства меньше или равна нулю, то решение неравенства будет следующее:

$$n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \in (-\infty; n_{\text{ваг}1}^{\text{отц}}] \cup (n_{\text{ваг}2}^{\text{отц}}; +\infty) \text{ (рисунок 2.4).}$$

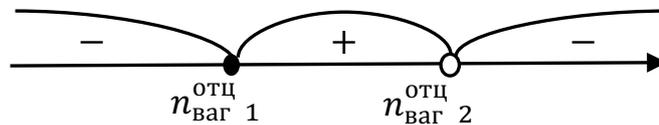


Рисунок 2.4 – Первый вариант решения неравенства (2.34) при $n_{\text{ваг}1}^{\text{отц}} < n_{\text{ваг}2}^{\text{отц}}$

Если же при подстановке значения $n_{\text{ваг}3}^{\text{отц}} < n_{\text{ваг}1}^{\text{отц}}$ в неравенство (2.34), данное неравенство не выполняется, то есть левая часть неравенства больше нуля, то решением неравенства будет: $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \in [n_{\text{ваг}1}^{\text{отц}}; n_{\text{ваг}2}^{\text{отц}})$ (рисунок 2.5).

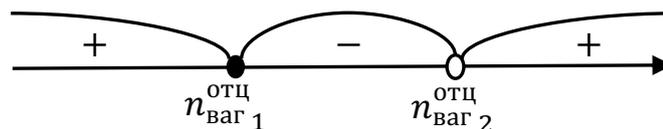


Рисунок 2.5 – Второй вариант решения неравенства (2.34) при $n_{\text{ваг}1}^{\text{отц}} < n_{\text{ваг}2}^{\text{отц}}$

2) Если $n_{\text{ваг}1}^{\text{отц}} > n_{\text{ваг}2}^{\text{отц}}$:

Берется значение $n_{\text{ваг 3}}^{\text{отц}} < n_{\text{ваг 2}}^{\text{отц}}$ и подставляется в неравенство (2.34). Если неравенство (2.34) выполняется, то есть левая часть неравенства меньше или равна нулю, то решение неравенства будет следующее:

$$n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \in (-\infty; n_{\text{ваг 2}}^{\text{отц}}) \cup [n_{\text{ваг 1}}^{\text{отц}}; +\infty) \text{ (рисунок 2.6).}$$

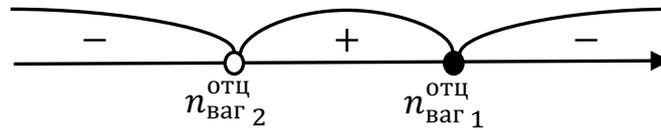


Рисунок 2.6 – Первый вариант решения неравенства (2.34) при $n_{\text{ваг 1}}^{\text{отц}} > n_{\text{ваг 2}}^{\text{отц}}$

Если же при подстановке значения $n_{\text{ваг 3}}^{\text{отц}} < n_{\text{ваг 2}}^{\text{отц}}$ в неравенство (2.34), данное неравенство не выполняется, то есть левая часть неравенства больше нуля, то решением неравенства будет: $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \in (n_{\text{ваг 2}}^{\text{отц}}; n_{\text{ваг 1}}^{\text{отц}}]$ (рисунок 2.7).

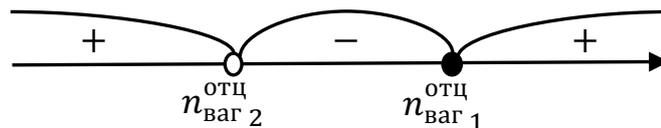


Рисунок 2.7 – Второй вариант решения неравенства (2.34) при $n_{\text{ваг 1}}^{\text{отц}} > n_{\text{ваг 2}}^{\text{отц}}$

3) Если $n_{\text{ваг 1}}^{\text{отц}} = n_{\text{ваг 2}}^{\text{отц}}$:

Берется значение $n_{\text{ваг 3}}^{\text{отц}} < n_{\text{ваг 1}}^{\text{отц}}$ и подставляется в неравенство (2.34). Если неравенство (2.34) выполняется, то есть левая часть неравенства меньше или равна нулю, то решение неравенства будет следующее:

$$n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \in (-\infty; n_{\text{ваг 1}}^{\text{отц}}) \text{ (рисунок 2.8).}$$

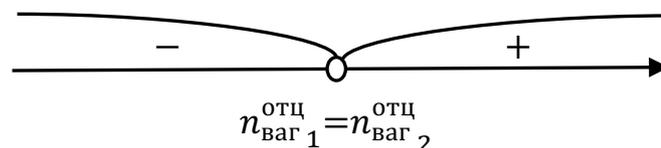


Рисунок 2.8 – Первый вариант решения неравенства (2.34) при $n_{\text{ваг 1}}^{\text{отц}} = n_{\text{ваг 2}}^{\text{отц}}$

Если же при подстановке значения $n_{\text{ваг 3}}^{\text{отц}} < n_{\text{ваг 1}}^{\text{отц}}$ в неравенство (2.34), данное неравенство не выполняется, то есть левая часть неравенства больше нуля, то решением неравенства будет: $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \in (n_{\text{ваг 1}}^{\text{отц}}; +\infty)$ (рисунок 2.9).

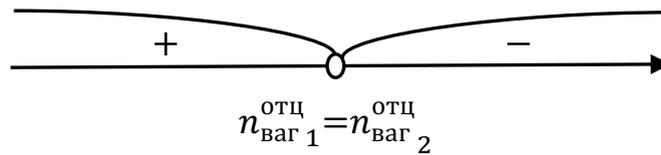


Рисунок 2.9 – Второй вариант решения неравенства (2.34) при $n_{\text{ваг } 1}^{\text{отц}} = n_{\text{ваг } 2}^{\text{отц}}$

Таким образом, решив неравенство (2.34) с учетом ограничений на значение количества вагонов в отцепе $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$ (система 2.37), определяется область значений, в котором должно находиться значение количества вагонов в отцепе $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$, для обеспечения длины движения «юзом» отцепа на ограждающем тормозном башмаке $l_{\text{юза}}$, не превышающем максимально допустимого значения $l_{\text{юза}}^{\text{max}}$ (в нашем случае равного 20 м).

$$\begin{cases} n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \in Z \\ n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \geq 1, \\ n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \leq m_p \end{cases} \quad (2.37)$$

где Z – множество целых чисел;

m_p – длина расформировываемого состава, вагонов.

2.3 Исследование взаимозависимостей параметров сортировочной работы и использования заграждающих средств, обеспечивающих безопасность процесса расформирования составов

2.3.1 Вывод аналитических зависимостей и расчетных формул

Для оценки целесообразности использования «барьерных групп» вагонов в качестве заграждающих средств, определения эксплуатационных издержек, связанных с формированием «барьерных групп», а также оценки влияния этих издержек на общие показатели работы станции разработана методика расчета затрат времени на формирование «барьерных групп» вагонов [5]. Все расчетные

формулы получены с использованием требований и рекомендаций действующих нормативных документов ОАО «РЖД» [50, 102].

В соответствии с технологическими особенностями работы железнодорожных станций по установке и закреплению «барьерных групп» вагонов на сортировочных путях, изложенных в работе [15], возможны следующие способы формирования «барьерных групп» и их установка на сортировочных (сортировочно-отправочных) путях, которые приведены далее.

2.3.1.1 Формирование «барьерной группы» вагонов на сортировочном пути в процессе накопления состава из последних отцепов (вагонов), следующих на этот путь

При наличии на сортировочном пути установленным порядком сформированной и закреплённой «барьерной группы» вагонов, сначала осуществляется накопление формируемого состава, после чего на этом же пути со стороны сортировочной горки накапливаются вагоны, из которых будет сформирована «барьерная группа» для следующего состава. После этого выполняется окончание формирования и перестановка сформированного состава в парк отправления. В процессе перестановки состава выполняется его остановка в требуемом месте установки «барьерной группы», ее отцепка и закрепление.

Суммарное время занятия сортировочной горки расформированием составов не увеличивается (рисунок 2.10).

Реализация этого технологического варианта возможна при выполнении следующего условия:

$$l_{\text{пути}} \geq l_{\text{поезда}} + l_{\text{БГ}} + l_{\text{доп}}, \quad (2.38)$$

где $l_{\text{пути}}$ – полезная длина сортировочного (сортировочно-отправочного пути) пути, усл. ваг.;

$l_{\text{поезда}}$ – установленная длина состава, формируемого на данном пути, усл. ваг.;

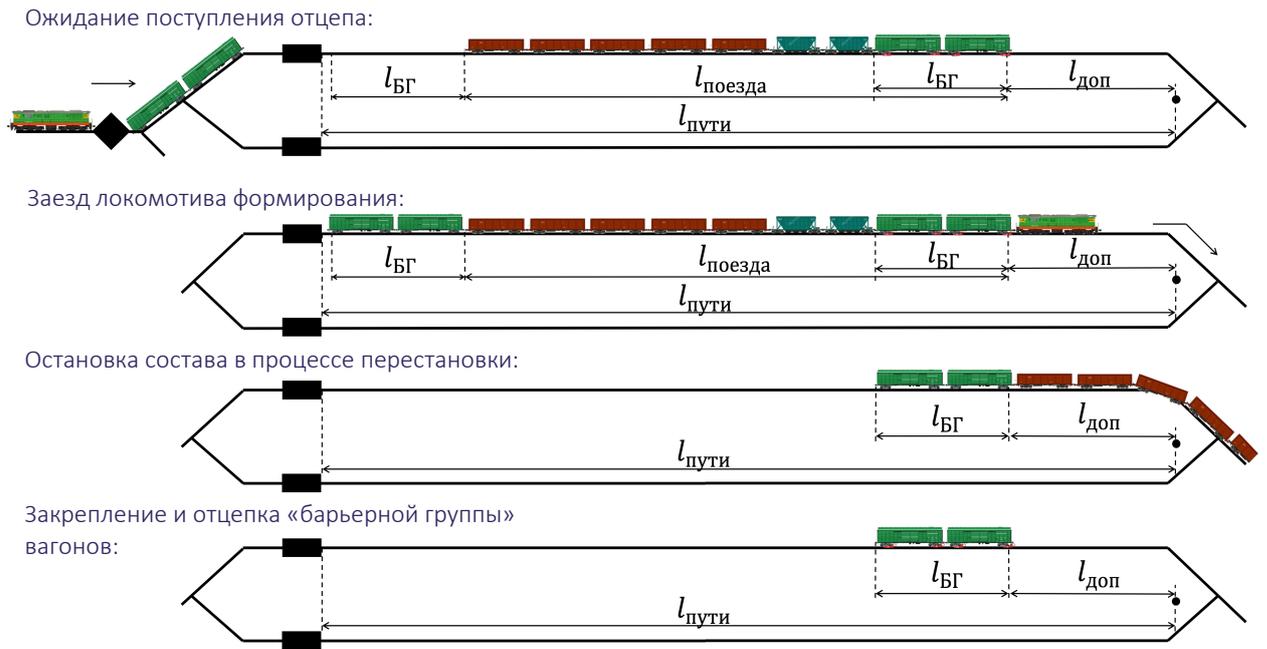


Рисунок 2.10 – Формирование «барьерной группы» на сортировочном пути в процессе накопления состава из последних отцепов (вагонов), следующих на этот путь

$l_{БГ}$ – длина «барьерной группы» вагонов, усл. ваг.;

$l_{доп}$ – дополнительное расстояние от первого вагона «барьерной группы» до границы полезной длины пути, усл. ваг.

Для обеспечения безопасности и предотвращения выхода вагонов за пределы полезной длины путей $l_{доп} \geq 3,57$ усл. ваг. ≈ 50 м.

Дополнительные затраты времени на маневровую работу по формированию «барьерной группы» будут определяться по следующей формуле:

$$t_{(1)}^{БГ} = \left[\frac{n_{БГ}}{n_{отц}^{ср}} \right] \cdot I_{назн} + t_{з}^{БГ} + t_{отцепка}, \text{ мин}, \quad (2.39)$$

где $\left[\frac{n_{БГ}}{n_{отц}^{ср}} \right]$ – количество дополнительных роспусков отцепов с сортировочной горки, которое требуется совершить, чтобы сформировать «барьерную группу», определяется округлением частного от деления потребного количества вагонов в «барьерной группе» $n_{БГ}$ на среднюю длину отцепа, распускаемого на заданный путь, $n_{отц}^{ср}$ до целого числа в большую сторону;

$I_{\text{назн}}$ – средний интервал поступления в подсистему расформирования-формирования отцепов (вагонов) на назначение, мин;

$t_3^{\text{БГ}}$ – время на закрепление вагонов «барьерной группы», мин;

$t_{\text{отцепка}}$ – время на отцепку «барьерной группы» от переставляемого в парк отправления состава, мин.

В соответствии с Инструктивными указаниями [50] средняя длина отцепа определяется по формуле (2.40):

$$n_{\text{отц}}^{\text{ср}} = \frac{m_{\text{пр}} \cdot \sqrt{N_i}}{(3,1 + 0,014 \cdot N_i) \cdot k}, \text{ ваг.}, \quad (2.40)$$

где $m_{\text{пр}}$ – средняя величина прибывающего состава в сортировочную систему, вагонов;

N_i – среднесуточная мощность вагонопотока данного назначения, вагонов;

k – количество назначений, накапливаемых в сортировочной системе, включая местные назначения.

В этом случае средний интервал $I_{\text{назн}}$ определяется по формуле:

$$I_{\text{назн}} = \frac{1440 \cdot n_{\text{отц}}^{\text{ср}}}{N_i}, \text{ мин.} \quad (2.41)$$

Время на закрепление «барьерной группы» вагонов определяется по следующей формуле:

$$t_3^{\text{БГ}} = 1,1 \cdot \left[\frac{K_{\text{БГ}}}{K_{\text{ящ}}} \right] + 0,06 \cdot K_{\text{БГ}} + 0,01 \cdot \left[\frac{K_{\text{БГ}}}{2} \right] \cdot l_{\text{ваг}} + 0,3, \text{ мин.}, \quad (2.42)$$

где 1,1 – время на открытие одного ящика с тормозными башмаками, мин;

$\left[\frac{K_{\text{БГ}}}{K_{\text{ящ}}} \right]$ – количество ящиков с тормозными башмаками, которые требуется открыть, определяемое округлением частного от деления потребной нормы закрепления «барьерной группы» $K_{\text{БГ}}$ на количество тормозных башмаков в одном ящике $K_{\text{ящ}}$ до целого числа в большую сторону;

$0,06 \cdot K_{\text{БГ}}$ – время на укладку $K_{\text{БГ}}$ тормозных башмаков без наката, мин;

$0,01 \cdot \left[\frac{K_{БГ}}{2} \right] \cdot l_{ваг}$ – время на прохождение работником расстояния в процессе укладки тормозных башмаков, в соответствии с Нормами [102];

$l_{ваг} = 14$ м – длина условного вагона;

0,3 – время на доклад о закреплении, мин.

Время на отцепку «барьерной группы» от переставляемого в парк отправления состава определяется по следующей формуле:

$$t_{отцепка} = 0,01 \cdot \left[\frac{K_{БГ}}{2} \right] \cdot l_{ваг} + 0,08, \text{ мин,} \quad (2.43)$$

где $0,01 \cdot \left[\frac{K_{БГ}}{2} \right] \cdot l_{ваг}$ – время на прохождение работника от места укладки последнего тормозного башмака до места расцепления «барьерной группы» и переставляемого состава. мин;

0,08 – время на расцепление, мин.

В практических условиях возможен случай задержки роспуска при формировании «барьерной группы» вагонов по указанному в данном подпункте способу только в том случае, если во время перестановки сформированного состава в парк отправления производится надвиг и роспуск очередного состава, и в нем есть отцепы, которые должны следовать на данный сортировочный путь. Увеличение времени роспуска в этом случае будет складываться из времени на закрепление «барьерной группы» $t_3^{БГ}$ и времени на ее отцепку $t_{отцепка}$.

2.3.1.2 Формирование «барьерной группы» вагонов на сортировочно-отправочном пути в процессе накопления состава из последних отцепов (вагонов), следующих на этот путь

При наличии на сортировочно-отправочном пути установленным порядком сформированной и закрепленной «барьерной группы» вагонов, сначала осуществляется накопление формируемого состава, после чего на этом же пути со стороны сортировочной горки накапливаются вагоны, из которых будет сформирована «барьерная группа» для следующего состава. После отправления

поезда с сортировочно-отправочного пути «барьерная группа» вагонов переставляется к месту ее установки и закрепляется тормозными башмаками.

В этом случае также должно выполняться условие (2.38).

Суммарное время занятия сортировочной горки расформированием составов не увеличивается.

Реализация этого способа возможна двумя вариантами:

1) Закрепление остающейся на пути «барьерной группы», отцепка сформированного состава, отправление сформированного состава с путей сортировочно-отправочного парка, после чего выполняется заезд маневрового локомотива со стороны вытяжек формирования и перестановка вагонов к месту установки «барьерной группы» (рисунок 2.11).

В этом случае дополнительные затраты времени на маневровую работу по формированию «барьерной группы» на сортировочно-отправочном пути определяются по следующей формуле:

$$t'_{(1CO)}^{БГ} = \left[\frac{n_{БГ}}{n_{отц}} \right] \cdot (I_{назн} + t_3) + t'_{отцепка} + t_{заезда} + t_{сн.з} + t_{подт} + t_3^{БГ} + \quad (2.44)$$

$$+ t''_{отцепка, МИН},$$

где t_3 – время на закрепление группы вагонов за парковой тормозной позицией двумя тормозными башмаками, 1 мин;

$t'_{отцепка}$ – время на отцепку «барьерной группы» вагонов от отправляемого с путей сортировочно-отправочного парка состава, мин;

$t_{заезда}$ – время заезда маневрового локомотива на сортировочный путь со стороны вытяжек формирования, мин;

$t_{сн.з}$ – уборка двух тормозных башмаков из-под группы вагонов, 1 мин;

$t_{подт}$ – время на подтягивание «барьерной группы», остающейся на сортировочно-отправочном пути после отправления поезда до места ее установки, мин;

$t''_{отцепка}$ – время на отцепку «барьерной группы» вагонов от маневрового локомотива, мин, определяется по формуле (2.43).

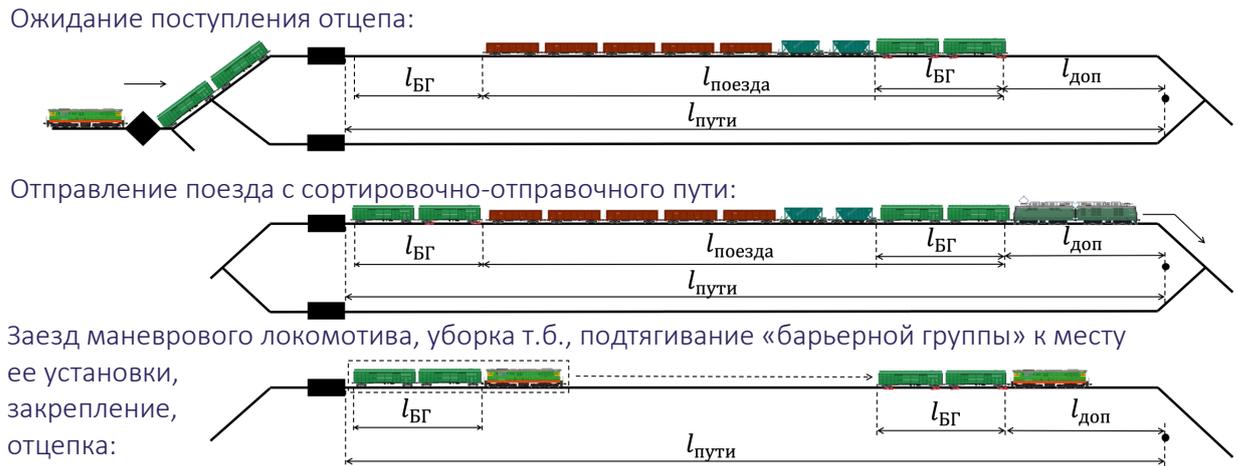


Рисунок 2.11 – Формирование «барьерной группы» на сортировочно-отправочном пути в процессе накопления состава из последних отцепов (вагонов), следующих на этот путь, с использованием локомотива района формирования

$$t'_{\text{отцепка}} = 0,01 \cdot n_{\text{форм}} \cdot l_{\text{ваг}} + 0,08, \quad \text{мин}, \quad (2.45)$$

где $0,01 \cdot n_{\text{форм}} \cdot l_{\text{ваг}}$ – время на прохождение работника до места расцепления «барьерной группы» и отправляемого состава, в соответствии с Нормами [102];

0,08 – время на расцепление, мин.

$$t_{\text{подт(ос)}} = ((\alpha_{\text{рт}} + \beta_{\text{рт}} \cdot n_{\text{БГ}}) \cdot \frac{v_{\text{подт(ос)}}}{2} + 3,6 \frac{l_{\text{подт(ос)}}}{v_{\text{подт(ос)}}) / 60, \quad \text{мин}, \quad (2.46)$$

где $\alpha_{\text{рт}}$ – коэффициент, учитывающий время, необходимое для изменения скорости движения локомотива на 1 км/ч при разгоне и время необходимое для изменения скорости движения локомотива на 1 км/ч при торможении, $\alpha_{\text{рт}} = 0,76 \text{ с}/(\text{км}/\text{ч})$;

$\beta_{\text{рт}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на изменение скорости движения каждого вагона в маневровом составе на 1 км/ч при разгоне и дополнительное время на изменение скорости движения каждого вагона в маневровом составе на 1 км/ч при торможении, $\beta_{\text{рт}} = 0,13 \text{ с}/(\text{км}/\text{ч})$;

$n_{\text{БГ}}$ – количество вагонов в «барьерной группе»;

$v_{\text{подт(ос)}}$ – допустимая скорость подтягивания (осаживания) группы вагонов, км/ч;

$l_{\text{подт(ос)}}$ – длина полурейса подтягивания (осаживания), м;

3,6 – коэффициент перевода км/ч в м/с;

60 – коэффициент перевода секунд в минуты.

Время заезда определяется по следующей формуле:

$$t_{\text{заезда}} = \left(\alpha_{\text{рт}} \cdot \frac{v_{\text{заезда}}}{2} + 3,6 \frac{l_{\text{заезда}}}{v_{\text{заезда}}} \right) / 60, \text{ мин}, \quad (2.47)$$

где $v_{\text{заезда}}$ – допустимая скорость заезда маневрового локомотива за группой вагонов, км/ч;

$l_{\text{заезда}}$ – длина полурейса заезда, м.

2) В том случае, если в момент формирования «барьерной группы» горочный локомотив не занят выполнением других операций, выполняется заезд горочного локомотива за парковую тормозную позицию с прицепкой к сформированному составу и «барьерной группе». После отцепки и отправления сформированного состава выполняется осаживание «барьерной группы» до места ее установки с последующим закреплением установленным порядком (рисунок 2.12).

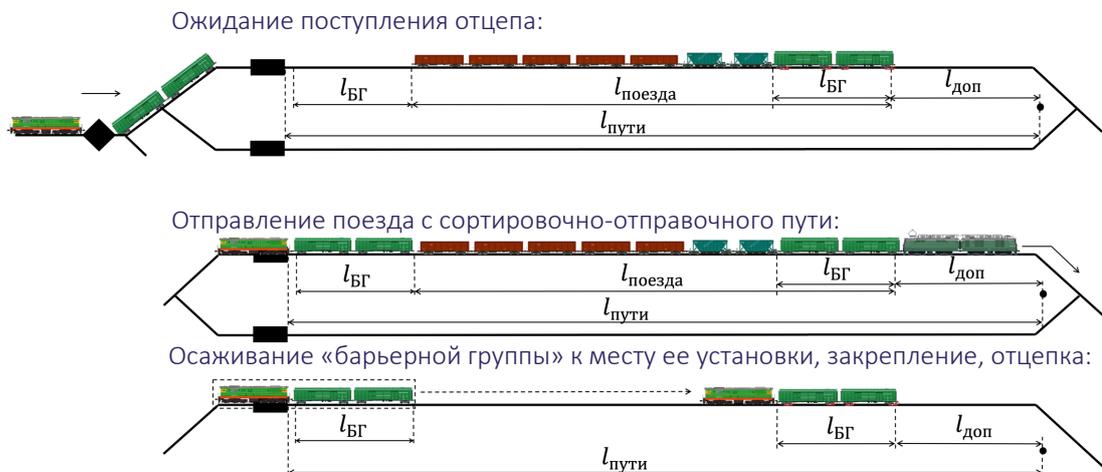


Рисунок 2.12 – Формирование «барьерной группы» на сортировочно-отправочном пути в процессе накопления состава из последних отцепов (вагонов), следующих на этот путь, без использования маневрового локомотива района формирования

В этом случае дополнительные затраты времени на маневровую работу по формированию «барьерной группы» на сортировочно-отправочном пути будут определяться по следующей формуле:

$$t''_{(1CO)}^{БГ} = \left[\frac{n_{БГ}}{n_{отц}} \right] \cdot I_{назн} + t'_{заезда} + t'_{отцепка} + t_{ос} + t_3^{БГ} + t''_{отцепка}, \text{ мин}, \quad (2.48)$$

где $t'_{заезда}$ – время заезда горочного локомотива на сортировочный путь со стороны горки, мин, определяется по формуле (2.47);

$t_{ос}$ – время на осаживание «барьерной группы», остающейся на сортировочно-отправочном пути после отправления поезда до места ее установки, мин, определяется по формуле (2.46).

В этом случае $t'_{отцепка} = t''_{отцепка}$, так как отцепка «барьерной группы» от отправляемого состава будет производиться горочным составителем поездов.

Следует сделать оговорку, что на практике при формировании «барьерной группы» вагонов по способу, указанному в данном подпункте, может возникнуть задержка роспуска состава в том случае, если во время осаживания/подтягивания «барьерной группы» вагонов на сортировочно-отправочном пути к месту установки производится надвиг и роспуск очередного состава, и в нем есть отцепы, которые должны следовать на данный сортировочно-отправочный путь. В этом случае дополнительное время занятия сортировочной горки будет определяться по формуле:

$$t_{гор(1CO)}^{доп} = t_{ос} + t_3^{БГ} + t''_{отцепка} + t_{выезда}, \text{ мин}, \quad (2.49)$$

где $t_{выезда}$ – время выезда маневрового локомотива с сортировочно-отправочного пути, мин.

Время выезда маневрового локомотива с сортировочно-отправочного пути определяется аналогично времени заезда (формула 2.47), с использованием допустимой скорости выезда маневрового локомотива и длины полурейса выезда.

В случае, если длина сортировочного (сортировочно-отправочного) пути недостаточна для размещения на нем формируемого состава с учетом длины

«барьерной группы» вагонов для следующего состава (условие 2.38 не выполняется), то формирование «барьерной группы» будет осуществляться по способам, приведенным в пп. 2.3.1.3 и 2.3.1.4.

2.3.1.3 Формирование «барьерной группы» путем отцепки группы вагонов от распускаемого состава у вершины горки и перестановки их к месту установки «барьерной группы» дополнительно привлекаемым локомотивом

Дополнительные затраты времени на маневровую работу (рисунок 2.13) по формированию «барьерной группы» будут определяться по следующей формуле:

$$t_{(2)}^{\text{БГ}} = \left[\frac{n_{\text{БГ}}}{n_{\text{отц}}} \right] \cdot (t_{\text{заезда}} + t_{\text{снятие}} + t_{\text{подт}} + t_{\text{з}}^{\text{БГ(отц)}} + t_{\text{отцепка}}) + \left(\left[\frac{n_{\text{БГ}}}{n_{\text{отц}}} \right] - 1 \right) \cdot I_{\text{назн, мин}}, \quad (2.50)$$

где $t_{\text{заезда}}$ – время заезда маневрового локомотива на вершину горки со стороны вытяжек формирования, определяется по формуле (2.47);

$t_{\text{снятие}}$ – время на «снятие» вагонов «барьерной группы» у вершины горки дополнительно привлекаемым локомотивом как для вагонов ЗСГ, мин, определяется в соответствии с таблицей 2.2.9 Норм [102];

$t_{\text{подт}}$ – время на подтягивание «барьерной группы» до места ее установки, мин, определяется по формуле (2.46);

$t_{\text{з}}^{\text{БГ(отц)}}$ – время на закрепление вагонов «барьерной группы» (отцепов), мин, определяется по формуле (2.42);

$t_{\text{отцепка}}$ – время на отцепку «барьерной группы» от маневрового локомотива, мин, определяется по формуле (2.43).

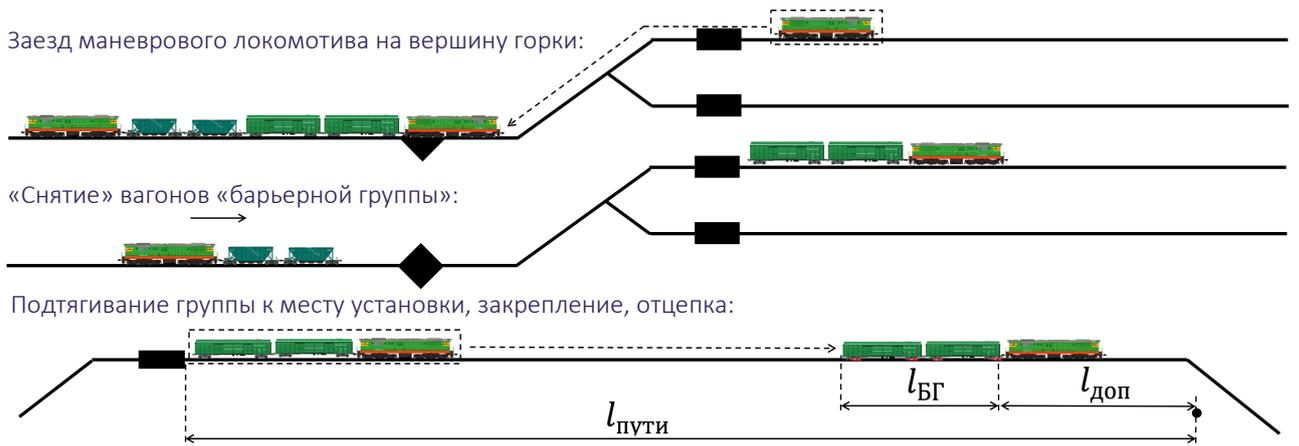


Рисунок 2.13 – Формирование «барьерной группы» путем отцепки от распускаемого состава у вершины горки и перестановки к месту ее установки дополнительно привлекаемым локомотивом

Дополнительное время занятия сортировочной горки выполнением маневровой работы по формированию «барьерной группы» будет определяться по формуле:

$$t_{\text{гор}(2)}^{\text{доп}} = \left[\frac{n_{\text{БГ}}}{n_{\text{отц}}^{\text{ср}}} \right] \cdot (t_{\text{снятие}} + t'_{\text{заезда}}), \text{ мин}, \quad (2.51)$$

где $t'_{\text{заезда}}$ – время заезда маневрового локомотива по горочной горловине на вершину горки, мин, определяется по формуле (2.47) для горочной горловины.

2.3.1.4 Формирование «барьерной группы» путем осаживания расформировываемого состава, отцепки «барьерной группы» вагонов с последующим ее подтягиванием (осаживанием) к месту установки

Данный способ (рисунок 2.14) будет использоваться в том случае, если в момент расформирования состава на сортировочной горке маневровый локомотив района формирования занят выполнением других операций и не может произвести «снятие» вагонов «барьерной группы».

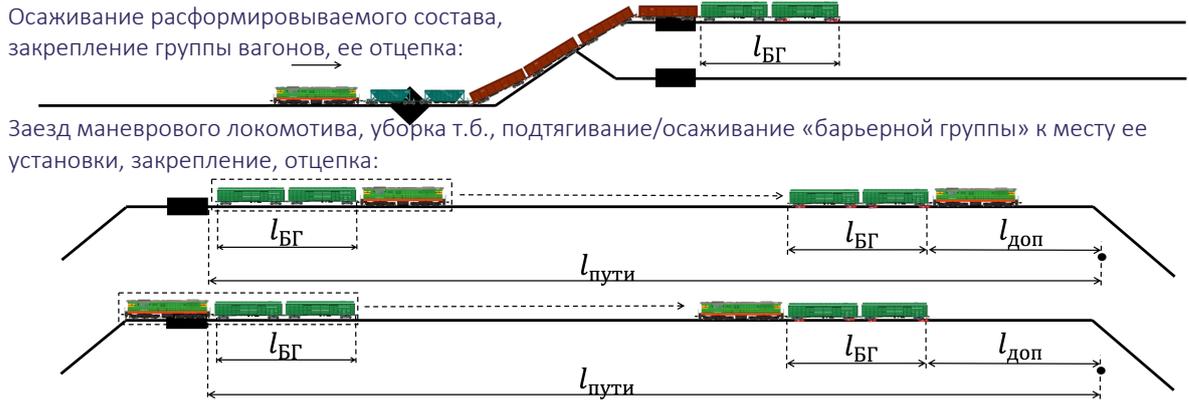


Рисунок 2.14 – Формирование «барьерной группы» путем осаживания расформировываемого состава, отцепки «барьерной группы» вагонов с последующим ее подтягиванием (осаживанием) к месту установки

Затраты времени на маневровую работу по формированию «барьерной группы» будут определяться по следующей формуле:

$$t_{(3)}^{БГ} = \left[\frac{n_{БГ}}{n_{отц}} \right] \cdot (t_{ос}^{расф} + t_{отцепка}) + \left(\left[\frac{n_{БГ}}{n_{отц}} \right] - 1 \right) \cdot I_{назн} + t_3 + t_{заезда} (t'_{заезда}) + t_{сн.з} + t_{подт(ос)} + t_3^{БГ} + t_{отцепка}, \text{ МИН}, \quad (2.52)$$

где $\left[\frac{n_{БГ}}{n_{отц}} \right]$ – количество осаживаний, которое требуется совершить, чтобы сформировать «барьерную группу»;

$t_{ос}^{расф}$ – время на осаживание расформировываемого маневрового состава за разделительную стрелку как для вагонов ЗСГ, мин, определяется в соответствии с таблицей 2.2.8 Норм [102];

$t_{отцепка}$ – время на отцепку «барьерной группы» (отцепа) от расформировываемого маневрового состава или маневрового локомотива, мин, определяется по формуле (2.43);

$I_{назн}$ – интервал поступления в подсистему расформирования-формирования отцепов (вагонов) на заданное назначение, мин;

t_3 – время на закрепление группы вагонов за парковой тормозной позицией двумя тормозными башмаками в случае ее недостаточности для формирования «барьерной группы», 1 мин;

$t_{\text{заезда}} (t'_{\text{заезда}})$ – время заезда маневрового (горочного) локомотива на сортировочный путь со стороны вытяжек формирования (со стороны горки), мин, определяется по формуле (2.47);

$t_{\text{сн.з}}$ – уборка двух тормозных башмаков из-под группы вагонов, 1 мин;

$t_{\text{подт(ос)}}$ – время на подтягивание (осаживание) «барьерной группы» до места ее установки, мин, определяется по формуле (2.46);

$t_3^{\text{БГ}}$ – время на закрепление вагонов «барьерной группы» (отцепа), мин, определяется по формуле (2.42).

Если перестановка «барьерной группы» к месту ее установки осуществляется локомотивом района формирования, то в формуле (2.52) используется $t_{\text{заезда}}$, а если горочным локомотивом, то $t'_{\text{заезда}}$. Выбор локомотива для перестановки осуществляется в оперативных условиях в зависимости от загрузки и занятия локомотивов на заданный момент времени.

Дополнительное время занятия сортировочной горки выполнением маневровой работы по формированию «барьерной группы» будет определяться по формуле:

$$t_{\text{гор(з)}}^{\text{доп}} = k_{\text{отц}}^{\text{сост}} \cdot (t_{\text{ос}}^{\text{расф}} + t_{\text{отцепка}} + t_3 + t_{\text{выт}}^{\text{расф}}), \text{ мин}, \quad (2.53)$$

где $k_{\text{отц}}^{\text{сост}}$ – количество отцепов в расформировываемом составе, назначением на данный путь;

$t_{\text{выт}}^{\text{расф}}$ – время на вытягивание расформировываемого маневрового состава обратно на сортировочную горку, мин.

Время на вытягивание расформировываемого маневрового состава на сортировочную горку определяется по следующей формуле:

$$t_{\text{выт}}^{\text{расф}} = ((\alpha_{\text{рт}} + \beta_{\text{рт}} \cdot (n_{\text{расф}} - n_{\text{БГ}})) \cdot \frac{v_{\text{выт}}}{2} + 3,6 \frac{l_{\text{спуск}}}{v_{\text{выт}}}) / 60, \text{ мин}, \quad (2.54)$$

где $v_{\text{выт}}$ – допустимая скорость вытягивания расформировываемого состава на сортировочную горку, км/ч;

$n_{\text{расф}}$ – количество вагонов в расформировываемом маневровом составе;

$n_{\text{БГ}}$ – количество вагонов в «барьерной группе»;

$l_{\text{спуск}}$ – длина спускной части горки (от вершины горки до парковой тормозной позиции), м.

Все конечные значения затрат времени на маневровую работу по формированию «барьерных групп» вагонов и дополнительного времени занятия сортировочной горки выполнением маневровой работы по формированию «барьерных групп» округляются до целых минут в большую сторону [5].

2.3.2 Дополнительные расходы, связанные с формированием «барьерных групп» вагонов

Дополнительные расходы, связанные с формированием «барьерных групп» вагонов, состоят из энергетической части расходов на выполнение маневровой работы и определяются по формуле:

$$E_{\text{БГ}} = 365 \cdot \sum_{i=1}^n [(K_{\text{форм.БГ}(1,i)} \cdot t_{(1,i)}^{\text{БГ}}) \cdot c_{\text{БГ}(1)} + (K_{\text{форм.БГ}(2,i)} \cdot t_{(2,i)}^{\text{БГ}}) \cdot c_{\text{БГ}(2)} + (K_{\text{форм.БГ}(3,i)} \cdot t_{(3,i)}^{\text{БГ}}) \cdot c_{\text{БГ}(3)}], \quad (2.55)$$

где n – число путей, в подгорочном парке, на которых требуется формирование «барьерных групп» вагонов;

$K_{\text{форм.БГ}(1,i)}$, $K_{\text{форм.БГ}(2,i)}$, $K_{\text{форм.БГ}(3,i)}$ – количество «барьерных групп» вагонов, сформированных на пути i соответственно по способу 1, 2 и 3 за сутки;

$t_{(1,i)}^{\text{БГ}}$, $t_{(2,i)}^{\text{БГ}}$, $t_{(3,i)}^{\text{БГ}}$ – время на формирование «барьерной группы» на пути i соответственно по способу 1, 2 и 3, час;

$c_{\text{БГ}(1)}$, $c_{\text{БГ}(2)}$, $c_{\text{БГ}(3)}$ – расходная ставка при формировании «барьерной группы» вагонов соответственно по способу 1, 2 и 3, руб/час.

Значения $c_{\text{БГ}(1)}$, $c_{\text{БГ}(2)}$, $c_{\text{БГ}(3)}$ определяются в зависимости от серии локомотивов, массы групп вагонов, типа маневровых и горочных локомотивов.

На рисунке 2.15 представлена зависимость суммарных затрат времени на формирование «барьерных групп» вагонов в среднем за сутки от долей «барьерных групп», формируемых разными способами, полученная в результате практических расчетов для сортировочной станции Рыбное Московской железной дороги.

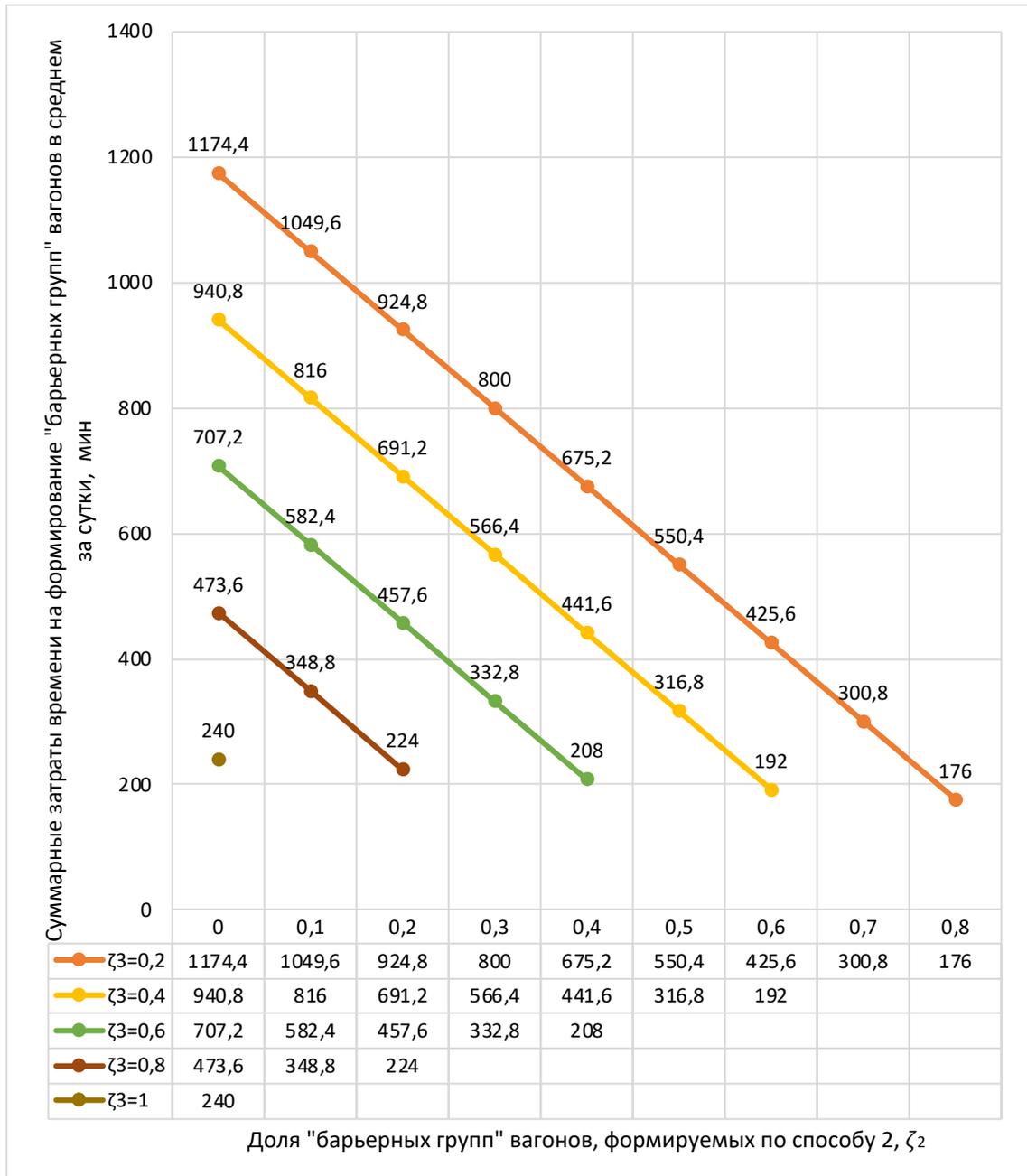


Рисунок 2.15 – Зависимость суммарных затрат времени на формирование «барьерных групп» вагонов в среднем за сутки в зависимости от долей «барьерных групп», формируемых разными способами (на примере сортировочной станции Рыбное)

Где $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3$ – доля «барьерных групп» вагонов, формируемых соответственно по способу 1, 2 и 3, причем:

$$\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 = 1.$$

2.3.3 Определение целесообразности использования стационарных заграждающих средств на путях подгорочных парков

В соответствии с работой [33] необходимая расчетная суммарная тормозная мощность h_t тормозных позиций с балочными заграждающими устройствами (БЗУ-ДУ) должна обеспечивать при благоприятных условиях скатывания остановку отцепов в конце сортировочных путей.

Величина h_t определяется по формуле:

$$h_t = k_y \cdot \left(V_{\text{ВХ}}^2 + \frac{2 \cdot g' \cdot l \cdot (i - w_0 + w_{\text{ср}}) \cdot 10^{-3}}{2 \cdot g'} \right), \quad (2.56)$$

где k_y – коэффициент увеличения необходимой расчетной мощности тормозной позиции БЗУ, принимается равным 1,15 – 1,2;

$V_{\text{ВХ}}$ – скорость входа отцепа на тормозную позицию БЗУ-ДУ, м/с;

g' – ускорение силы тяжести (свободного падения), м/с², с учётом инерции вращающихся частей вагона;

w_0 – основное удельное сопротивление движению отцепа, кгс/тс;

$w_{\text{ср}}$ – удельное сопротивление от среды и ветра, кгс/тс;

l – длина участка пути, на котором размещается БЗУ-ДУ, м;

i – уклон участка пути, на котором размещается БЗУ-ДУ, ‰.

Мощность тормозной позиции $H_{\text{ТП}}$ для остановки отцепа с количеством вагонов $n_{\text{в}}$ определяется по формуле:

$$H_{\text{ТП}} = 0,8 \cdot h_t \cdot n_{\text{в}}, \quad (2.57)$$

где 0,8 – коэффициент, учитывающий увеличение тормозной мощности БЗУ-ДУ при торможении многовагонного отцепа.

Величина удерживающего усилия $F_{уд}'$ БЗУ для одной 4-х осной тележки удерживаемого вагона определяется по формуле:

$$F_{уд}' = 4F_{тр} \cdot \mu_0 \cdot \varphi, \quad (2.58)$$

где 4 – коэффициент, учитывающий воздействие тормозных шин балки и контррельса на внутренние поверхности 4-х колес тележки вагона;

$F_{тр}$ – сила трения тормозных шин о поверхности колес вагона, тс;

μ_0 – коэффициент трения покоя пары «тормозная шина – колеса», принимается равным 0,15;

φ – коэффициент приведения сил, учитывающий положение поверхностей трения относительно центра колеса, принимается равным 0,4 [103].

Суммарное удерживающее усилие тормозной позиции БЗУ определяется по формуле:

$$F_{уд} = F_{уд}' \cdot n_T, \quad (2.59)$$

где n_T – количество тележек отцепа, одновременно находящихся в БЗУ.

В соответствии с работой [33] необходимое число точечных вагонных замедлителей, которое требуется на рассматриваемом участке пути определяется по формуле:

$$N = \frac{h_v}{h_3}, \text{ шт.}, \quad (2.60)$$

где h_v – энергетическая высота отцепа на выходе рассматриваемого участка пути, м;

h_3 – энергетическая высота торможения одним точечным вагонным замедлителем (ТВЗ), м.

Энергетическая высота торможения одним ТВЗ определяется по формуле:

$$h_3 = \frac{A_T}{P \cdot g'} \quad (2.61)$$

где A_T – работа торможения одного замедлителя, кДж;

P – средняя нагрузка на ось вагонов в отцепе, т;

g' – ускорение силы тяжести (свободного падения), с учётом инерции вращающихся частей вагона, м/с²;

Экономическая целесообразность использования стационарных загряздающих средств на сортировочных (сортировочно-отправочных) путях вместо «барьерных групп» вагонов определяется следующим образом:

$$E_{\text{ст.загр.}} = (E_{\text{ФОТ}} + E_{\text{БГ}} + E_{\text{пр}}) - (E_{\text{обсл}} + E_{\text{зап}} + E_{\text{эл}}), \quad (2.62)$$

где $E_{\text{ФОТ}}$ – годовые затраты на содержание работников, занятых на закреплении составов и групп вагонов в подгорочном парке;

$E_{\text{БГ}}$ – годовые затраты на формирование «барьерных групп» вагонов;

$E_{\text{пр}}$ – годовые затраты, связанные с задержкой отправления сформированных поездов из-за ручного раскрепления;

$E_{\text{обсл}}$ – годовые затраты на обслуживание стационарного загряздающего средства;

$E_{\text{зап}}$ – годовые затраты на приобретение запасных частей и расходных материалов для загряздающего средства;

$E_{\text{эл}}$ – годовые затраты на электроэнергию для управления загряздающим средством.

Все вышеуказанные элементы затрат, а также срок окупаемости стационарных загряздающих средств определяются в соответствии с Методическими рекомендациями [104].

2.4 Предложения по совершенствованию методики расчета максимально допустимого числа вагонов в отцепе при роспуске на сортировочных горках

В настоящее время максимальная величина отцепа рассчитывается согласно действующей «Инструкции по расчету максимально допустимой длины отцепа при роспуске на сортировочных горках» №ЦД-49р от 01.04.2013 г. [93] в зависимости от мощности тормозных средств, обеспечивающих выход отцепа из парковой тормозной позиции с установленной скоростью, но не учитывает основополагающие факторы, влияющие на динамику движения отцепа по сортировочному пути, в частности:

- не учитывается реальный поэлементный профиль сортировочного пути;
- условно принимается, что профиль сортировочного пути после парковой тормозной позиции не может вызвать ускорения движения вагонов, и если отцеп выходит из парковой тормозной позиции со скоростью 5 км/ч, то и далее скорость его движения не будет превышать 5 км/ч. Однако на большинстве обследованных сортировочных станций есть сортировочные пути, профиль которых вызывает ускорение движения отцепов;
- не учитываются погодные условия, в частности скорость и направление ветра;
- не учитывается удерживающая способность заграждающих средств, препятствующих выходу неуправляемых вагонов за пределы полезной длины путей в сторону противоположную сортировочной горке, в частности «барьерных групп» вагонов;
- отцеп рассматривается в виде материальной точки, что является принятым допущением и приводит к погрешности получаемых результатов по сравнению с динамикой скатывания многовагонных отцепов.

На основании действующей Инструкции [93] все станции выполнили расчет максимальной длины отцепа и внесли полученные значения в Инструкции по

работе сортировочных горок. Величина (длина) максимального отцепа, указанная в Инструкции по работе горки, на отдельных станциях составляет 20-30 и более вагонов, например на станциях:

- Агрыз (горка механизированная) – 28 вагонов;
- Им. Максима Горького (горка механизированная) – 20 вагонов;
- Екатеринбург-Сорт. (четная горка механизированная) – 45 вагонов;
- Екатеринбург-Сорт. (нечетная горка автоматизированная) – 22 вагона;
- Волховстрой I (горка механизированная) – 46 вагонов;
- Сызрань I (горка механизированная) – 30 вагонов.

Если отцеп максимально допустимой длины состоит из груженых вагонов, то его масса может достигать 2000 и более тонн. При роспуске таких отцепов с сортировочных горок, особенно при неблагоприятных погодных условиях, возникают существенные сложности с регулированием скорости их скатывания. При следовании указанных отцепов по сортировочным путям, особенно с ускоряющими элементами продольного профиля, который не учитывается в действующей Инструкции [93], скорость их движения может заметно увеличиться и привести к выходу вагонов за пределы полезной длины путей.

Распоряжением Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД» № ЦД-35р от 12.02.2019 г. [105] были внесены изменения в распоряжение [93], согласно которых «Максимально допустимое количество вагонов в отцеpe для каждой сортировочной горки с учетом местных условий устанавливается начальником станции в инструкции по работе сортировочной горки». Однако никаких изменений в действующую методику расчета максимально допустимой длины отцепа распоряжение [105] не внесло.

Гунбин А. А. в своей работе [106] решает проблему моделирования динамики скатывания многовагонных отцепов и предлагает усовершенствованную методику по расчету максимальной длины отцепа. Для определения максимальной длины отцепа автором предлагается использовать имитационное моделирование.

Автор в диссертации [106] предлагает при определении максимально допустимого числа вагонов в отцепе исследовать скатывание многовагонных отцепов по двум критериям:

1) Достаточность имеющейся мощности тормозных средств для контроля скорости на спускной части горки и в начале подгорочного парка при скатывании груженого многовагонного отцепа (с хорошими характеристиками).

2) Достаточность суммарной энергетической высоты для освобождения многовагонным отцепом с плохими ходовыми характеристиками (как правило, состоящим из порожних вагонов) стрелочной зоны спускной части горки и/или парковой тормозной позиции.

Однако, в данной работе автором также моделируется движение отцепа до парковой тормозной позиции, а его движение по продольному профилю подгорочного пути не рассматривается, как и не рассматривается наличие на пути заграждающих средств, в том числе «барьерных групп» вагонов.

Корниенко К.И. в диссертации [107] исследует влияние продольного профиля подгорочного пути на динамику движения отцепа в сортировочном парке. В данной работе автором предложен новый алгоритм определения точки остановки отцепа на основе моделирования его движения по подгорочному пути. Однако в данной работе не рассматривается возможность выхода отцепа за пределы полезной длины подгорочного пути.

После утверждения Методики [2] и ее апробации на Октябрьской и Куйбышевской железных дорогах было выявлено, что при соблюдении всех условий безопасности в результате практических расчетов получается завышенная величина «барьерной группы» вагонов [9]. Причиной этому служит завышенная максимально допустимая длина скатывающегося отцепа, внесенная в Инструкции по работе сортировочных горок, и используемая в качестве исходных данных для расчетов по Методике [2].

Совпадение неблагоприятных факторов, таких как: сложные погодные условия (попутный ветер со скоростью 15 м/с и более), наличие в «барьерной группе» порожних вагонов и соединение с ней максимального по длине отцепа из

груженных вагонов, может вызвать выход вагонов за пределы полезной длины сортировочного пути. Например, на станции Абакан, где по расчётам согласно Инструкции [93] максимальный отцеп может достигать 23 груженных вагонов, практические испытания показали, что при соединении с «барьерной группой» из десяти порожних вагонов с установленной скоростью 5 км/ч движение «юзом» на тормозных башмаках объединённой группы достигает 100 метров. Это может привести не только к выходу вагонов за пределы полезной длины путей, но и к образованию ползунов на поверхности колес.

Необоснованно завышенная величина максимального отцепа, указанная в Инструкции по работе сортировочной горки, создает существенные трудности при оценке необходимости использования на станции «барьерных групп» вагонов, определении величины и требуемой нормы закрепления «барьерных групп». Следует учитывать, что использование «барьерных групп» завышенной величины приводит к дополнительным простоям сортировочных горок, а также к непроизводительным потерям и снижению их перерабатывающей способности.

Корректировка максимально допустимой величины отцепа, выполненная с учетом основных влияющих факторов, позволит уменьшить величину «барьерных групп» и потребное количество тормозных башмаков для их закрепления, а на некоторых станциях вообще станет возможным отказ от использования «барьерных групп».

Кроме того, необходимо учитывать возможность объединения при скатывании нескольких отцепов, суммарная длина которых после объединения превысит максимально допустимое количество вагонов в отцепе. Данная ситуация также создает риски выхода подвижного состава за пределы полезной длины сортировочных путей.

При расчете максимально допустимой длины отцепа помимо факторов, учтённых в действующей Инструкции [93], должны быть учтены:

- скорость и направление ветра;
- поэлементный профиль сортировочного пути от парковой тормозной позиции до границы полезной длины пути;

- состав отцепа (груженые/порожние вагоны);
- наличие и удерживающая способность ограждающих устройств.

В действующей Инструкции [93] и в работе [106] рассматривается движение отцепа только от вершины горки до парковой тормозной позиции. Однако для качественного решения задачи определения максимально допустимой длины отцепа необходимо рассматривать процесс движения в комплексе от момента отцепки от надвигаемого состава до момента добегающего отцепа до ограждающих тормозных башмаков или вагонов «барьерной группы» с учетом погодных условий.

Динамика движения отцепа должна быть рассмотрена по трем элементам:

- от вершины горки до парковой тормозной позиции – определение скорости выхода отцепа из парковой тормозной позиции, которую могут обеспечить тормозные средства с учетом скорости надвига, высоты горки, длины спускной части, мощности тормозных средств и погодных условий (данная задача решена в работе [106]);
- от парковой тормозной позиции до контрольной точки – определение скорости отцепа в контрольной точке путем моделирования его движения по сортировочному пути с помощью поэлементного профиля и вагонно-осевой модели отцепа [108] с учетом погодных условий (данная задача решена в работе [107]);
- взаимодействие с ограждающими устройствами – при наличии ненулевой скорости отцепа в контрольной точке – расчет с учетом удерживающей способности ограждающих тормозных башмаков или «барьерных групп» вагонов.

Используемая в Методике [2] математическая модель [10, 11] может быть применена и при решении задачи определения максимально допустимой длины отцепа, а также при определении возможности роспуска первого отцепа на свободный путь и формирования из него «барьерной группы» вагонов.

Например, для сортировочного пути № 13 станции М (максимальная длина отцепа, указанная в Инструкции по работе горки – 20 вагонов) требуется «барьерная группа» в количестве 4 вагона. Если выполнить оценку при длине

отцепа 4 вагона будет выявлено, что в этом случае при скорости попутного ветра до 15 м/с «барьерная группа» не требуется. Это означает, что при обычных погодных условиях длина первого отцепа, распускаемого на свободный путь, может быть уменьшена до 4 вагонов. После закрепления данного первого отцепа по расчетным нормам на данную «барьерную группу» уже можно распускать отцепы максимальной установленной длины в 20 вагонов.

Помимо этого, исходя из наличия свободного места на подгорочном пути, возможно определить длину отцепа, который может быть распущен на занятый путь, с целью формирования из него «барьерной группы» вагонов:

$$n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} = l_{\text{пути}} - m_{\text{ф}} - l_{\text{доп}}, \quad (2.63)$$

где $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$ – длина отцепа, усл. ваг.;

$l_{\text{пути}}$ – полезная длина сортировочного (сортировочно-отправочного) 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 «барьерной группой» длиной $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}}$ вагонов. С использованием разработанного математического аппарата [2, 10, 11] можно определить максимально допустимую длину отцепа при роспуске на данную «барьерную группу».

В развитие работ [106, 107] в рамках данной диссертации предлагается дополнить перечень критериев, по которым следует исследовать скатывание многовагонных отцепов с целью определения максимально допустимого числа вагонов в отцепе:

1) Критерий, характеризующий возможность остановки отцепа при его движении по свободному сортировочному (сортировочно-отправочному) пути до

контрольной точки (места установки первого со стороны горки ограждающего тормозного башмака).

2) Критерий, характеризующий возможность остановки отцепа при его наезде на ограждающий тормозной башмак при заданной максимально допустимой длине движения отцепа «юзом».

Проверка наличия ограничения числа вагонов в отцепе по данному критерию выполняется путем решения неравенства (2.34) с учетом ограничений (2.37).

Ввиду несоответствия профилей сортировочных путей нормативам, скорость наезда отцепа на ограждающий тормозной башмак V зачастую может превышать допустимую скорость соединения вагонов в подгорочном парке (5 км/ч или 1,39 м/с). В результате возникает опасность выбивания ограждающего тормозного башмака из-под колеса вагона. В соответствии со статьей [109] скорость наезда отцепа на ограждающих тормозной башмак, при которой не происходит выбивания тормозного башмака, не должна превышать 3 м/с.

3) Критерий, характеризующий возможность остановки отцепа при соединении его с «барьерной группой» вагонов или при взаимодействии со стационарным заграждающим средством.

В этом случае проверяется выполнение условия, полученное на основании Методики [2]:

$$n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \leq \frac{K_{\text{ТБ}}^{\text{БГ}} \cdot P_{\text{БГ}} \cdot l_{\text{юза}}^{\text{БГ}} \cdot (0,04 \cdot i + 3,37)}{m \cdot (V^2 - 0,02 \cdot i \cdot l_{\text{юза}}^{\text{БГ}})}, \quad (2.64)$$

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;

$l_{\text{юзa}}^{\text{БГ}}$ – 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», ‰;

При этом если «барьерная группа» располагается на противоуклоне, то значение уклона i берется со знаком «+», а если «барьерная группа» располагается на уклоне – то со знаком «-».

На рисунке 2.16 приведен укрупненный алгоритм расчета максимально допустимой длины отцепа при роспуске на сортировочных горках.

По результатам расчетов проведенных итераций можно определить возможность роспуска отцепа на свободный путь подгорочного парка. После закрепления данного отцепа в качестве «барьерной группы», возможно определить максимальную длину отцепа при роспуске его на данную «барьерную группу».

В условиях отказа от применения на путях сортировочных станций, оборудованных автоматизированными горками, «барьерных групп» при роспуске составов возникает необходимость уточнять максимальную длину распускаемых отцепов, исходя из удерживающей способности ограждающих средств, и не допускать их объединения во время движения.

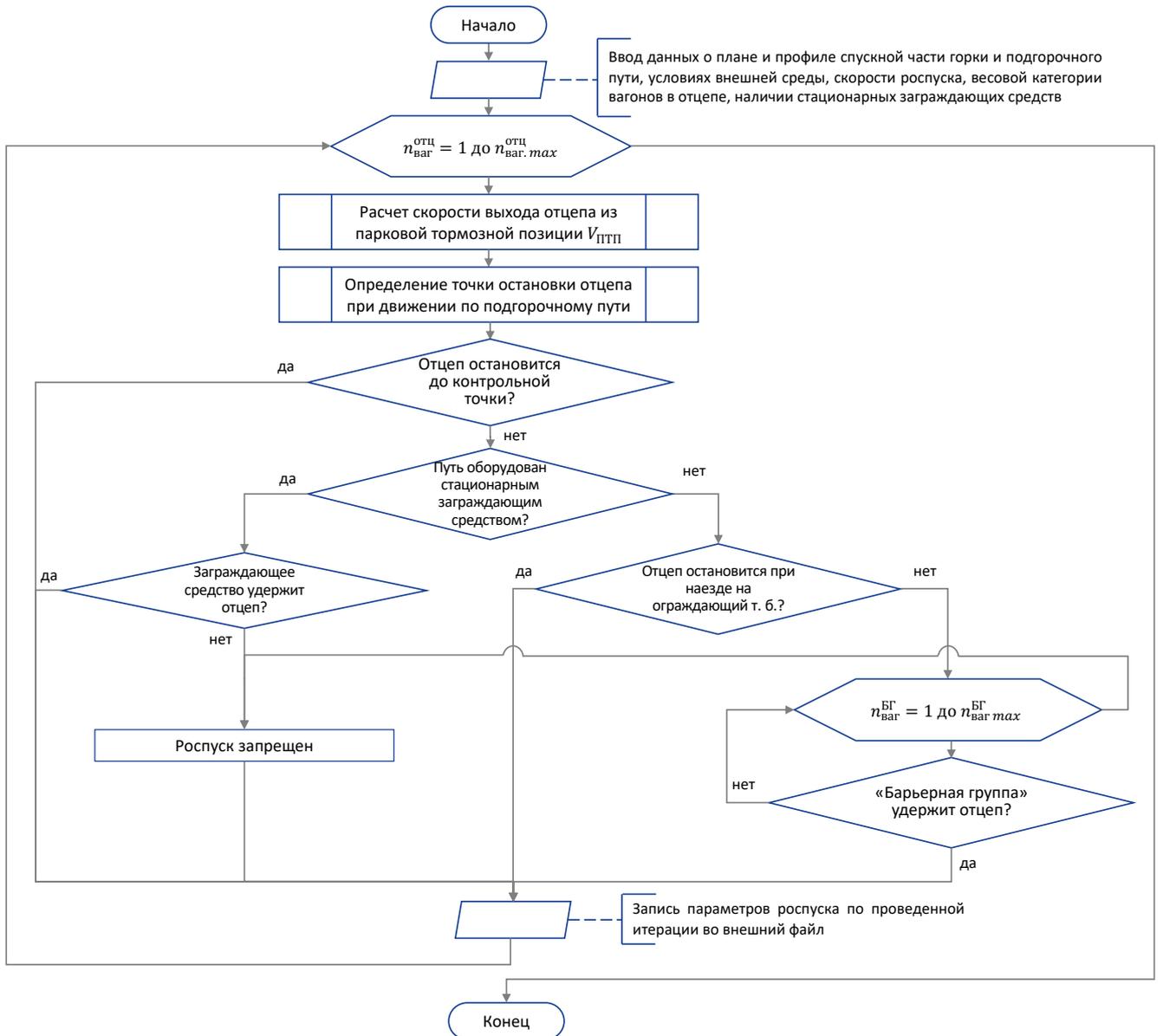


Рисунок 2.16 – Укрупненный алгоритм расчета максимально допустимой длины отцепа

2.5 Исследование взаимосвязей загрузки сортировочных устройств и использования сортировочных путей

В соответствии с Инструктивными указаниями [50] для станции или сортировочной системы технически допустимыми будут наибольшее число назначений формируемых поездов и размеров переработки вагонов, при котором

станция (система) обеспечивает высокую (близкую к 1) эксплуатационную надежность по приему поездов в расформирование.

Зависимости $N_T = f(k)$ определяют решением уравнений баланса перерабатывающей способности сортировочного устройства. В работе [110] представлена графическая интерпретация данного решения (рисунок 2.17, а), где составо-минуты занятия подгорочных путей накопленными составами $\tau_{\text{доп}}$ характеризуются нелинейно возрастающей функцией от мощности вагонопотока, поступающего в переработку, $N_{\text{пер}}$:

$$\tau_{\text{доп}} = f(N_{\text{пер}}) \quad (2.65)$$

Для конкретной станции значения функции (2.65) зависят от длительности простоя накопленных составов (а, следовательно, от параметров комплекса формирования-отправления поездов – наличия парка отправления и его пропускной способности, загрузки вытяжек, маневровых локомотивов и горловины формирования; условий вывоза готовых поездов) [110].

На рисунке 2.17 (а) показаны также нелинейно убывающие функции:

$$N_T(k) = N_T^* \cdot (1 - \Delta\gamma_{\text{гор}}) = \varphi(\tau_{\text{доп}}), \quad (2.66)$$

где N_T^* – технически допустимая переработка, вагонов/сут;

$\Delta\gamma_{\text{гор}}$ – относительные потери перерабатывающей способности горки из-за переполнения сортировочных путей.

Функции (2.66) при заданном числе формируемых назначений k определяются соотношением мощностей сортировочной горки и путей парка приема, конструкцией горловин, числом сортировочных путей, соотношением вместимости этих путей и длин составов формируемых поездов. Функции (2.66) рассчитывают для ряда значений числа дополнительных путей для размещения уже накопленных составов $P_{\text{доп}} = 0; 1; 2$ и т. д. Точки баланса перерабатывающей способности, то есть равенства значений функций (2.65) и (2.66), определяют технически допустимые значения перерабатываемого вагонопотока [110].

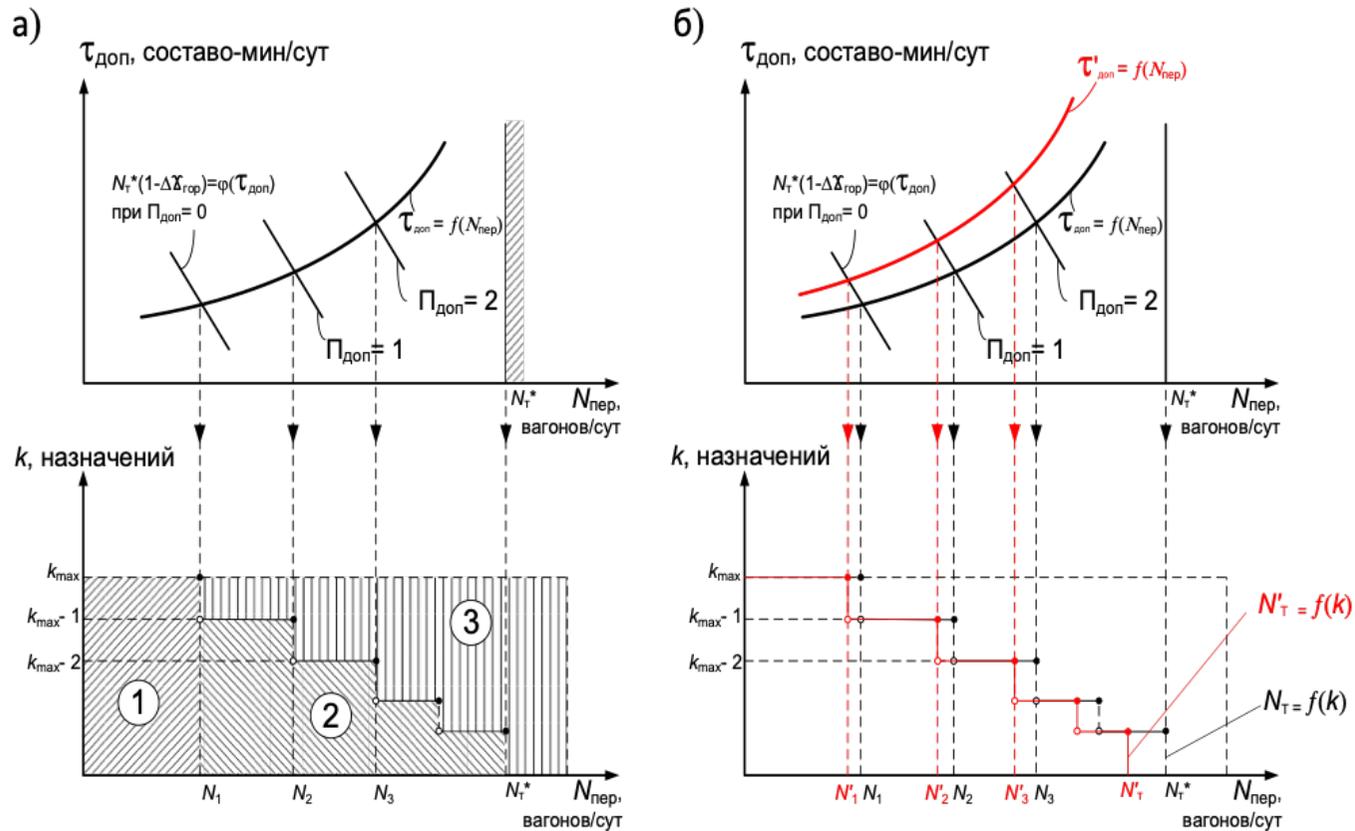


Рисунок 2.17 – Графическая интерпретация решения уравнений баланса перерабатывающей способности сортировочного устройства при расчете зависимостей $N_{\text{т}} = f(k)$: а) исходное положение согласно [110]; б) при увеличении времени занятия подгорочных путей накопленными составами; в) при увеличении потерь перерабатывающей способности горки; г) при уменьшении числа диспетчерских путей в подгорочном парке

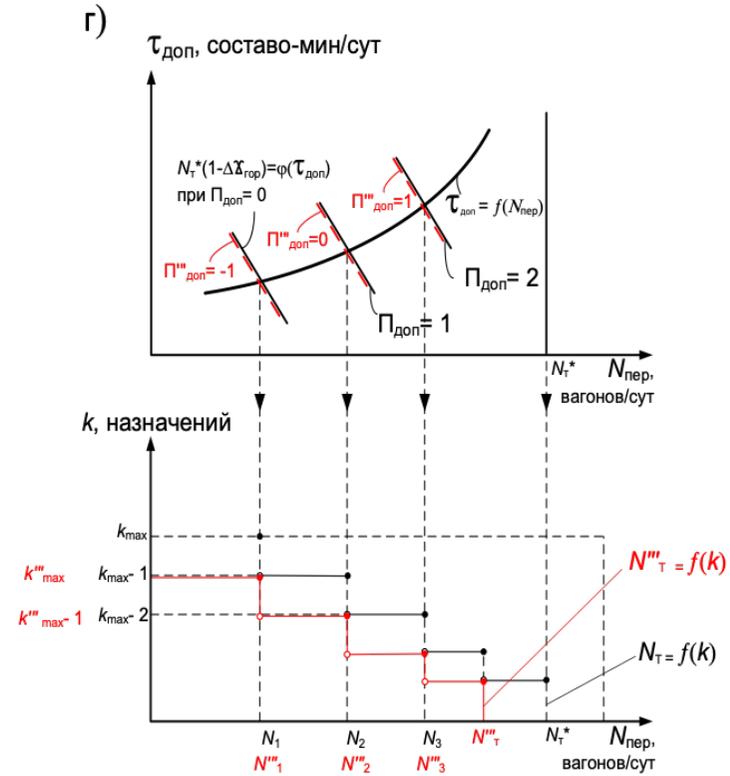
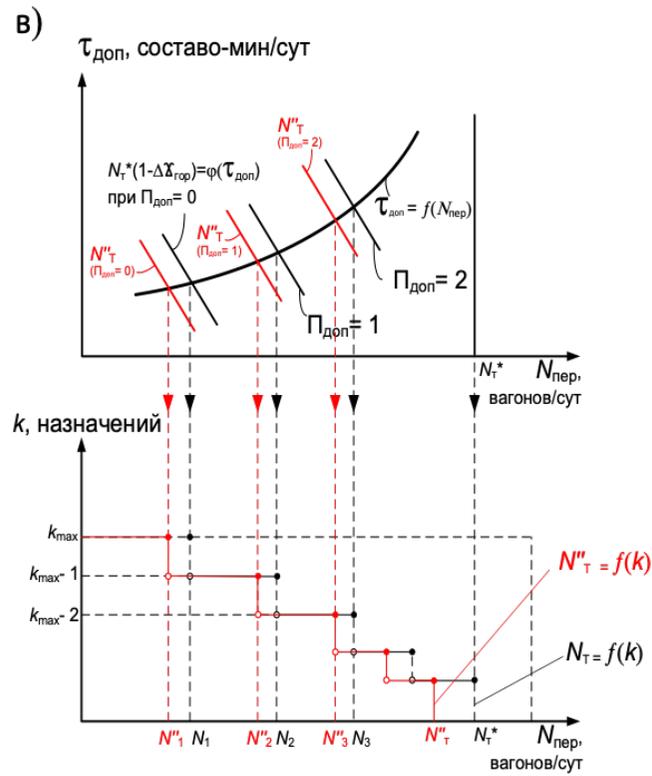


Рисунок 2.17 (лист 2 из 2)

Так (см. рисунок 2.17), при размерах вагонопотока, поступающего в переработку, $N_{пер} \leq N_1$ дополнительных путей для размещения накопленных составов не требуется ($P_{доп} = 0$), и допустимое число назначений формируемых поездов равно:

$$k = k_{max} = P_{сп} - P_{вс}, \quad (2.67)$$

где $P_{сп}$ – общее число путей в сортировочном парке;

$P_{вс}$ – число путей в сортировочном парке для внутростанционной работы (местных, угловых, неисправных вагонов).

При размерах вагонопотока $N_1 < N_{пер} \leq N_2$ нужен один дополнительный путь ($P_{доп} = 1$), и допустимое число назначений формируемых поездов равно:

$$k = k_{max} - P_{доп} = k_{max} - 1 \quad (2.68)$$

При $N_2 < N_{пер} \leq N_3$ значение $P_{доп} = 2$, при этом

$$k = k_{max} - P_{доп} = k_{max} - 2 \quad (2.69)$$

Зависимость технически допустимых размеров переработки N_T от числа назначений формируемых поездов k – функция, убывающая с ростом вагонопотока, поступающего в переработку, так как общее число путей в сортировочном (сортировочно-отправочном) парке неизменно. С ростом переработки и, следовательно, потребности в дополнительных подгорочных путях уменьшается число назначений, формирование которых сортировочная станция или сортировочная система может обеспечить без задержек поездов на подходах.

На рисунке 2.17 (а) показаны три характерных зоны изменения рассматриваемых параметров [110]:

1 – зона размеров вагонопотока, поступающего в переработку, при которых станция может формировать максимальное число назначений;

2 – зона, в которой с ростом вагонопотока, поступающего в переработку, снижается допустимое число формируемых назначений;

3 – зона работы станции с недопустимой загрузкой и задержками поездов по неприему.

В зависимости от технологии формирования «барьерных групп» вагонов изменяется горочный технологический интервал t_r и время занятия элементов горловины $t_{горл}^{зан}$, что в свою очередь влияет на дополнительное время занятия сортировочных путей $t_{доп.зан}$ как выполнением операций, так и ожиданием начала выполнения следующих.

Формирование «барьерных групп» при направлении вагонов на сортировочный путь с последующим подтягиванием в процессе перестановки сформированного состава в парк отправления (с отцепкой и закреплением группы) или с маневровыми операциями со стороны вытяжек формирования, увеличивает время занятия сортировочных путей, и вместо зависимости $\tau_{доп} = f(N_{пер})$ начинает работать зависимость:

$$\tau'_{доп} = f(N_{пер}) \quad (2.70)$$

в результате технически допустимая переработка вагонов характеризуется новой зависимостью (рисунок 2.17, б):

$$N'_T = f(k) \quad (2.71)$$

В случае формирования «барьерных групп» с увеличением потерь перерабатывающей способности горки до значений $\Delta\gamma''_{гор}$ имеют место зависимости:

$$N''_T(k) = N_T^* \cdot (1 - \Delta\gamma''_{гор}) = \varphi(\tau_{доп}), \quad (2.72)$$

в результате технически допустимая переработка вагонов снижается до значений, описываемых зависимостью (рисунок 2.17, в):

$$N''_T = f(k) \quad (2.73)$$

Если операции по формированию «барьерных групп» вызывают уменьшение числа диспетчерских путей, используемых в подгорочном парке в режиме скользящей специализации, то уменьшенные значения

$$P'''_{\text{доп}} < P_{\text{доп}}$$

приводят к снижению эксплуатационных возможностей станции по выполнению сортировочной работы до значений, описываемых зависимостью (рисунок 2.17, г):

$$N'''_T = f(k) \quad (2.74)$$

Таким образом, 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

$$\begin{cases} \Delta N_T = f_1(t_{\Gamma}, \Delta \gamma_{\text{гор}}, \omega_c, t_{\text{ож}}^{\text{выст}}, \Delta P_{\text{дисп}}, t_{\text{горл}}^{\text{зан}}) \\ \Delta k = f_2(t_{\Gamma}, \Delta \gamma_{\text{гор}}, \omega_c, t_{\text{ож}}^{\text{выст}}, \Delta P_{\text{дисп}}, t_{\text{горл}}^{\text{зан}}) ; \\ \Delta t_{\text{пер}} = f_3(t_{\Gamma}, \Delta \gamma_{\text{гор}}, \omega_c, t_{\text{ож}}^{\text{выст}}, \Delta P_{\text{дисп}}, t_{\text{горл}}^{\text{зан}}) \end{cases} \quad (2.75)$$

для станций (сортировочных систем) с сортировочно-отправочным парком

$$\begin{cases} \Delta N_T = f_1(t_{\Gamma}, \Delta \gamma_{\text{гор}}, \omega_{\text{со}}, t_{\text{доп}}^{\text{со}}, \Delta P_{\text{дисп}}, t_{\text{горл}}^{\text{зан}}) \\ \Delta k = f_2(t_{\Gamma}, \Delta \gamma_{\text{гор}}, \omega_{\text{со}}, t_{\text{доп}}^{\text{со}}, \Delta P_{\text{дисп}}, t_{\text{горл}}^{\text{зан}}) , \\ \Delta t_{\text{пер}} = f_3(t_{\Gamma}, \Delta \gamma_{\text{гор}}, \omega_{\text{со}}, t_{\text{доп}}^{\text{со}}, \Delta P_{\text{дисп}}, t_{\text{горл}}^{\text{зан}}) \end{cases} \quad (2.76)$$

где t_{Γ} – горочный технологический интервал, мин;

$\Delta \gamma_{\text{гор}}$ – относительные потери перерабатывающей способности горки из-за переполнения сортировочных путей, ваг/сут (определяются по формуле П1.138 Инструктивных указаний [50]);

ω_c – соотношение вместимости путей и длин формируемых составов для сортировочных путей (определяется по формуле П1.123 Инструктивных указаний [50]);

ω_{co} – соотношение вместимости путей и длин формируемых составов для сортировочно-отправочных путей (определяется по формуле П1.124 Инструктивных указаний [50]);

$t_{ож}^{выст}$ – ожидание выставления сформированного состава в парк отправления, мин (определяется по формуле Инструктивных указаний П1.34 [50]);

$t_{доп}^{со}$ – дополнительное (после окончания накопления) время занятия сортировочно-отправочного пути одним поездом, мин (определяется по формуле П1.135 Инструктивных указаний [50]);

$\Delta\Pi_{дисп}$ – изменение числа диспетчерских путей в подгорочном парке;

$t_{горл}^{зан}$ – время занятия элементов горловины формирования, мин.

В эксплуатационной практике:

1) применяют сочетания трёх рассматриваемых режимов работы в зависимости от оперативной обстановки;

2) требуется применять меры диспетчерского регулирования и (или) интенсификации работы, позволяющие компенсировать потери перерабатывающей способности и времени нахождения вагонов на станции.

Для оценки влияния мер диспетчерского регулирования и случайных процессов при использовании нестационарных заграждающих средств на эксплуатационные возможности станции по выполнению сортировочной работы необходимо разработать гибридную технологию расчетов, которая помимо использования аналитических зависимостей и расчетных формул, подразумевает разработку имитационной модели сортировочной станции и проведение серии имитационных экспериментов.

2.6 Оценка влияния систем автоматизации управления сортировочным процессом на показатели эффективности и безопасности сортировочной работы

В работах специалистов АО «НИИАС» по созданию Комплексной системы автоматизированного управления сортировочным процессом (КСАУ СП) [111 – 114] приводятся основные положения по автоматизации сортировочных процессов. Однако в данных работах не учитывается наличие заграждающих средств на путях сортировочных (сортировочно-отправочных) парков, а задача предотвращения несанкционированного выхода подвижного состава за пределы полезной длины подгорочных путей в полном объеме не решается.

В КСАУ СП ведется непрерывная модель движения отцепов на спускной части горки и на путях подгорочного парка [115]. По данным модели выполняется измерение динамического профиля каждого пути. Информация о профиле путей подгорочного парка используется для расчета скоростей выхода отцепов из парковых тормозных позиций, исходя из необходимости обеспечения допустимой скорости соударения отцепов – не более 5 км/час [115] (рисунок 2.18).

Однако в данной подсистеме отсутствует функционал проверки необходимости установки заграждающих средств на путях подгорочных парков до начала расформирования состава.

Специалистами АО НИИАС получен патент на способ диагностики продольного профиля железнодорожных путей сортировочного парка [116] на основании измерения скорости движения отцепов в контрольных точках с интервалами в 50 м. Данный способ позволяет оценить соответствие продольного профиля подгорочного пути нормативным требованиям в режиме реального времени без необходимости остановки сортировочного процесса и принять решение о необходимости проведения выправки.

В случае выявления несоответствий нормативным требованиям продольного профиля подгорочного пути, необорудованного стационарными

заграждающими средствами, при которых создается риск несанкционированного выхода подвижного состава за пределы полезной длины подгорочного пути, отпуск вагонов на свободный путь должен быть запрещен. В этом случае на свободном пути до начала отпуска очередного состава должна быть сформирована «барьерная группа» вагонов.

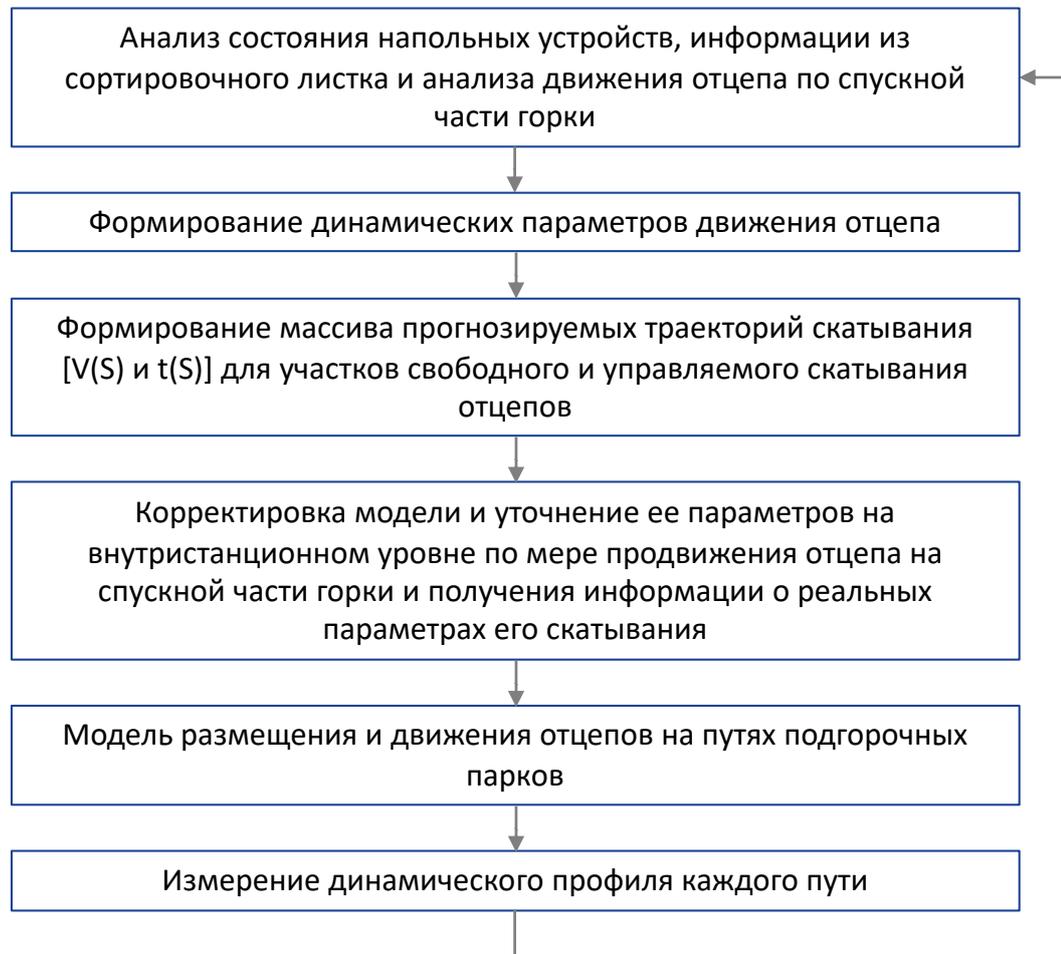


Рисунок 2.18 – Алгоритм формирования динамической модели скатывания отцепа с сортировочной горки в КСАУ СП

В настоящем диссертационном исследовании предлагается следующий перспективный алгоритм (рисунок 2.19) проверки необходимости установки заграждающих средств на свободных подгорочных путях до начала расформирования состава в КСАУ СП.

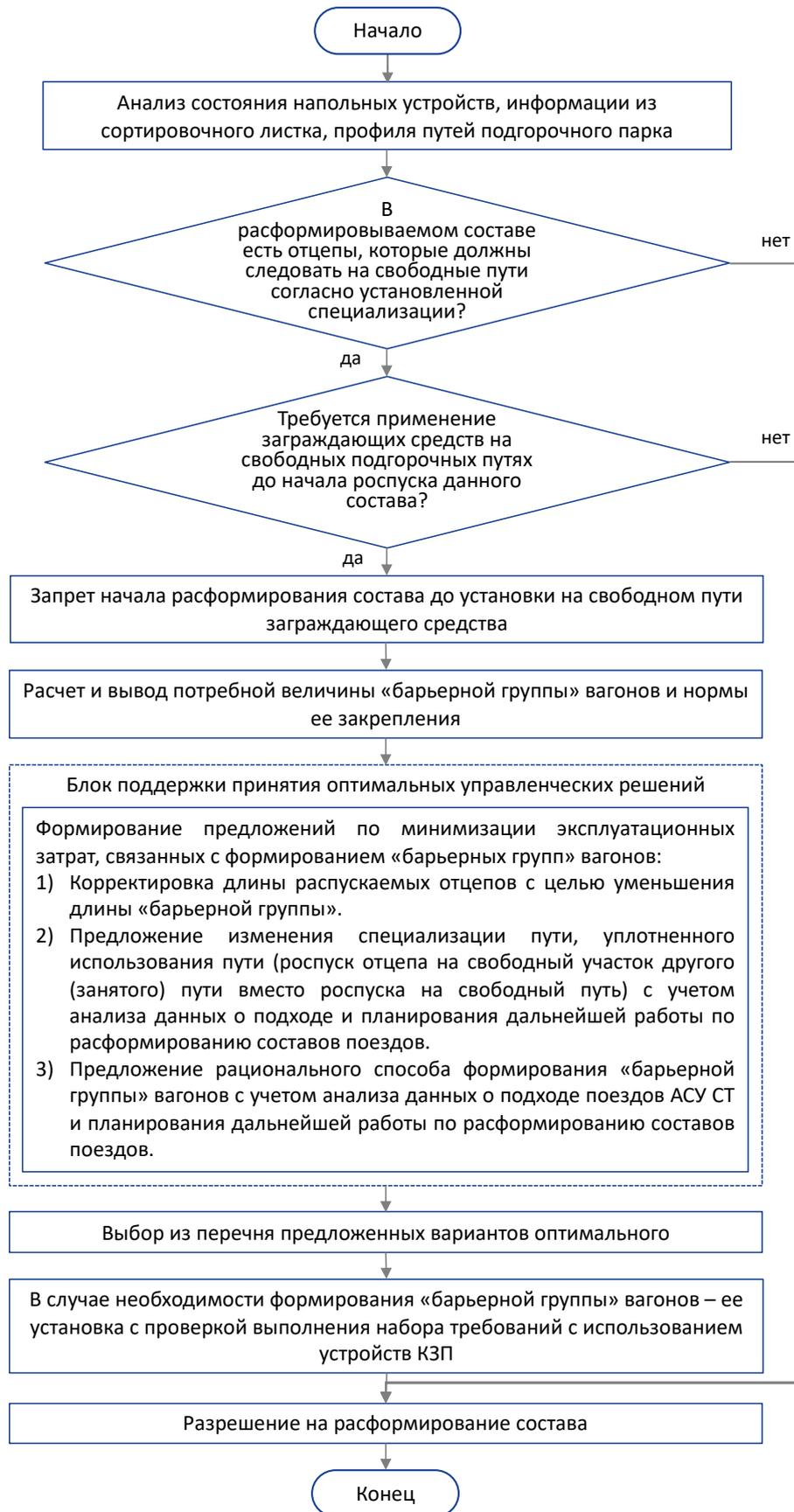


Рисунок 2.19 – Перспективный алгоритм проверки необходимости установки заграждающих средств на свободных подгорочных путях до начала расформирования состава в КСАУ СП

На основе данных из сортировочного листка о длинах и назначениях отцепов, планируемых к роспуску, занятости и продольных профилей подгорочных путей производится проверка необходимости и возможности роспуска отцепов на свободные пути подгорочного парка.

Если по результатам предварительных расчетов будет определено, что роспуск на свободный путь запрещен, то автоматизированная система блокирует возможность начала расформирования состава. С учетом длины отцепа, который должен быть направлен на свободный путь рассчитывается длина в вагонах и норма закрепления «барьерной группы».

Далее с использованием блока поддержки принятия оптимальных управленческих решений формируются предложения по минимизации эксплуатационных затрат, связанных с формированием «барьерных групп» вагонов, такие как:

- уменьшение длины распускаемого на свободный путь отцепа, с целью уменьшения длины и нормы закрепления «барьерной группы», либо отказа от применения «барьерной группы»;
- предложение изменения специализации пути, уплотненного использования пути с учетом данных о подходе поездов и планирования дальнейшей работы по расформированию составов;
- предложение рационального способа формирования «барьерной группы» вагонов с учетом анализа данных о подходе поездов и планирования дальнейшей работы по расформированию составов.

Дежурно-диспетчерским персоналом осуществляется выбор из перечня предложенных вариантов оптимального.

В случае принятия итогового решения о формировании «барьерной группы» вагонов – проверяется фактическая установка «барьерной группы» с использованием устройств контроля заполнения путей (КЗП). После чего дается разрешение на расформирование состава.

Использование данного алгоритма позволит:

- осуществлять роспуск вагонов в автоматическом режиме на пути сортировочного (сортировочно-отправочного) парка, 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» на свободном сортировочном (сортировочно-отправочном) пути с использованием устройств КЗП.

2.7 Выводы по главе 2

1. В настоящем исследовании выполнена систематизация факторов, определяющих параметры применения нестационарных заграждающих средств на путях подгорочных парков, которая представлена на рисунке 2.1. Факторы сгруппированы по их влиянию на основные параметры применения нестационарных заграждающих 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» вагонов и нормы ее закрепления тормозными башмаками.

2. В настоящей работе предложен метод проверки условия остановки отцепа при его наезде на ограждающий тормозной башмак. При использовании данного метода определяется допустимое число вагонов в отцепе, который может быть остановлен за счет удерживающей способности ограждающего тормозного башмака, с учетом: скорости отцепа в момент его наезда на тормозной башмак; максимально допустимой длины участка пути, который отцеп может проследовать «юзом»; основного удельного сопротивления движению; удельного сопротивления от среды и ветра; коэффициента трения в системе «тормозной

башмак – рельс»; ускорения свободного падения с учетом инерции вращающихся частей вагонов.

3. С учетом технологических особенностей операций по формированию «барьерных групп» вагонов разработана методика расчета дополнительных затрат, связанных с формированием «барьерных групп» вагонов, с использованием которой 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 их 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.

Разработанная методика расчета дополнительных затрат времени и маневровых средств на формирование «барьерных групп» вагонов может быть использована для выбора оптимального способа формирования «барьерных групп» вагонов на всех горочных станциях, так как позволяет учесть особенности технического оснащения и технологии сортировочной работы конкретных станций.

Данная методика может применяться для оценки целесообразности использования «барьерных групп» вагонов в качестве заграждающих средств и сравнения этой технологии с альтернативными способами предотвращения выхода подвижного состава за пределы полезной длины путей подгорочных парков.

4. При определении максимально допустимого количества вагонов в отцепе при роспуске на сортировочных горках необходимо дополнительно учитывать возможность остановки отцепа при его движении по свободному сортировочному (сортировочно-отправочному) пути до контрольной точки (места установки первого со стороны горки ограждающего тормозного башмака), возможность остановки отцепа при его наезде на ограждающий тормозной башмак при заданной максимально допустимой длине движения отцепа «юзом», возможность остановки отцепа при соединении его с «барьерной группой» вагонов или при взаимодействии со стационарным ограждающим средством. Это позволит уточнить максимальную длину распускаемых отцепов, исходя из удерживающей способности ограждающих средств, что гарантированно повысит безопасность сортировочного процесса.

5. При расчете перерабатывающей способности сортировочных устройств и определении эксплуатационных возможностей станций по выполнению работы по расформированию-формированию составов необходимо учитывать такие факторы как: увеличение времени занятия подгорочных путей накопленными составами; уменьшение числа диспетчерских путей в подгорочном парке, а также их синергетическое действие. Для оценки влияния мер диспетчерского регулирования и случайных процессов при использовании нестационарных ограждающих средств на эксплуатационные возможности станции по выполнению сортировочной работы необходимо разработать гибридную технологию расчетов, которая помимо использования аналитических зависимостей и расчетных формул, предусматривает разработку имитационной модели сортировочной станции, проведение серии имитационных экспериментов, анализ и интерпретацию полученных результатов.

6. Предложен перспективный алгоритм проверки необходимости установки ограждающих средств на свободных подгорочных путях до начала расформирования состава в КСАУ СП.

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 фактической установки «барьерной группы» на свободном подгорочном пути с использованием устройств КЗП.

3 ГИБРИДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОРТИРОВОЧНОЙ РАБОТЫ

3.1 Основные положения

С целью оценки влияния использования заграждающих средств на путях подгорочных парков на эксплуатационные возможности станций по выполнению сортировочной работы было принято решение о разработке гибридной технологии аналитических и имитационных расчетов (рисунок 3.1), которая предусматривает:

- 1) предварительный аналитический расчет параметров использования «барьерных групп» вагонов с получением на выходе наборов исходных данных для имитационного моделирования;
- 2) интеграцию в имитационную модель сортировочной станции вариантообразования способов формирования «барьерных групп» вагонов;
- 3) проведение имитационных расчетов с определением показателей;
- 4) анализ и интерпретацию полученных результатов.

Предварительный аналитический расчет параметров использования «барьерных групп» вагонов включает в себя:

- определение необходимости формирования «барьерных групп» вагонов на свободных путях подгорочного парка;
- расчет потребного количества вагонов в «барьерных группах» и потребного количества тормозных башмаков для их закрепления;
- расчет затрат времени на формирование «барьерных групп» вагонов разными способами для каждого пути подгорочного парка.

По результатам имитационных расчетов выполняется анализ «узких мест» структуры (то есть, элементов, вызывающих наибольшие задержки транспортных потоков) или «узких мест» технологии (то есть, операций, вызывающих наибольшие задержки транспортных потоков) (рисунок 3.2).



Рисунок 3.1 – Гибридная технология аналитических и имитационных расчетов

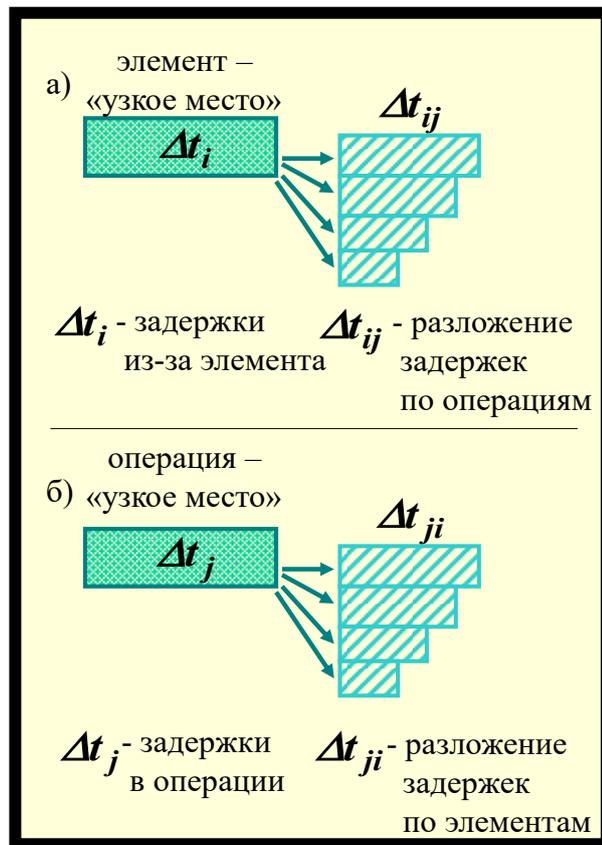


Рисунок 3.2 – Два способа выбора элементов с наибольшими функциональными потерями [56]

Производится оценка (рисунок 3.3), являются ли операции и элементы горочного комплекса «узкими местами» или нет. Если нет, то «узкими местами» являются элементы и операции на предшествующих этапах выполнения технологического процесса или на последующих? Если «узкие места» возникают на «послегорочных» этапах обработки поездопотока, то экономия, полученная в результате применения оптимального способа формирования «барьерной группы», не поглощается за счет задержек, возникающих в этих «узких местах»?

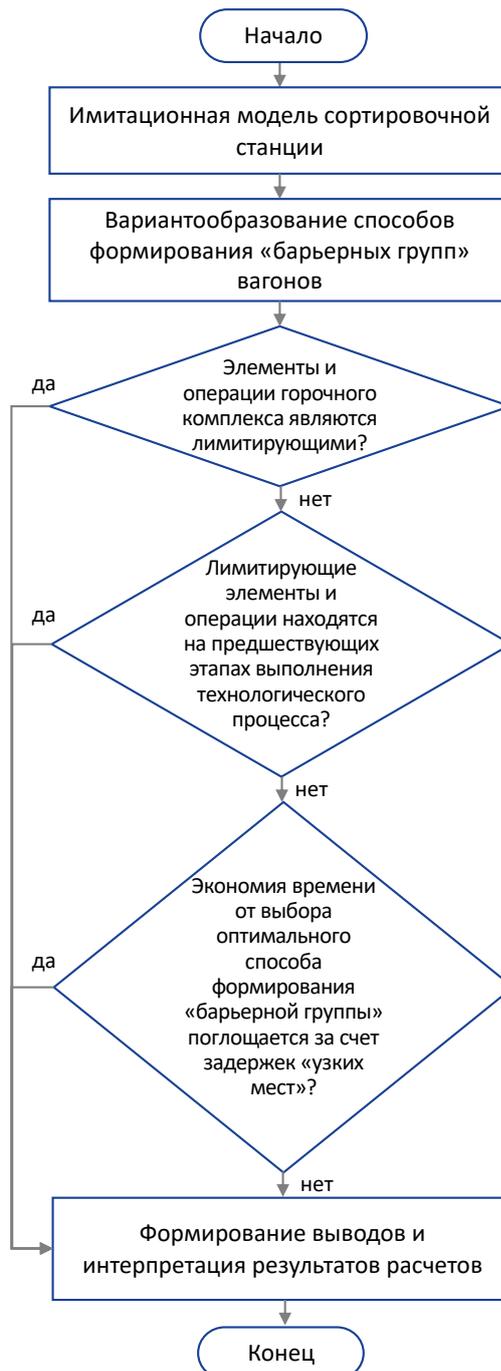


Рисунок 3.3 – Алгоритм оценки «узких мест» структуры и технологии

Производить оценку эксплуатационных возможностей станции по выполнению сортировочной работы в условиях применения нестационарных заграждающих средств следует путем анализа основных показателей работы имитационной модели 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.

Помимо анализа основных показателей и оценки «узких мест» необходимо производить оценку применяемой технологии использования нестационарных заграждающих средств. Для этого необходимо определить влияние применяемой 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.

3.2 Отображение приемов и методов диспетчерского управления при имитационном моделировании сортировочного процесса

К методам диспетчерского управления при выполнении сортировочной работы относятся [117]:

- применение скользящей специализации сортировочных путей;

– приемы уплотненного использования сортировочных путей, такие как:

- своевременная подготовка подгорочных путей к роспуску очередных составов путем ликвидации «окон» между отцепами осаживанием и/или подтягиванием вагонов в сторону вытяжных путей;
- высвобождение путей для мощных назначений направлением на отсевные пути начальных групп вагонов маломощных назначений с последующей повторной сортировкой их через горку или перестановкой через вытяжки;
- планирование поочередного формирования и выставления составов более мощных назначений;
- использование коротких путей для накопления составов с подтягиванием (осаживанием) части вагонов «за проход» на стрелочные зоны вытяжных путей выходной горловины сортировочного парка;
- подтягивание (осаживание) накопленных составов «за проход» на короткое время с целью освобождения концов сортировочных путей для направления начальных групп вагонов из расформировываемых составов.

К приемам диспетчерского управления относится и организация накопления двухгруппных поездов [117]. Во время роспуска составов с горки вагоны хвостовой группы направляются на любой свободный путь пучка или на свободный конец пути, где сформированный состав готов к перестановке в парк отправления. Затем на этот же путь можно вести роспуск вагонов любого другого назначения, определяемого оперативной обстановкой. Перестановка вагонов хвостовой группы на путь накопления производится локомотивом вытяжного пути во время перерывов в его работе. При этом не требуется постоянного выделения второго пути накопления, а вторичная переработка вагонов минимальна.

Отображение диспетчерского управления при имитационном моделировании сортировочного процесса, как правило, требует доработки имитационной системы и изменения ее программного функционала.

В научной работе [118] Шавзиса С.С. решается проблема моделирования динамического выбора специализации сортировочных путей в системе имитационного моделирования железнодорожных станций ИСТРА.

Для оценки влияния диспетчерского управления на процесс формирования «барьерных групп» вагонов в настоящем диссертационном исследовании предлагается интегрировать в имитационную модель сортировочной станции возможность выполнения маневровой работы по формированию «барьерных групп» вагонов тремя разными способами (см. п.2.3 диссертации).

В процессе роспуска ведется просмотр групп вагонов каждого назначения, содержащихся в расформировываемом составе. В случае если путь, на который требуется направить группу вагонов свободен, происходит выбор способа формирования «барьерной группы» вагонов по алгоритму (рисунок 3.4), воспроизводящему следующую последовательность управляющих операций.

Шаг 1. Проверка возможности роспуска на свободный путь группы вагонов данного назначения (сравнение длины группы вагонов с максимально допустимой длиной отцепа, предварительно рассчитанной и введенной в имитационную модель). Если роспуск группы вагонов на свободный путь, закрепленный за данным назначением возможен, то группа направляется на данный свободный путь.

Шаг 2. Проверка возможности роспуска данной группы вагонов на свободный путь другого назначения (сравнение длины группы вагонов с максимально допустимой длиной отцепа для данного пути, предварительно рассчитанной и введенной в имитационную модель) с применением скользящей специализации сортировочных путей [118].

Шаг 3. Проверка наличия готовых к окончанию формирования составов других назначений на путях сортировочного парка и наличия свободного места на данных путях для направления на него данной группы вагонов с дальнейшим изменением специализации пути (в случае, если на данном пути еще не выполняется маневровая работа по окончанию формирования).

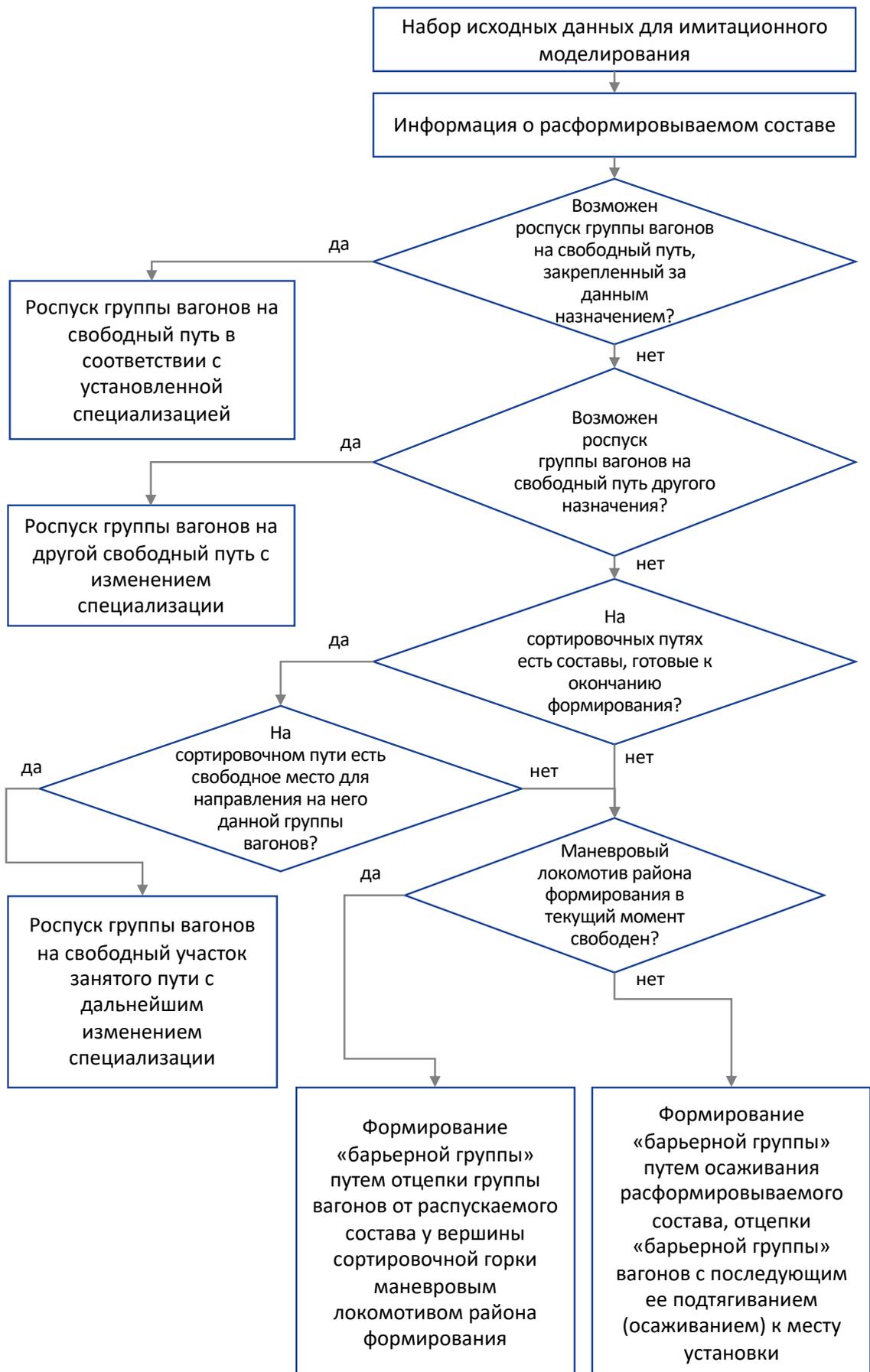


Рисунок 3.4 – Процедура выбора способа формирования «барьерной группы» вагонов

Шаг 4. Если на сортировочном (сортировочно-отправочном) пути состав накоплен до установленной нормы и готов к окончанию формирования, а также на данном пути есть свободное место для группы вагонов, которая находится в парке приема или в уже расформировываемом составе, длиной не менее требуемой «барьерной группы», то окончание формирования начнется после поступления на путь данной группы вагонов. После перестановки/отправления состава установленной нормы, на данном пути остается «барьерная группа» вагонов.

Шаг 5. Если маневровый локомотив района формирования не занят выполнением других операций, то «барьерная группа» вагонов будет формироваться путем отцепки им группы вагонов от распускаемого состава у вершины сортировочной горки.

Шаг 6. Если маневровый локомотив района формирования занят выполнением других операций, то формирование «барьерной группы» вагонов будет осуществляться путем осаживания расформировываемого состава горочным локомотивом, отцепки «барьерной группы» вагонов с последующим ее подтягиванием (осаживанием) к месту установки.

3.3 Имитационное моделирование работы станций с различными параметрами формирования «барьерных групп» вагонов (система ИСТРА САПР)

Требования к имитационной системе, используемой для проведения исследований железнодорожных станций, сформулированы в Методике [119]. Из них наиболее важными для рассматриваемых в настоящем диссертационном исследовании задач являются следующие:

1) Имитационная система должна позволять строить модели железнодорожных станций, адекватно отображающие:

- структуру (схему путевого развития со всеми технологическими устройствами);
 - технологию работы (технологические операции и их взаимосвязи);
 - взаимодействие случайных процессов;
 - диспетчерское управление;
- 2) Имитационная система должна иметь достаточно полный набор процедур, обеспечивающих построение адаптивной технологии.

Для постановки серии имитационных экспериментов с использованием описанного в п. 3.1 алгоритма имитационных расчетов применена имитационная модель сортировочной станции Красноярск-Восточный.

Выполнена доработка технологического процесса работы станции Красноярск-Восточный в системе имитационного моделирования ИСТРА-САПР. В дереве технологического процесса реализовано вариантыобразование способов формирования «барьерных групп» вагонов (рисунок 3.5).

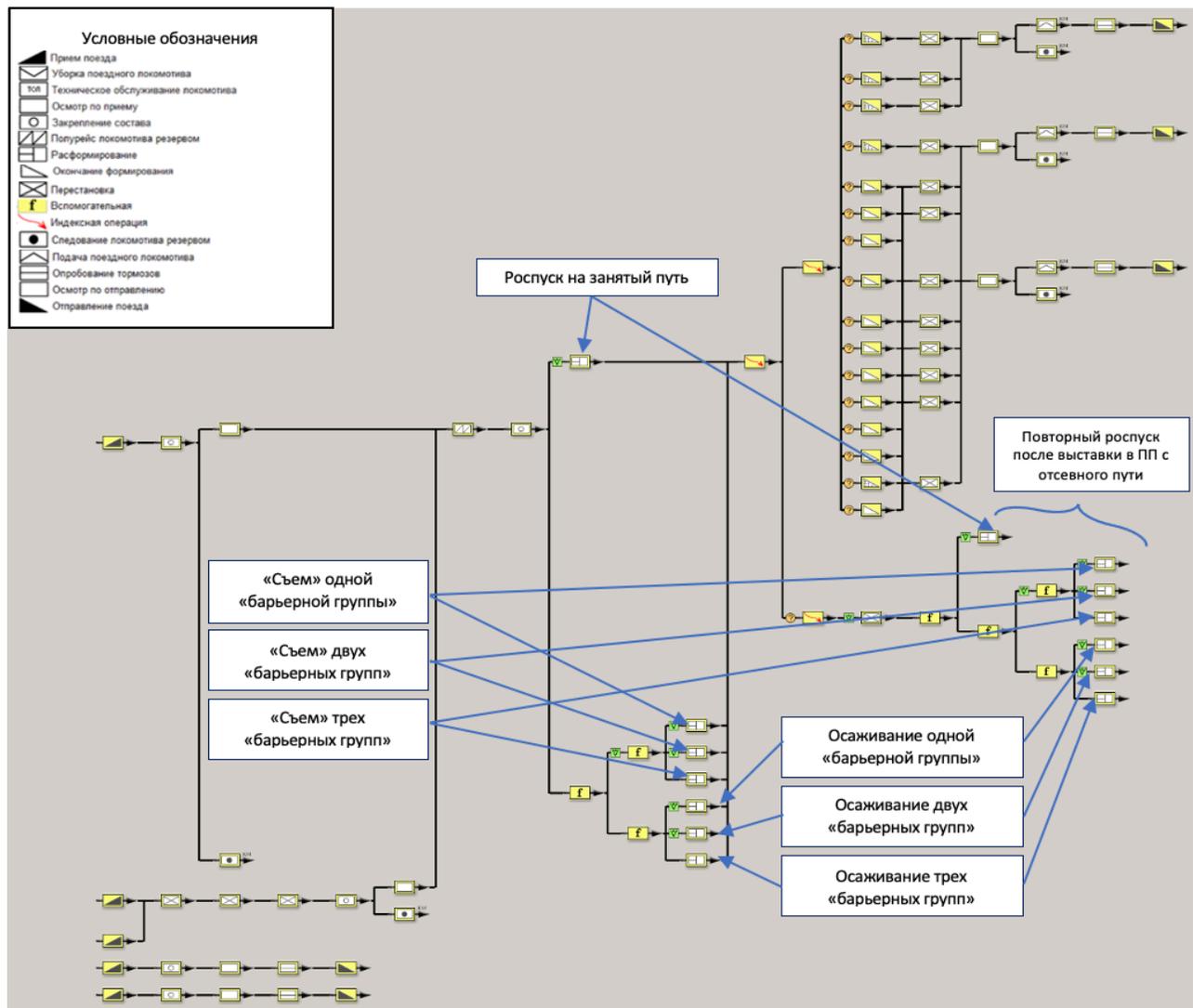


Рисунок 3.5 – Дерево технологического процесса работы сортировочной станции с реализацией вариантообразования способов формирования «барьерных групп» вагонов

3.4 Постановка серии имитационных экспериментов, интерпретация и анализ результатов модельных расчетов

С использованием имитационной модели сортировочной станции Красноярск-Восточный проведен ряд экспериментов для расчета зависимостей показателей работы горочного комплекса от технологии формирования «барьерных групп» вагонов.

Проведена серия имитационных экспериментов при разных значениях требуемого количества вагонов в «барьерных группах».

Период имитационного моделирования составляет 5 суток.

На рисунках 3.6 – 3.11 приведено графическое представление задержек транспортных потоков и занятия путей парка приема и сортировочного парка: из-за загрузки элементов (рисунки 3.6, 3.7), на элементах (рисунки 3.8, 3.9), и фактическая занятость элементов (рисунки 3.10, 3.11).

На рисунках 3.6 – 3.9 показано, что при появлении необходимости формирования «барьерных групп» вагонов значительно увеличиваются задержки транспортных потоков из-за загрузки путей парка приема и задержки транспортных потоков на путях парка приема. Обусловлено это увеличением времени расформирования составов, связанным с необходимостью выполнения дополнительной маневровой работы по формированию «барьерных групп». Также с этим фактором связано увеличение времени фактического занятия путей в сортировочном парке и парке приема (рисунки 3.10, 3.11).

На рисунках 3.12, 3.13 представлены «узкие места» на схеме технологического процесса. Как показано на данных рисунках, лимитирующими являются операции расформирования составов.

ст. Красноярск-Восточный

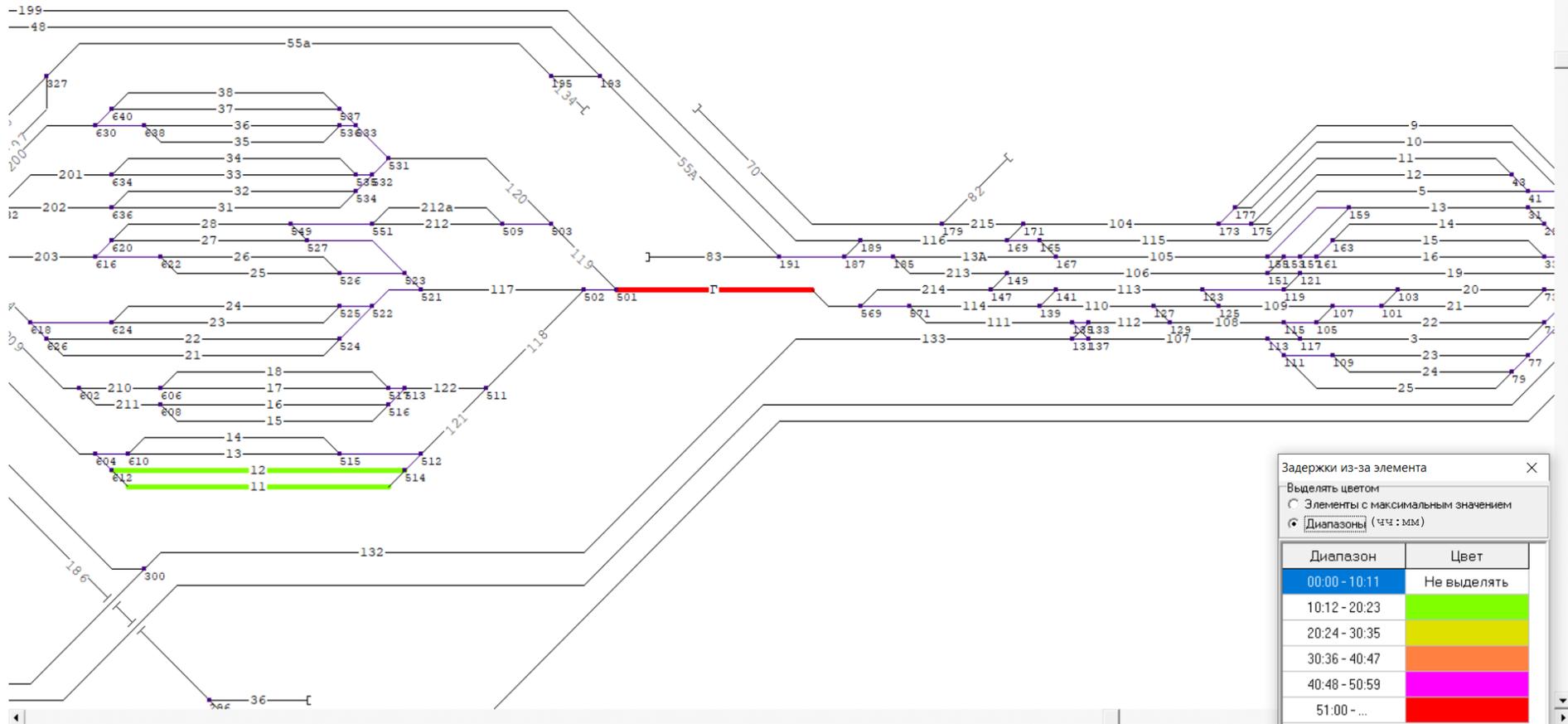


Рисунок 3.6 – Задержки транспортных потоков, возникающие из-за загрузки элементов (не требуется формирование «барьерной группы» вагонов)

ст. Красноярск-Восточный

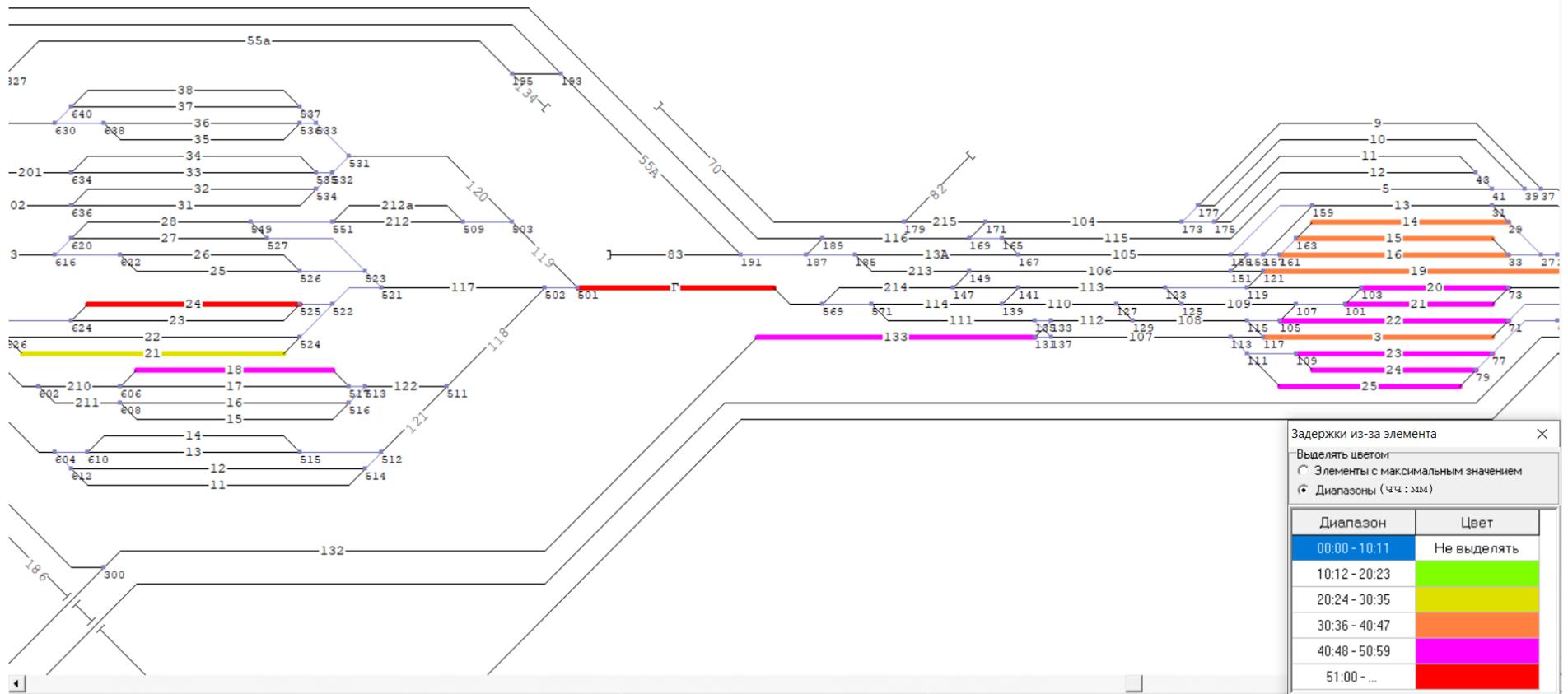


Рисунок 3.7 – Задержки транспортных потоков, возникающие из-за загрузки элементов (требуется формирование «барьерной группы» длиной 10 вагонов)

ст. Красноярск-Восточный

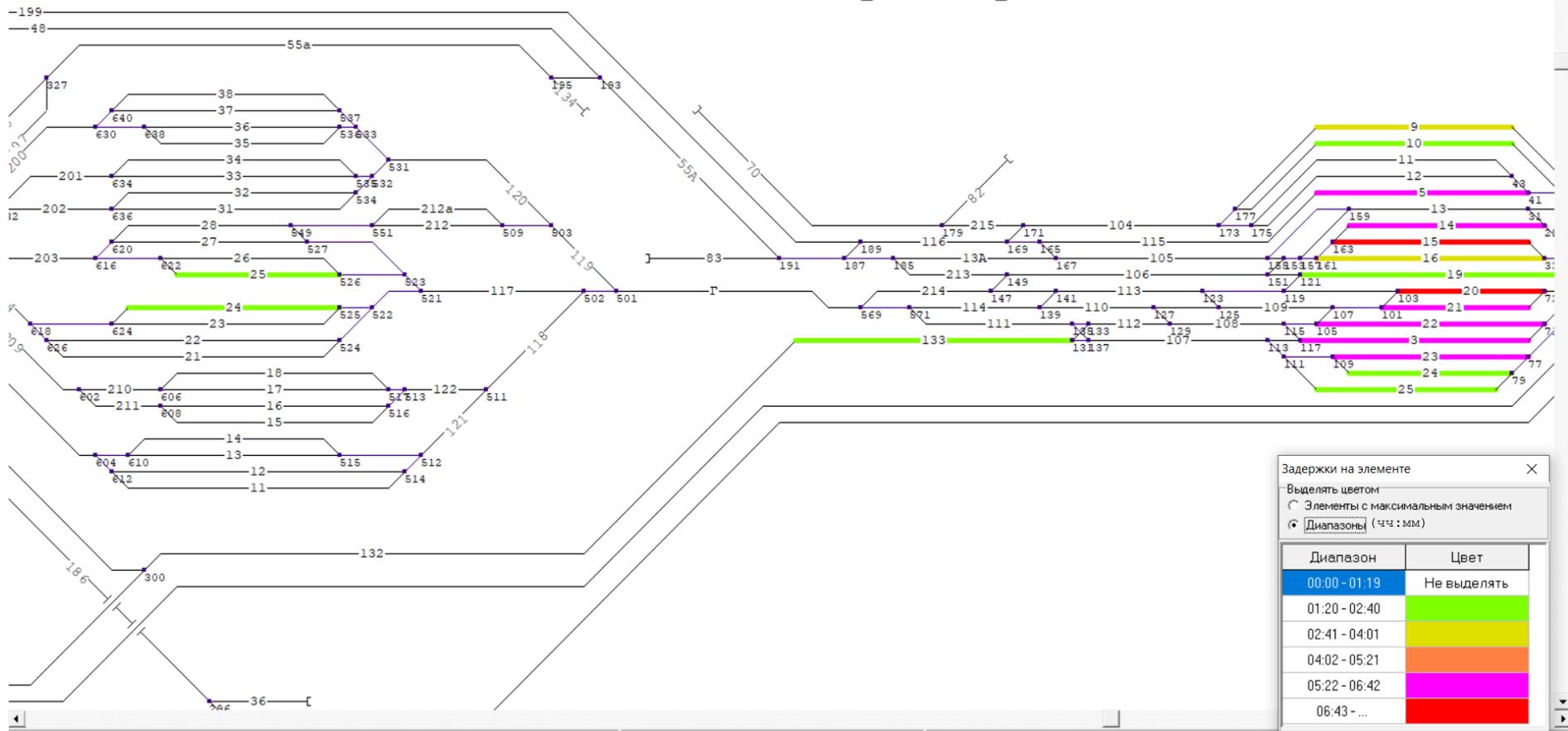


Рисунок 3.8 – Среднесуточные задержки транспортных потоков, возникающие на элементах (не требуется формирование «барьерной группы» вагонов)

ст. Красноярск-Восточный

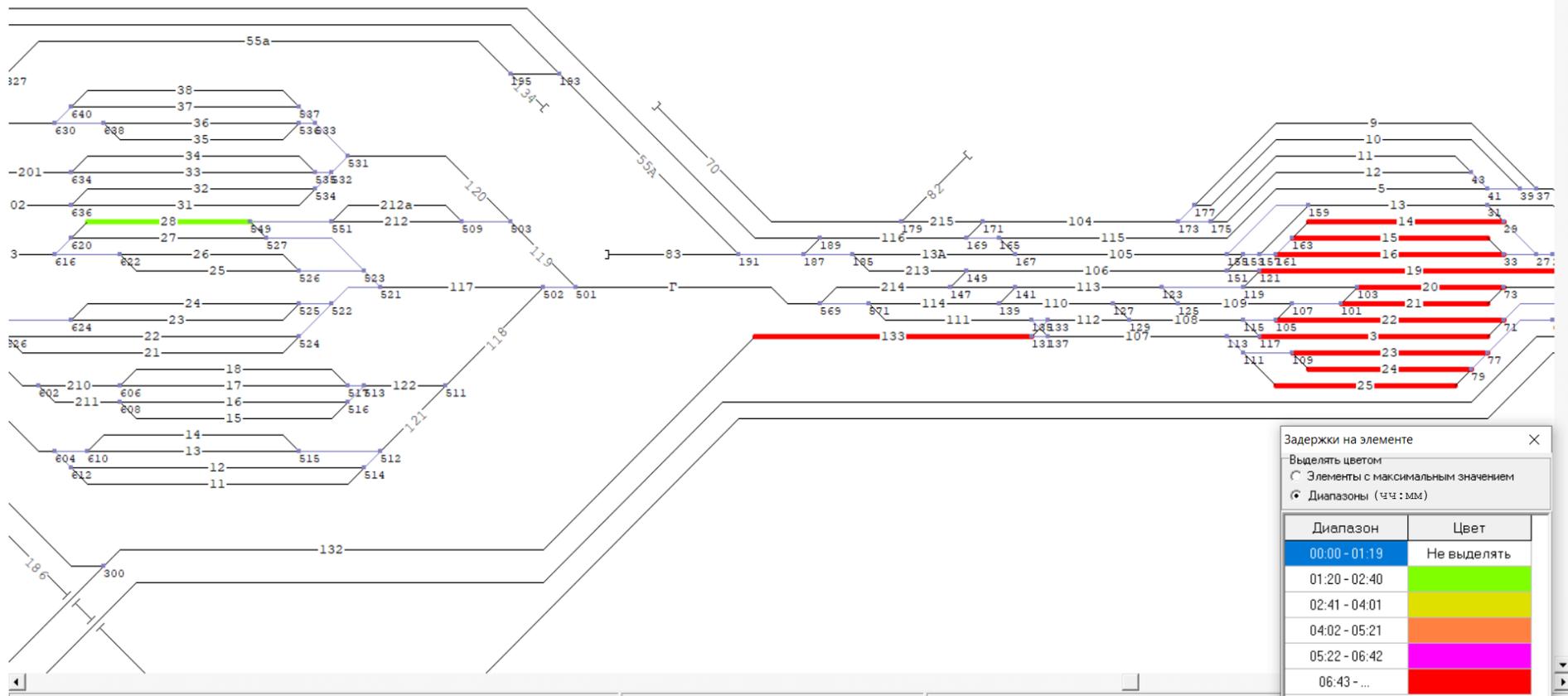


Рисунок 3.9 – Среднесуточные задержки транспортных потоков, возникающие на элементах (требуется формирование «барьерной группы» длиной 10 вагонов)

ст. Красноярск-Восточный

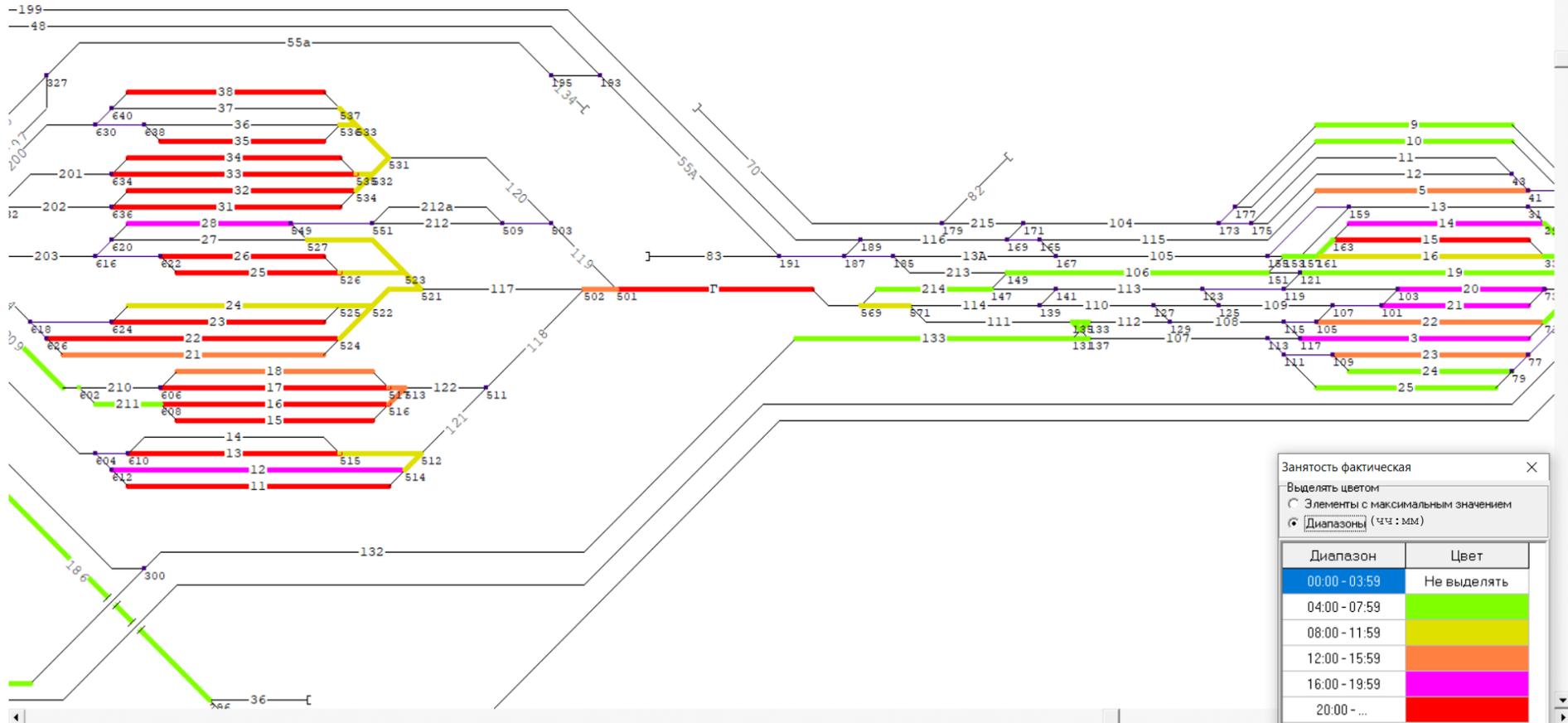


Рисунок 3.10 – Среднесуточная фактическая занятость элементов (не требуется формирование «барьерной группы» вагонов)

ст. Красноярск-Восточный

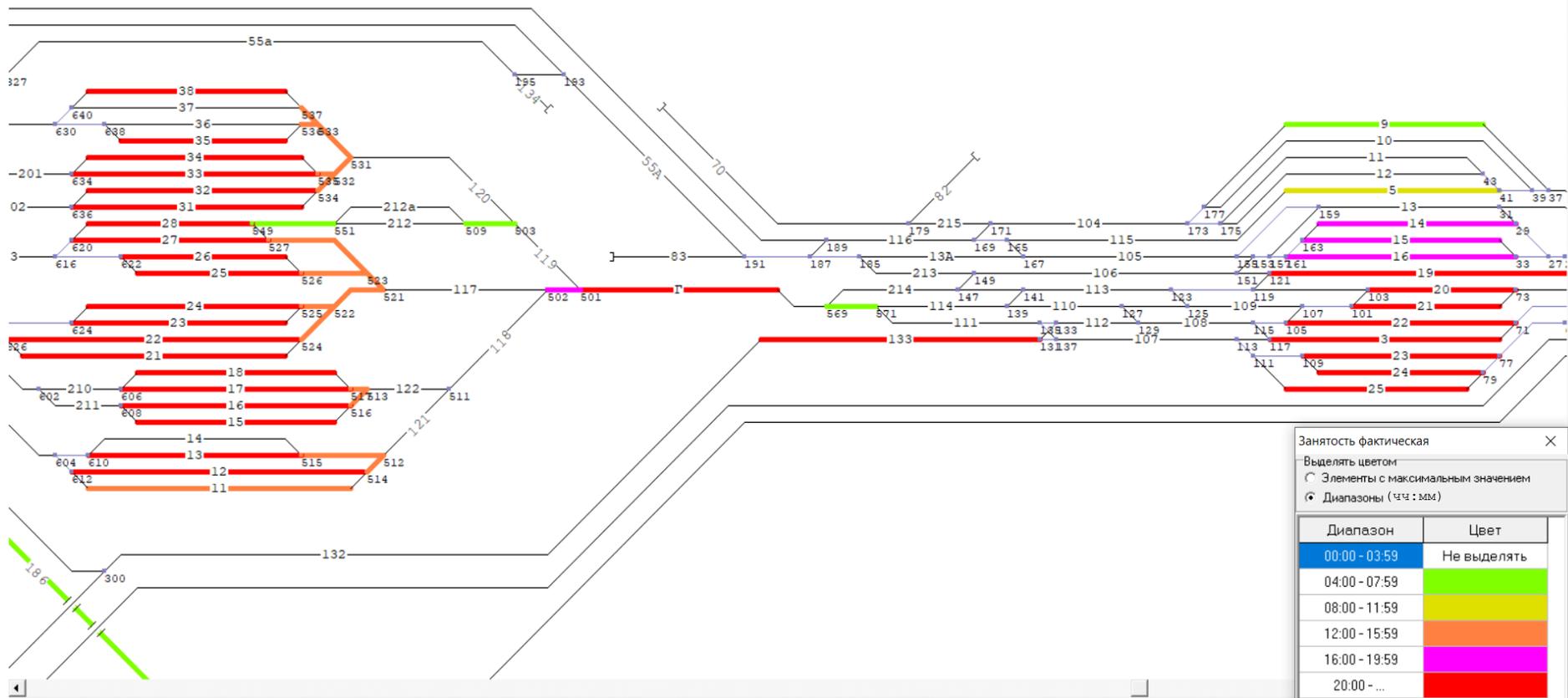


Рисунок 3.11 – Среднесуточная фактическая занятость элементов (требуется формирование «барьерной группы» длиной 10 вагонов)

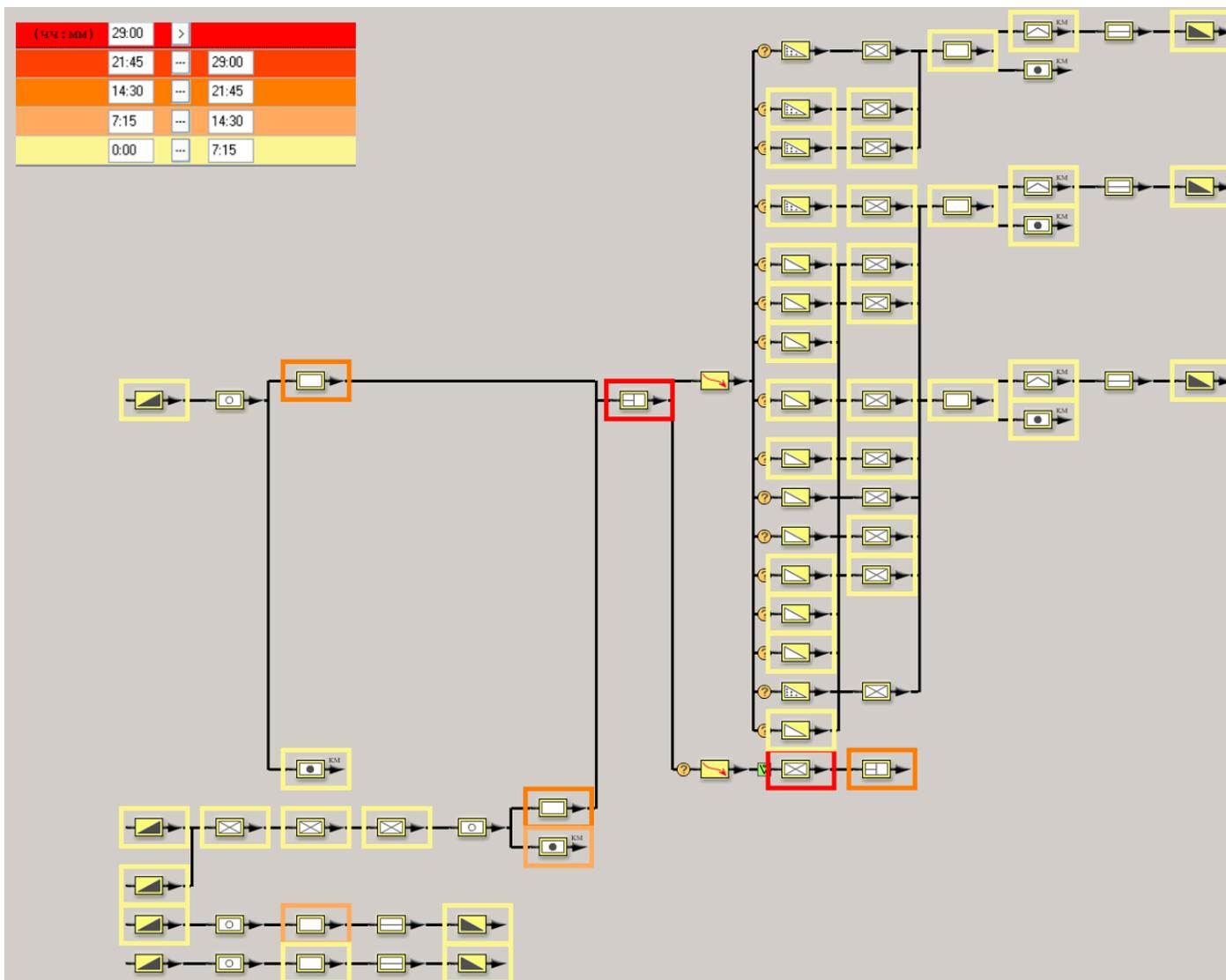


Рисунок 3.12 – «Узкие места» на схеме технологического процесса (не требуется формирование «барьерной группы» вагонов, без вариантообразования способов формирования «барьерных групп»)

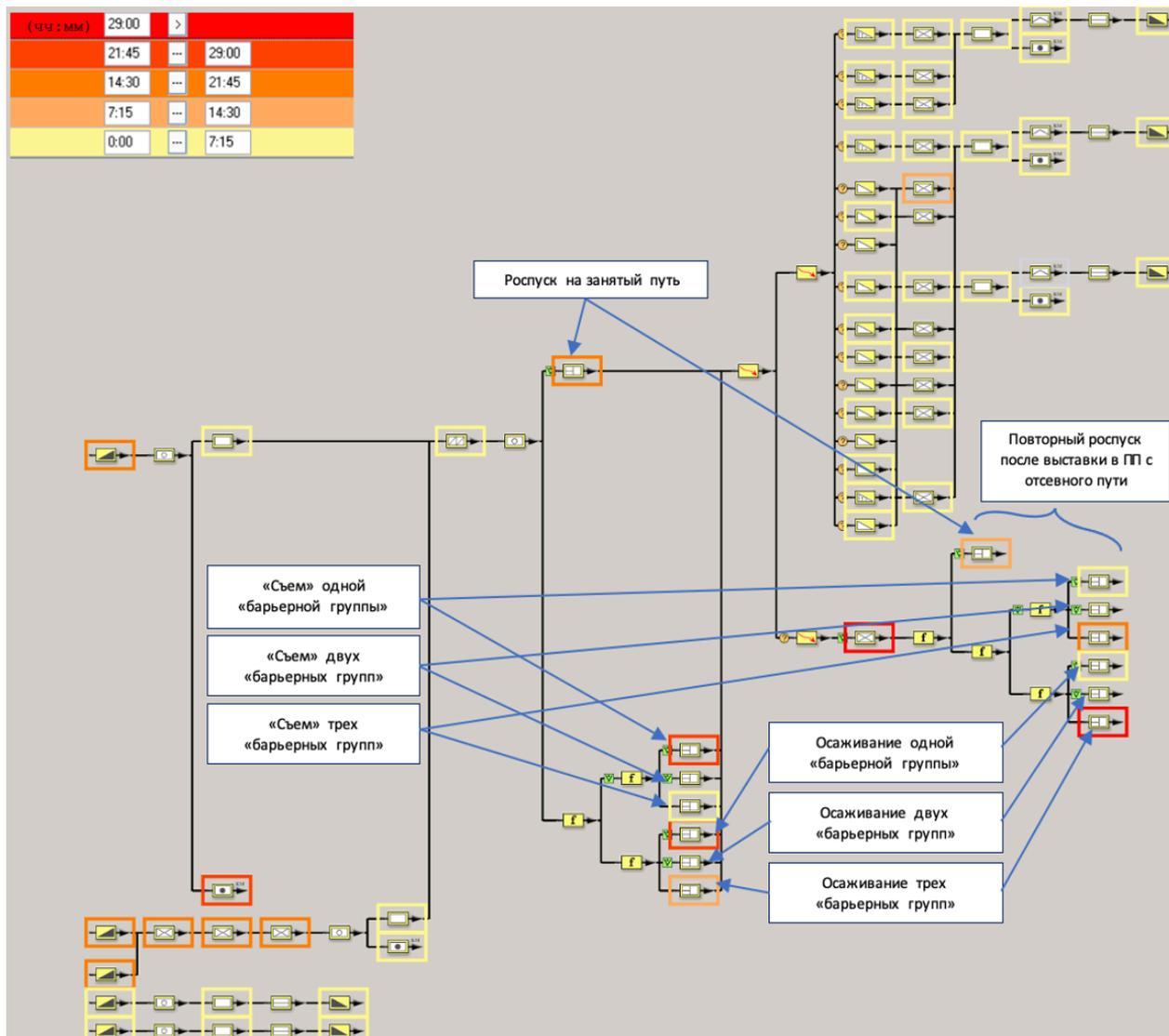


Рисунок 3.13 – «Узкие места» на схеме технологического процесса (требуется формирование «барьерной группы» длиной 10 вагонов, с вариантообразованием способов формирования «барьерных групп»)

По данным протокола работы имитационной модели сортировочной станции выполнен анализ количества операций по формированию «барьерных групп» вагонов разными способами (рисунок 3.14).

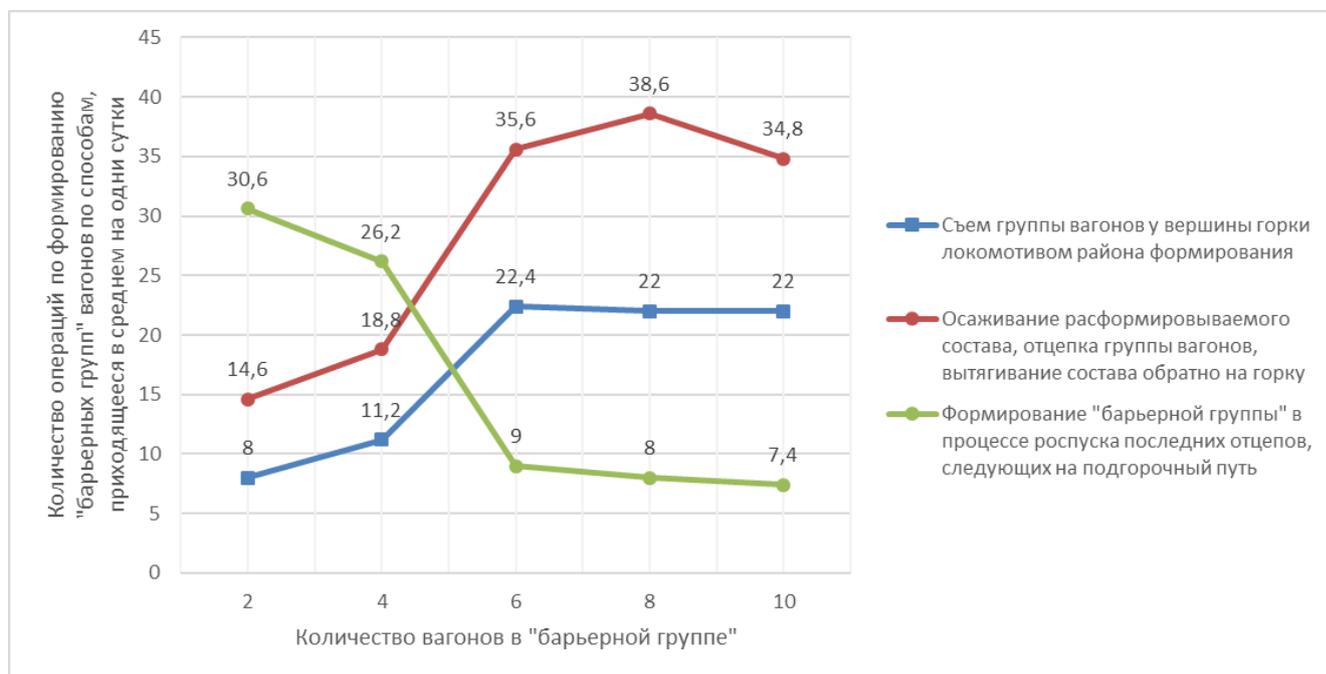


Рисунок 3.14 – Зависимость количества операций по формированию «барьерных групп» вагонов разными способами, приходящихся в среднем на одни сутки, от количества вагонов в «барьерных группах»

Как показано на рисунке 3.14, при увеличении числа вагонов в «барьерных группах» уменьшается количество операций по формированию «барьерных групп» в процессе роспуска последних отцепов. Соответственно увеличивается число операций по формированию методом «съема» «барьерной группы» вагонов у вершины горки локомотивом района формирования и методом осаживания расформировываемого состава, отцепки «барьерной группы» и вытягивания состава обратно на горку. Обусловлено это увеличением потребного количества вагонов в отцепе(-ах), которые необходимо направить на подгорочный путь, чтобы сформировать «барьерную группу», и связанным с этим увеличением времени ожидания поступления данных отцепов на сортировочные пути. Так как с увеличением числа вагонов в «барьерных группах» потребное число операций для их формирования также увеличивается (требуется распустить/ «снять»/

осадить несколько групп вагонов, чтобы сформировать «барьерную группу» требуемой длины), то увеличивается общее количество операций по формированию «барьерных групп» вагонов (рисунок 3.14).

Различная трудоемкость и ресурсоемкость разных способов формирования «барьерных групп», применяемых в зависимости от частоты возникновения разных оперативных ситуаций, нелинейно влияет на результирующие показатели.

На основе результатов имитационного моделирования получены следующие зависимости:

– зависимость загрузки горочных локомотивов от количества вагонов в «барьерной группе» в среднем за сутки $\psi_{\text{ман}}^{\text{гор}} = f(n_{\text{ваг}}^{\text{БГ}})$ (рисунок 3.15);

– зависимость загрузки локомотивов района формирования от количества вагонов в «барьерной группе» в среднем за сутки $\psi_{\text{ман}} = f(n_{\text{ваг}}^{\text{БГ}})$ (рисунок 3.16);

– зависимость загрузки сортировочной горки от количества вагонов в «барьерной группе» в среднем за сутки $\psi_{\text{гор}} = f(n_{\text{ваг}}^{\text{БГ}})$ (рисунок 3.17);

– зависимость увеличения среднего времени занятия путей парка приема ожиданием расформирования, связанное с необходимостью формирования «барьерных групп», от количества вагонов в «барьерной группе» в среднем за сутки $\Delta t_{\text{ож.расф.}}^{\text{пп}} = f(n_{\text{ваг}}^{\text{БГ}})$ (рисунок 3.18);

– зависимость среднего времени занятия подгорочных путей ожиданием окончания формирования от количества вагонов в «барьерной группе» в среднем за сутки $t_{\text{ож.о.ф.}}^{\text{сорт}} = f(n_{\text{ваг}}^{\text{БГ}})$ (рисунок 3.19).

При увеличении количества вагонов в «барьерных группах» увеличивается загрузка сортировочной горки (рисунок 3.17) и среднее время занятия путей парка приема ожиданием расформирования (рисунок 3.18).

Увеличение количества вагонов в «барьерных группах» на сортировочной станции Красноярск-Восточный оказывает незначительное влияние на загрузку локомотивов района формирования (рисунок 3.16) и среднее время занятия подгорочных путей ожиданием окончания формирования (рисунок 3.19).

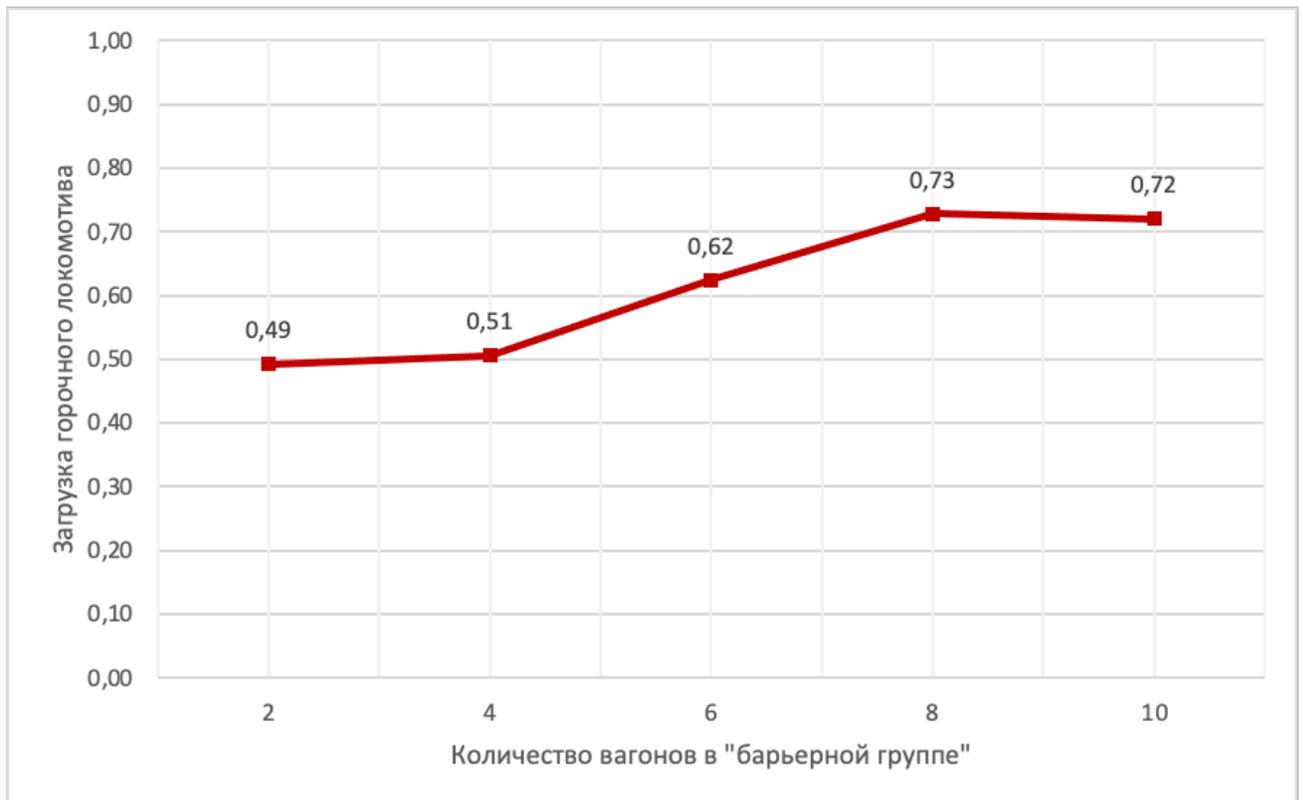


Рисунок 3.15 – Зависимость загрузки горочных локомотивов от количества вагонов в «барьерной группе» в среднем за сутки

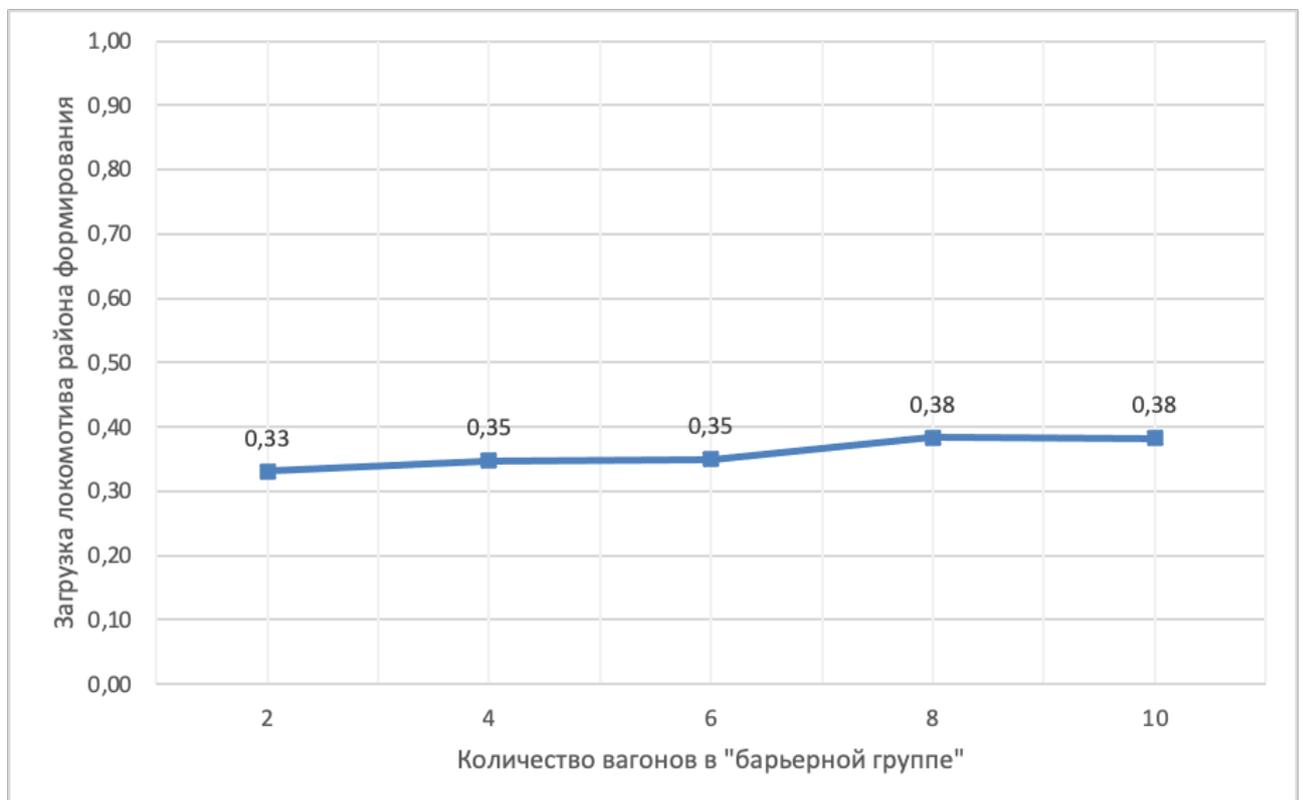


Рисунок 3.16 – Зависимость загрузки локомотивов района формирования от количества вагонов в «барьерной группе» в среднем за сутки



Рисунок 3.17 – Зависимость загрузки сортировочной горки от количества вагонов в «барьерной группе» в среднем за сутки

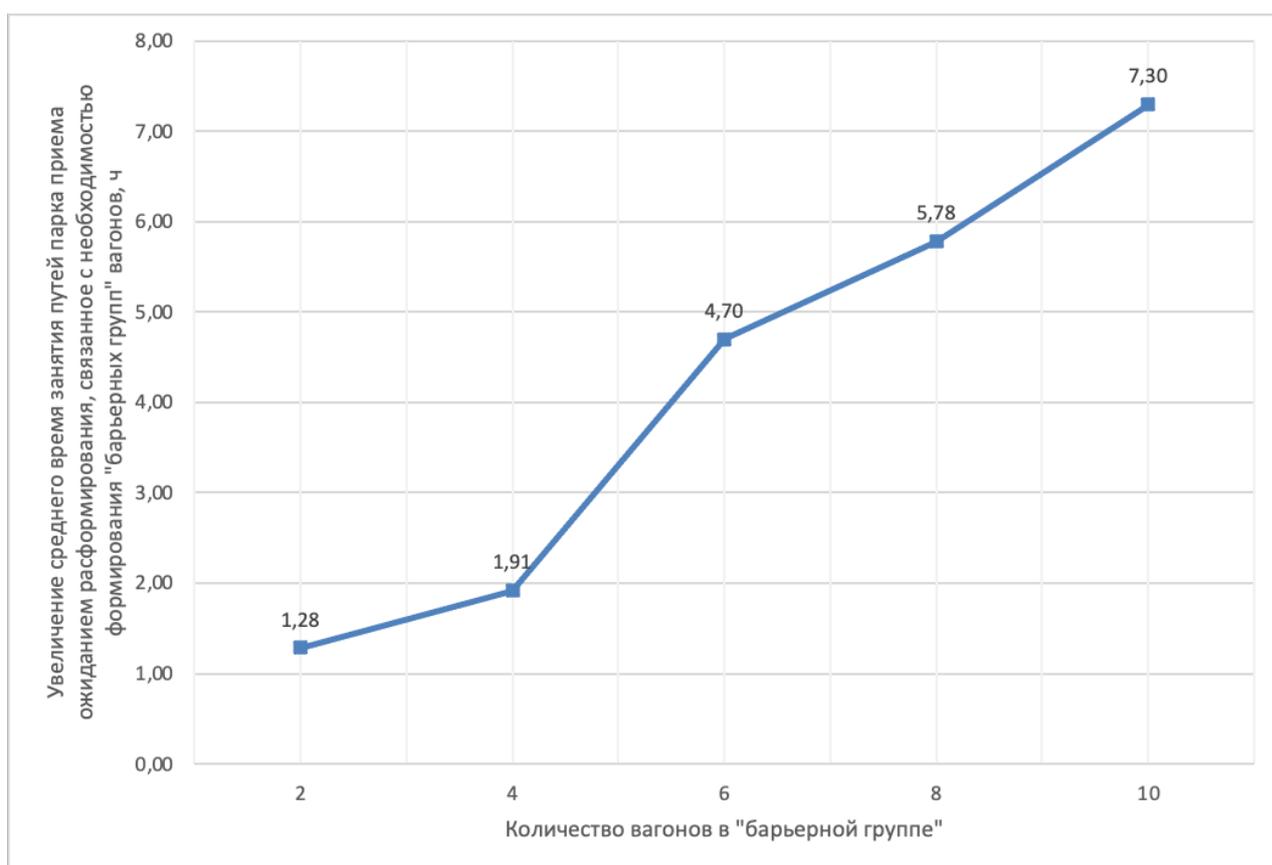


Рисунок 3.18 – Зависимость увеличения среднего времени занятия путей парка приема ожиданием расформирования, связанного с необходимостью формирования «барьерных групп» вагонов, от количества вагонов в «барьерной группе» в среднем за сутки

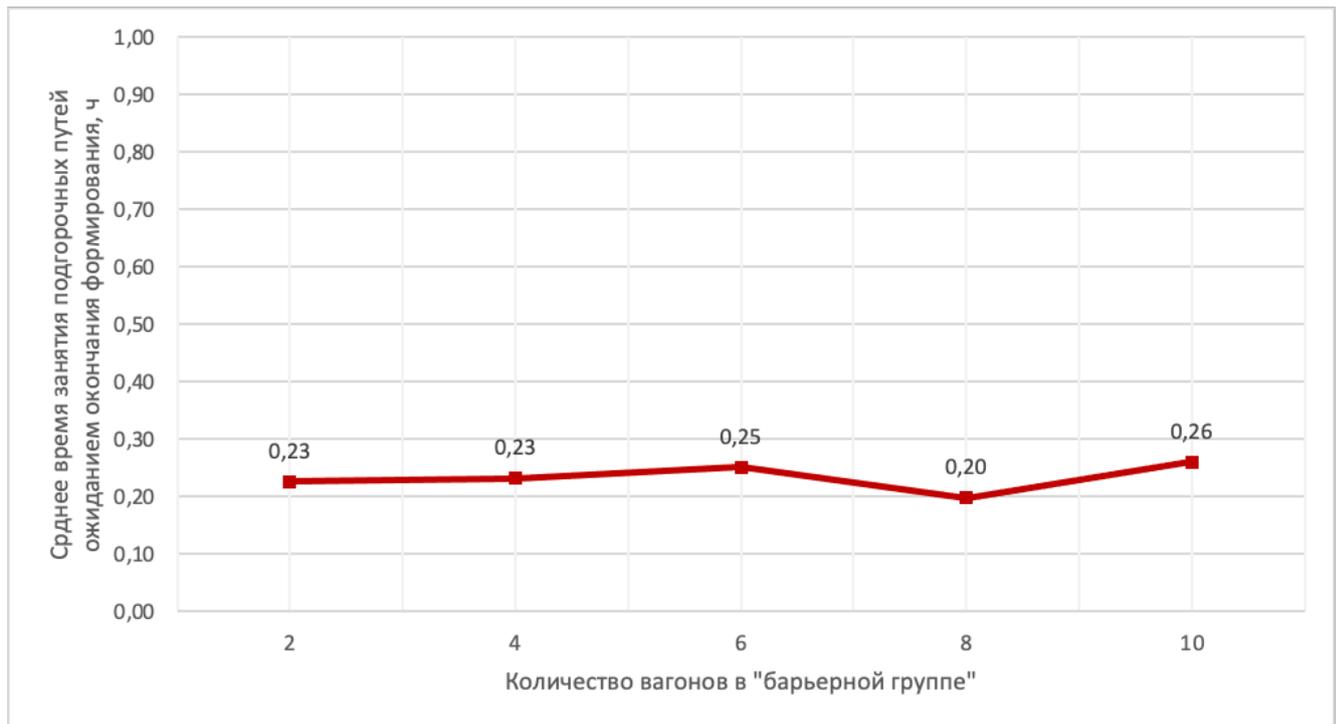


Рисунок 3.19 – Зависимость среднего времени занятия подгорочных путей ожиданием окончания формирования от количества вагонов в «барьерной группе» в среднем за сутки

Также увеличивается и загрузка горочного локомотива (рисунок 3.15). Незначительное снижение загрузки горочного локомотива при количестве вагонов в «барьерных группах», равном 10, обусловлено снижением числа операций по формированию «барьерных групп» вагонов методом осаживания расформировываемого состава (рисунок 3.14).

Представленные результаты имитационных расчетов показывают нелинейный характер влияния условий и технологии применения загрязжающих средств на показатели и эксплуатационные возможности станций по выполнению сортировочной работы. Предложенную технологию расчетов с применением имитационного моделирования следует использовать для обоснования эффективных технико-технологических параметров сортировочной работы с учетом положений, сформулированных ранее в п. 2.5 диссертации.

3.5 Выводы по главе 3

1. Сформулированы основные положения гибридной технологии расчетов 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.

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

3. Результаты выполненных имитационных расчетов показывают 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:

- 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 расформировываемого состава, отцепки «барьерной группы» и вытягивания состава обратно на горку – увеличивается в диапазоне от 14,6 до 38,6.

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.

4 ПРИМЕНЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРАБОТАННЫХ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

4.1 Экспериментальная проверка и результаты расчетов по станциям

4.1.1 Примеры использования математической модели определения параметров «барьерных групп» вагонов

В данном параграфе приведены примеры использования разработанной математической модели определения параметров «барьерных групп» вагонов (пп. 2.1, 2.2 диссертации) как для решения практических задач, так и для выполнения научных исследований.

Пример 1. Обоснование условий, при соблюдении которых нет необходимости в формировании «барьерной группы» вагонов (сортировочный путь № 16 станции Н).

Исходные данные:

- 1) поэлементный профиль сортировочного пути от парковой тормозной позиции до границы полезной длины пути (таблица 4.1);
- 2) максимально допустимая длина отцепа, установленная в Инструкции по работе сортировочной горки – 16 вагонов;
- 3) погодные условия – благоприятные (скорость попутного ветра не более 2,5 м/с);
- 4) контрольная точка расположена на расстоянии 95 м от границы полезной длины пути в выходной горловине парка в сторону сортировочной горки.

Результаты расчета предельно допустимой скорости выхода отцепа максимально допустимой длины из парковой тормозной позиции сортировочного пути № 16 станции Н при благоприятных погодных условиях приведены в таблице 4.1.

По результатам аналитических расчетов установлено, что при скорости выхода отцепа из парковой тормозной позиции со скоростью 14,8 км/ч – его скорость в конце элемента продольного профиля № 18 (таблица 4.1), то есть на расстоянии 95 м от границы полезной длины пути в сторону сортировочной горки составит 4,89 км/ч.

Таблица 4.1 – Результаты расчёта предельно допустимой скорости выхода отцепа из парковой тормозной позиции

№ участка	Путь № 16				
	Уклон, ‰	Длина, м	Расстояние за парковой ГП, м	V _н , км/ч	V _к , км/ч
1	1,40	36,29	36,29	14,80	14,04
2	-0,40	50,00	86,29	14,04	13,75
3	-0,20	50,00	136,29	13,75	13,37
4	-1,00	50,00	186,29	13,37	13,35
5	1,20	50,00	236,29	13,35	12,26
6	-0,80	50,00	286,29	12,26	12,14
7	0,00	50,00	336,29	12,14	11,60
8	-0,60	50,00	386,29	11,60	11,37
9	0,00	50,00	436,29	11,37	10,79
10	1,00	50,00	486,29	10,79	9,56
11	0,80	50,00	536,29	9,56	8,29
12	-0,20	50,00	586,29	8,29	7,69
13	-0,20	50,00	636,29	7,69	7,04
14	-1,40	50,00	686,29	7,04	7,40
15	-0,40	50,00	736,29	7,40	6,90
16	0,40	5,00	741,29	6,90	6,78
17	0,40	45,00	786,29	6,78	5,54
18	1,80	10,00	796,29	5,54	4,89
19	1,80	20,00	816,29	4,89	3,20
20	1,80	20,00	836,29	3,20	-
21	-2,20	5,00	841,29	-	-
22	-2,20	45,00	886,29	-	-
23	1,20	5,00	891,29	-	-

Далее определяется возможность остановки отцепа при его наезде на ограждающий тормозной башмак. Для этого решим неравенство (2.34).

С использованием формул (2.35), (2.36) определяются нули и область определения функции при следующих исходных данных:

$$\mu = 0,17;$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2;$$

$$l_{\text{юзa}}^{\text{max}} = 20 \text{ м};$$

$$V_{\text{н}} = 4,89 \text{ км/ч (таблица 4.2);}$$

Значение g' определяется по формуле:

$$g' = \frac{g}{1 + \gamma}, \quad (4.1)$$

где g – ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$;

γ – коэффициент увеличения массы вагона при учёте его вращающихся частей, равный $0,42 \cdot n/m$,

где n – число осей в отцепе, шт;

m – масса отцепа, т.

$$g' = \frac{9,81}{1 + \frac{0,42 \cdot 4 \cdot 16}{960}} = 9,54 \text{ м/с}^2$$

Значение приведенного уклона i на участке следования отцепа «юзом» на ограждающем тормозном башмаке составляет $1,8 \text{ ‰}$ (см. таблицу 4.1).

$$w_0 = 1,1 \text{ кгс/тс};$$

$$w_{\text{ср}} = -0,1417 \text{ кгс/тс}.$$

$$n_{\text{ваг 1}}^{\text{отц}} = \frac{0,17 \cdot 9,81 \cdot 20}{2 \cdot \left(\frac{4,89}{3,6}\right)^2 - 4 \cdot 20 \cdot 9,54 \cdot (1,1 + 1,8 - 0,1417) \cdot 10^{-3}} \approx 21$$

$$n_{\text{ваг 2}}^{\text{отц}} = \frac{-0,17 \cdot 9,81}{4 \cdot 9,54 \cdot (1,1 + 1,8 - 0,1417) \cdot 10^{-3}} \approx -15,8$$

Подставив в неравенство (2.34) значение $n_{\text{ваг 3}}^{\text{отц}} = 1$, получается:

$$\frac{1 \cdot \left[2 \cdot \left(\frac{4,89}{3,6} \right)^2 - 4 \cdot 20 \cdot 9,54 \cdot (1,1 + 1,8 - 0,1417) \cdot 10^{-3} \right] - 0,17 \cdot 9,81 \cdot 20}{4 \cdot 1 \cdot 9,54 \cdot (1,1 + 1,8 - 0,1417) \cdot 10^{-3} + 0,17 \cdot 9,81} \approx$$

$$\approx -17,92 < 0$$

Таким образом, решением неравенства (2.34) будет $n_{\text{ваг}}^{\text{отц}} \in (n_{\text{ваг}2}^{\text{отц}}; n_{\text{ваг}1}^{\text{отц}}]$ (рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Решение неравенства (2.34)

С учетом ограничений (2.37) получено, что при длине от 1 до 21 вагона отцеп при наезде на ограждающий тормозной башмак остановится, проследовав на нем «юзом» не более 20 метров.

Таким образом, по результатам выполненных расчётов установлено, что при благоприятных погодных условиях на сортировочном пути № 16 станции Н *нет необходимости в формировании «барьерной группы»* вагонов при условии, что скорость выхода из парковой тормозной позиции первого отцепа, направляемого на указанный путь, не превысит 14,8 км/ч.

Пример 2. Оценка необходимости применения «барьерной группы» вагонов с расчётом её величины и нормы закрепления (сортировочный путь № 23 станции Е).

При выполнении расчётов использован поэлементный профиль пути (таблица 4.2) и следующие исходные данные:

- 1) максимально допустимая длина отцепа – 22 вагона;
- 2) максимальное допустимое смещение «барьерной группы» вагонов – 10 м.

По результатам математического моделирования установлены зависимости, приведённые на рисунках 4.2 – 4.6.

На рисунке 4.2 приведена зависимость максимально допустимой скорости выхода отцепа длиной 22 вагона из парковой тормозной позиции, при которой отсутствует необходимость в формировании «барьерной группы», от средней осевой нагрузки вагонов в отцепе.

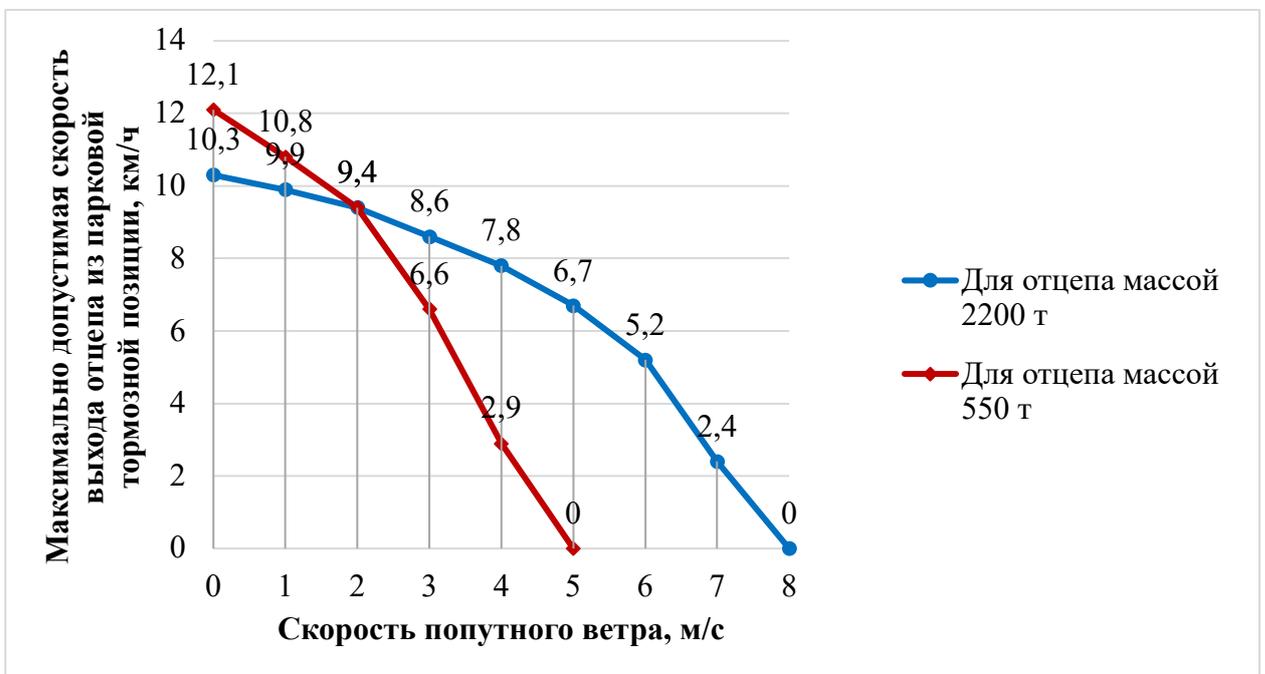
На рисунке 4.3 показана зависимость максимально допустимой скорости выхода отцепа из парковой тормозной позиции от скорости попутного ветра.

Таблица 4.2 – Поэлементный профиль сортировочного пути № 23 станции Е

№ участка	Путь № 23		
	Уклон, %	Длина, м	Расстояние за парковой ТП, м
1	-1,9	28,3	28,3
2	0,9	11,3	39,6
3	-1	50	89,6
4	-0,5	58,4	148
5	-1,2	50	198
6	-0,8	50	248
7	-0,8	50	298
8	-0,8	50	348
9	-0,8	50	398
10	-0,6	50	448
11	-1	50	498
12	-1	50	548
13	-0,4	50	598
14	-0,6	50	648
15	-0,4	50	698
16	-0,6	50	748
17	-0,8	50	798
18	-0,2	50	848
19	1,7	47,1	895,1
20	3,4	2,9	898
21	1,1	47	945
22	3,3	3	948
23	-1,9	28,3	976,3
17	-0,8	50	798



Рисунок 4.2 – Зависимость максимально допустимой скорости выхода отцепа из парковой тормозной позиции от средней осевой нагрузки вагонов в отцепе при скорости ветра $V_B = 2,5$ м/с



Примечание: 550 т – расчётная масса отцепа из 22 порожних вагонов; 2200 т – расчётная масса из 22 гружёных вагонов

Рисунок 4.3 – Зависимость максимально допустимой скорости выхода отцепа из парковой тормозной позиции от скорости попутного ветра

Анализ зависимостей, приведённых на рисунке 4.3, позволяет сделать вывод о том, что на сортировочном пути № 23 станции Е отцеп из 22 груженых вагонов при скорости попутного ветра более 7 м/с в контрольной точке будет иметь скорость более 5 км/ч при скорости выхода из парковой тормозной позиции всего 1 км/ч. Отцеп из 22 порожних вагонов будет иметь скорость в контрольной точке более 5 км/ч при скорости попутного ветра более 4 м/с.

По результатам многофакторного математического моделирования установлено, что основное влияние на величину и норму закрепления «барьерной группы» вагонов оказывают следующие факторы:

- максимальная масса отцепа, длина которого установлена в Инструкции по работе сортировочной горки [92, 93] (рисунок 4.4);
- уклон места расположения «барьерной группы» вагонов (рисунок 4.5);
- средняя осевая нагрузка вагонов в «барьерной группе» (рисунок 4.6).

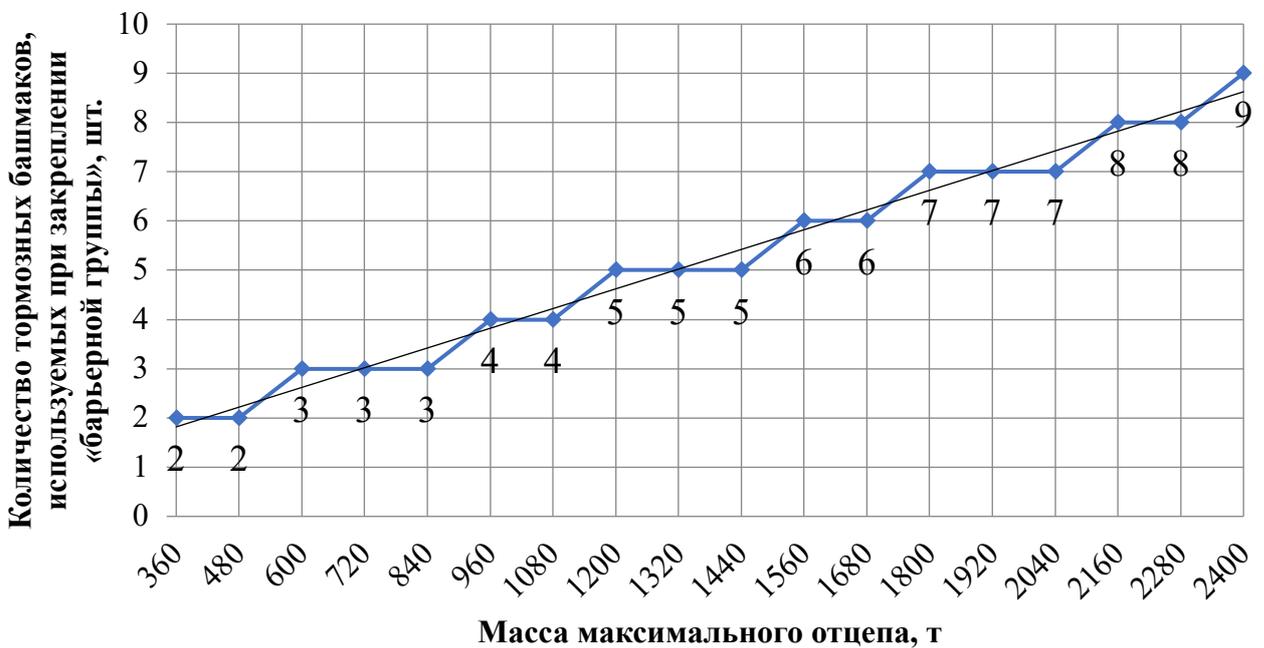


Рисунок 4.4 – Зависимость нормы закрепления вагонов «барьерной группы» от массы максимального отцепа

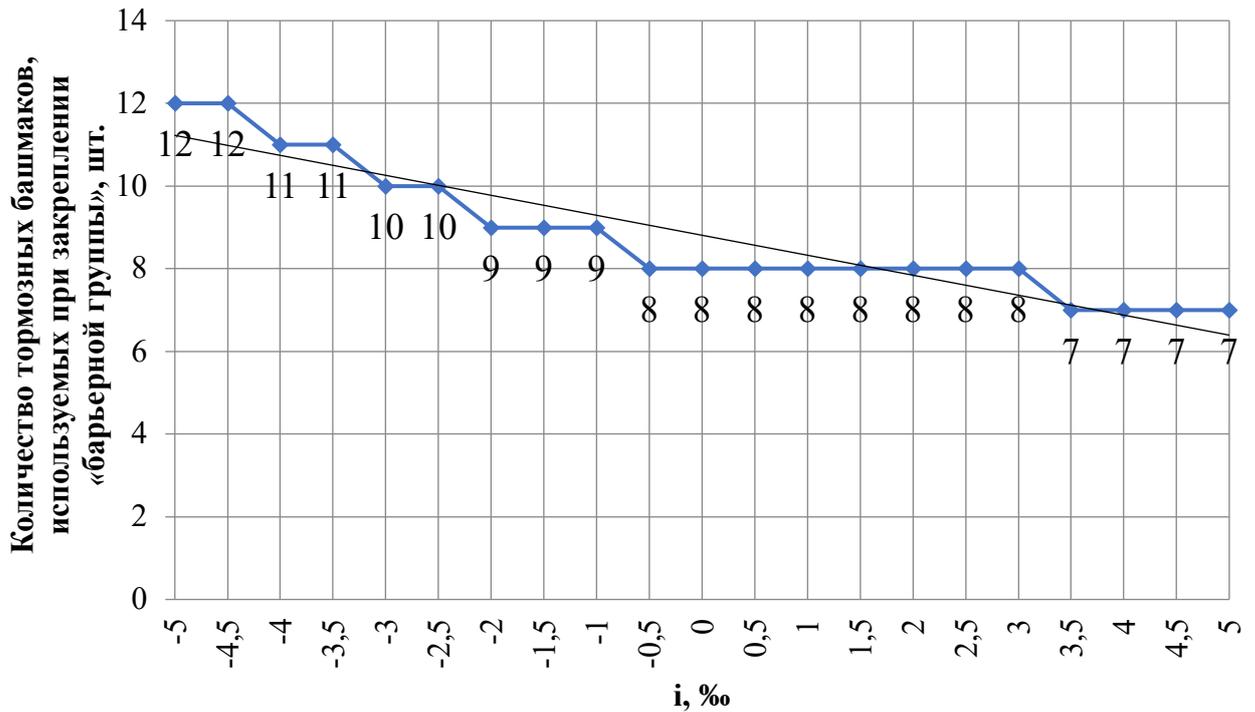


Рисунок 4.5 – Зависимость нормы закрепления «барьерной группы» вагонов от величины уклона (i), на котором она располагается (пример для отцепа из 22 гружёных вагонов с осевой нагрузкой 25 т/ось)

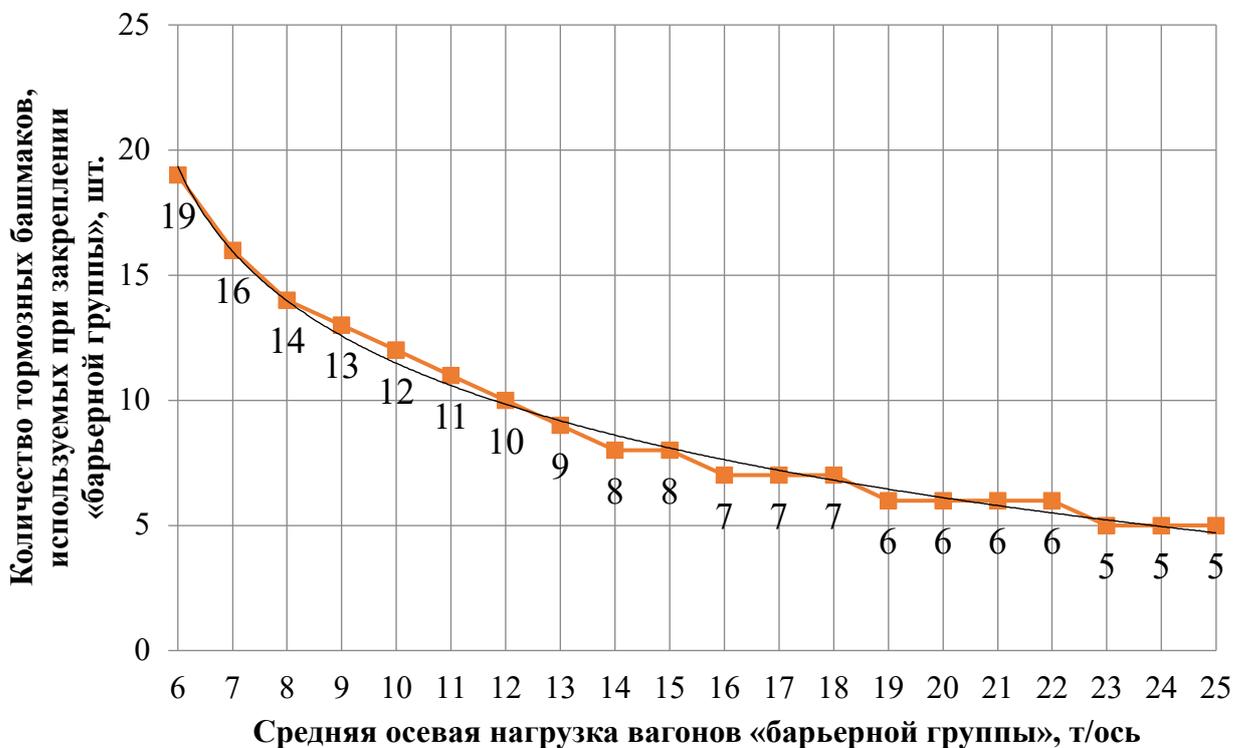


Рисунок 4.6 – Зависимость нормы закрепления «барьерной группы» от величины средней осевой нагрузки вагонов «барьерной группы» (для отцепа массой 2200 т)

В результате выполненных расчётов для сортировочного пути № 23 станции Е установлено:

- перед роспуском вагонов на пути должна быть сформирована «барьерная группа» величиной не менее пяти гружёных вагонов (при её формировании из гружёных вагонов с осевой нагрузкой не менее 15 т/ось);
- для закрепления «барьерной группы» вагонов при благоприятных погодных условиях используется восемь тормозных башмаков, при неблагоприятных погодных условиях (скорость попутного ветра более 15 м/с) «барьерная группа» закрепляется девятью тормозными башмаками;
- при полезной длине пути № 23 равной 948 м (67 усл. ваг.) и величине «барьерной группы» до пяти вагонов на пути целесообразно накапливать и формировать составы до 58 усл. вагонов. В этом случае «барьерная группа» может формироваться в процессе накопления состава и после его перестановки оставаться на сортировочном пути, что не приведёт к существенному снижению перерабатывающей способности сортировочной горки.

4.1.2 Анализ результатов практических расчетов дополнительных затрат на формирование «барьерных групп» вагонов

С использованием разработанной Методики расчета дополнительных затрат на формирование «барьерных групп» вагонов (см. п. 2.3 диссертации) были проведены многофакторные расчеты для сортировочной станции Рыбное Московской железной дороги [5]. По результатам проведенных расчетов было выявлено, что оптимальным способом формирования «барьерных групп» вагонов на путях подгорочных парков является способ № 2 – путем отцепки от распускаемого состава у вершины горки и перестановки дополнительно привлекаемым локомотивом района формирования. Данный способ требует минимальных затрат времени на формирование «барьерной группы» (рисунок 4.7).

	Затраты времени на формирование «барьерной группы» вагонов, мин			Увеличение времени отпуска, мин	
	Способ 1	Способ 2	Способ 3	Способ 2	Способ 3
Сортировочный парк «Б» благоприятные погодные условия	60-200	12	16-17	4	10
Сортировочный парк «Б» неблагоприятные погодные условия	60-200	12-13	16-18	4	10
Сортировочно-отправочный парк «В» благоприятные погодные условия	70-800	10-12	14-16	4	8
Сортировочно-отправочный парк «В» неблагоприятные погодные условия	70-800	11-12	14-16	4	8-9

Большие затраты времени из-за **больших интервалов поступления отцепов** на сортировочный путь

Наиболее эффективен способ № 2 «Отцепка «барьерной группы» вагонов у вершины горки и перестановка к месту ее установки дополнительно привлекаемым локомотивом»

Способ № 1 дает эффективность в сравнении со способом № 2 при интервалах поступления отцепов на сортировочный путь **не более 5-6 минут**

Рисунок 4.7 – Анализ результатов практических расчетов по сортировочной станции Рыбное [5]

Однако, в оперативных условиях, когда во время расформирования состава локомотив района формирования занят выполнением других операций и не может осуществить «снятие» вагонов «барьерной группы», эффективнее будет использование способа № 3 – формирование «барьерной группы» путем осаживания расформировываемого состава, отцепки «барьерной группы» и последующего вытягивания расформировываемого состава обратно на горку. Дальнейшая перестановка «барьерной группы» к месту ее установки осуществляется локомотивом района формирования или горочным в зависимости от оперативной обстановки.

Несмотря на то, что первый способ «Формирование «барьерной группы» на сортировочном/сортировочно-отправочном пути в процессе накопления состава из последних отцепов (вагонов), следующих на этот путь» не вызывает увеличения времени занятия сортировочной горки, его реализация приводит к

увеличению времени простоя вагонов под накоплением на путях подгорочного парка станции Рыбное, так как количество накапливаемых вагонов увеличивается на величину «барьерной группы».

Однако, в оперативных условиях, когда отцеп(-ы), из которого(-ых) будет сформирована «барьерная группа», находится в одном расформировываемом составе с замыкающей группой вагонов для данного пути, или когда интервал поступления отцепов на данный путь не превышает 5-6 минут, данный способ может давать наибольшую экономию времени по сравнению с остальными методами формирования «барьерных групп» в сортировочном парке. Таким образом, данный способ в оперативных условиях может быть эффективным инструментом для маневрового диспетчера и дежурного по сортировочной горке при работе с «барьерными группами» вагонов в сортировочном парке.

4.1.3 Исследование взаимозависимостей параметров сортировочной работы и затрат времени на формирование «барьерных групп» вагонов

Для исследования взаимозависимостей параметров сортировочной работы и затрат времени на формирование «барьерных групп» вагонов было произведено построение вариантных суточных планов-графиков работы сортировочной станции Рыбное и проанализированы следующие показатели:

- коэффициент загрузки сортировочных горок;
- коэффициент загрузки горочных локомотивов;
- коэффициент загрузки маневровых локомотивов формирования;
- средний простой в парке приема от момента прибытия до начала расформирования состава.

Выполнен расчет числа формирований «барьерных групп» вагонов на путях подгорочных парков за сутки, результаты которого сведены в таблицу 4.3.

С использованием рассчитанных значений $K_{\text{форм.БГ}}$ получены рисунки 4.8 – 4.11.

Таблица 4.3 – Расчет числа формирований «барьерных групп» за сутки

Номер пути	Среднесуточный вагонопоток назначения, N_i	Средняя величина формируемого состава, m_ϕ	Количество формирований «барьерных групп» за сутки, $K_{\text{форм.БГ}}$
СОРТИРОВОЧНЫЙ ПАРК «Б»			
1	41	69	1
2	41	69	1
3	41	69	1
4	41	69	1
5	312	40	8
6	312	40	8
7	41	69	1
8	41	69	1
9	67	49	2
10	253	70	4
11	41	69	1
12	90	61	2
13	164	81	3
14	128	63	3
15	32	79	1
16	41	69	1
СОРТИРОВОЧНО-ОТПРАВОЧНЫЙ ПАРК «В»			
2	164	74	3
3	165	74	3
4	56	72	1
5	231	73	4
6	65	46	2
7	17	43	1
8	52	56	1
9	30	51	1
10	343	40	9
11	297	64	5
12	10	48	1
13	11	48	1

Увеличение загрузки сортировочной горки связано с увеличением времени роспуска отдельных составов, вызванным необходимостью выполнения дополнительных операций по формированию «барьерных групп» вагонов (рисунок 4.8):

$$\psi_{\text{гор}} = f(t_{\text{гор(сут)}}^{\text{доп}}), \quad (4.2)$$

где $t_{\text{гор(сут)}}^{\text{доп}}$ – дополнительное время занятия сортировочной горки, связанное с выполнением маневровой работы по формированию «барьерных групп» за сутки, мин/сут.

$$t_{\text{гор(сут)}}^{\text{доп}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 t_{\text{гор}(i,j)}^{\text{доп}} \cdot K_{\text{форм.БГ}(i,j)}, \quad (4.3)$$

где $t_{\text{гор}(i,j)}^{\text{доп}}$ – дополнительное время занятия сортировочной горки, связанное с формированием «барьерной группы», на пути i по способу j , мин;

$K_{\text{форм.БГ}(i,j)}$ – количество «барьерных групп», сформированных на пути i по способу j за сутки;

n – число путей, в подгорочном парке, на которых требуется формирование «барьерных групп» вагонов.

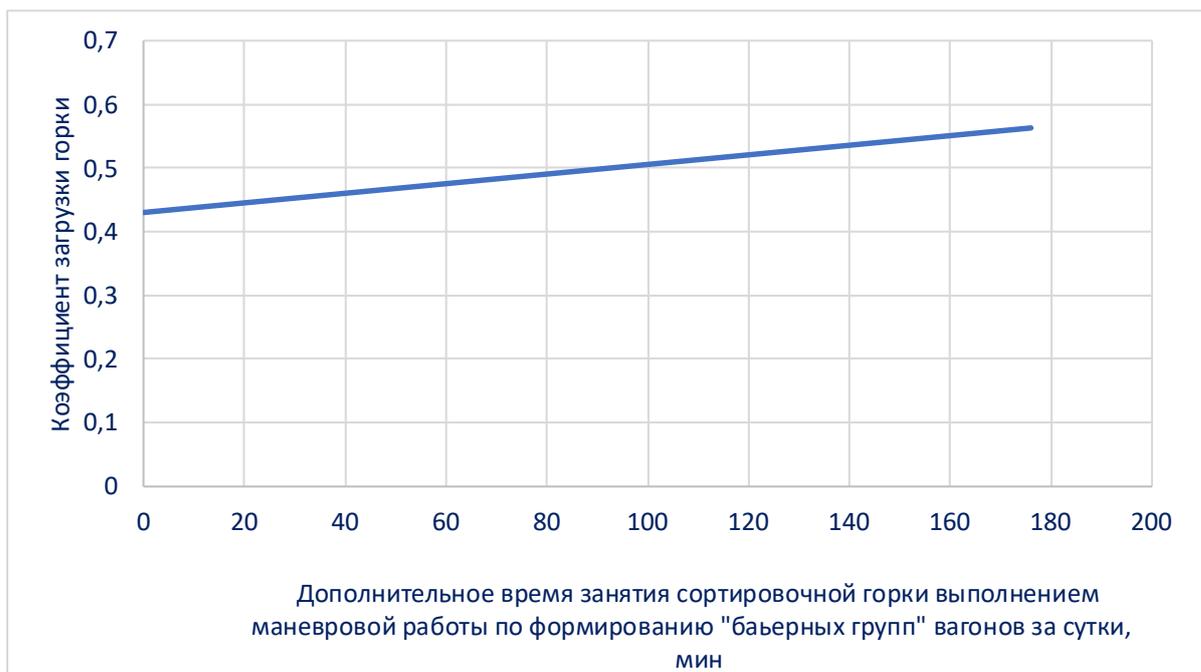


Рисунок 4.8 – Зависимость коэффициента загрузки горки от дополнительного времени занятия сортировочной горки выполнением маневровой работы по формированию «барьерных групп» за сутки

Увеличение загрузки горочного локомотива аналогично вызвано увеличением времени отпуска отдельных составов и необходимостью

выполнения дополнительных операций, связанных с формированием «барьерных групп» (рисунок 4.9):

$$\psi_{\text{ман}}^{\text{гор}} = f(t_{\text{гор}}^{\text{доп}}(\text{сут})) \quad (4.4)$$

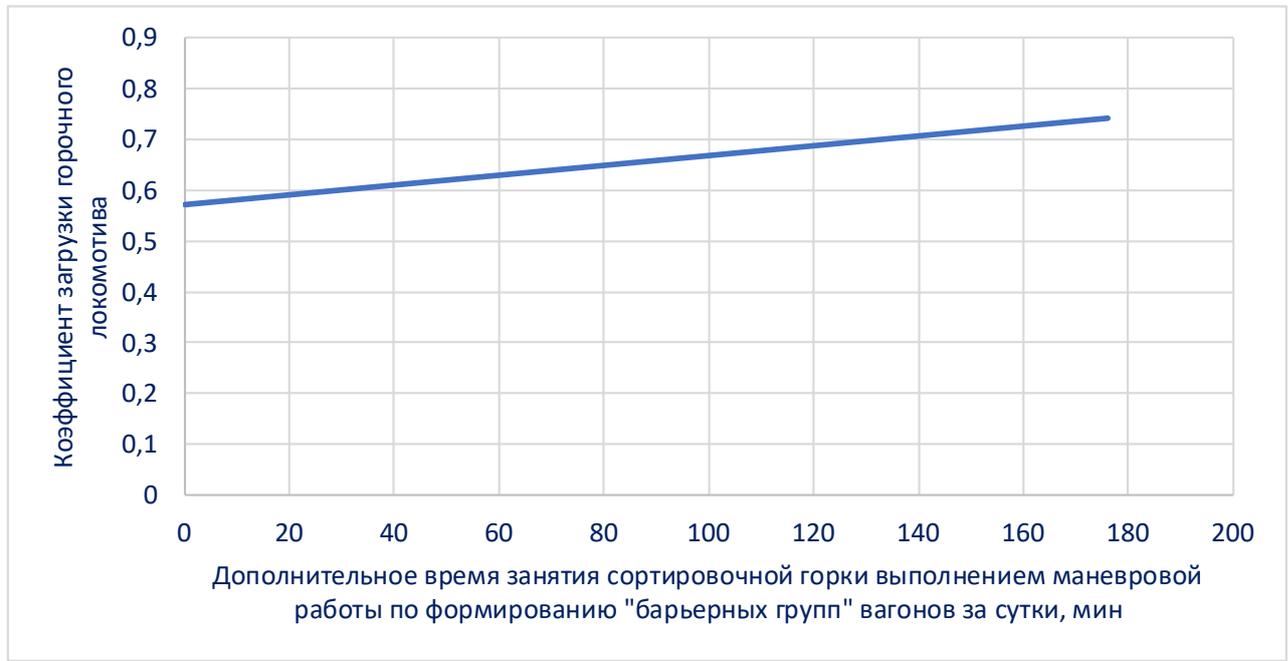


Рисунок 4.9 – Зависимость коэффициента загрузки горочного локомотива от дополнительного времени занятия сортировочной горки выполнением маневровой работы по формированию «барьерных групп» за сутки

Увеличение загрузки маневрового локомотива района формирования вызвано необходимостью непосредственно выполнения маневровой работы по формированию «барьерных групп» вагонов (рисунок 4.10):

$$\psi_{\text{ман}} = f(t_{\text{сут}}^{\text{БГ}}), \quad (4.5)$$

где $t_{\text{сут}}^{\text{БГ}}$ – дополнительные затраты времени на маневровую работу по формированию «барьерных групп» за сутки по сортировочной системе, мин/сут.

$$t_{\text{сут}}^{\text{БГ}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 t_{(i,j)}^{\text{БГ}} \cdot K_{\text{форм.БГ}(i,j)}, \quad (4.6)$$

где $t_{(i,j)}^{БГ}$ – дополнительные затраты времени на маневровую работу по формированию «барьерной группы» на пути i по способу j , мин;

$K_{\text{форм.БГ}(i,j)}$ – количество «барьерных групп», сформированных на пути i по способу j за сутки;

n – число путей, в подгорочном парке, на которых требуется формирование «барьерных групп» вагонов.

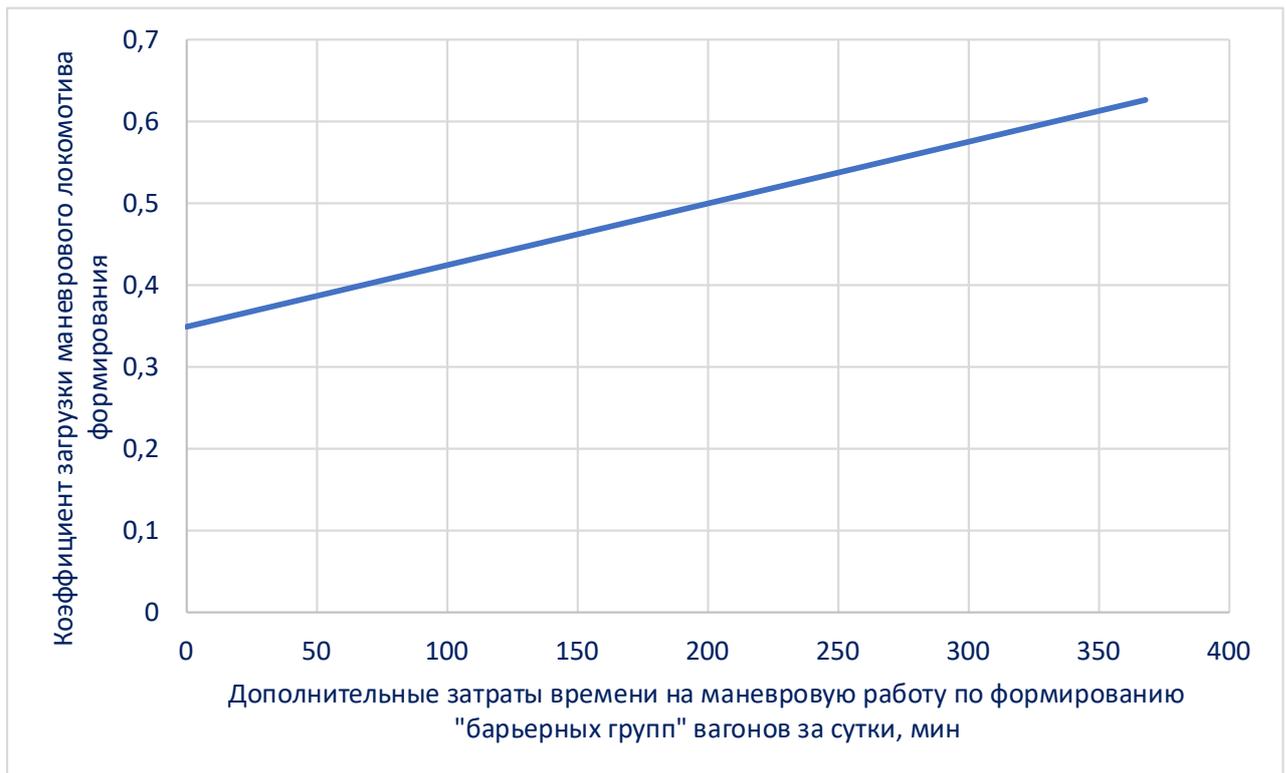


Рисунок 4.10 – Зависимость коэффициента загрузки маневрового локомотива района формирования от суммарных дополнительных затрат времени на маневровую работу по формированию «барьерных групп» вагонов за сутки

Увеличение среднего времени простоя в парке приема от момента прибытия до начала расформирования вызвано ростом загрузки сортировочной горки из-за увеличения времени занятости горочного локомотива выполнением дополнительных маневровых операций (рисунок 4.11):

$$t_{\text{пп}} = f(t_{\text{гор(сут)}}^{\text{доп}}) \quad (4.7)$$

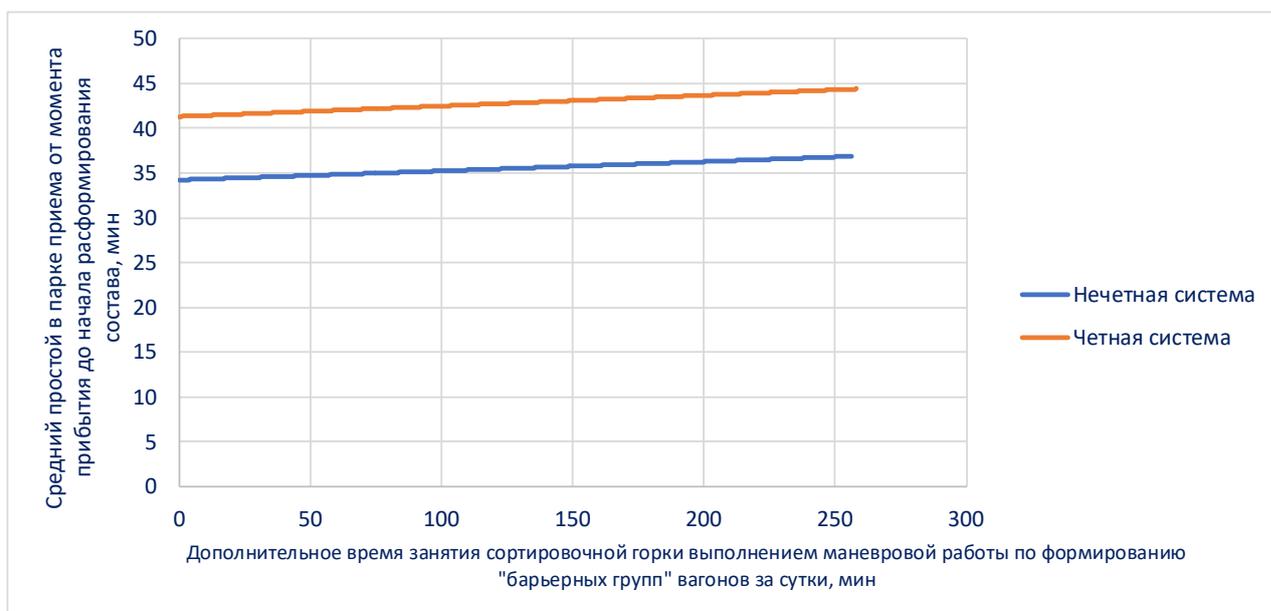


Рисунок 4.11 – Зависимость среднего времени простоя составов в парке приема от момента прибытия до начала расформирования от дополнительного времени занятия сортировочной горки выполнением маневровой работы по формированию «барьерных групп» за сутки

На основании выполненных расчетов для сортировочной станции Рыбное установлено:

- при увеличении дополнительного времени занятия сортировочной горки выполнением маневровой работы по формированию «барьерных групп» вагонов до 176 мин/сут коэффициент загрузки горки увеличивается на 0,15, а коэффициент загрузки горочного локомотива увеличивается на 0,16;
- при увеличении дополнительных затрат времени на маневровую работу по формированию «барьерных групп» вагонов до 350 мин/сут коэффициент загрузки маневрового локомотива формирования увеличивается на 0,27;
- при существующих размерах перерабатываемого вагонопотока выполнение дополнительной маневровой работы по формированию «барьерных групп» вагонов не оказывает существенного влияния на время среднего простоя в парке приема станции Рыбное составов разборочных поездов.

4.2 Применение разработанных положений в нормативно-методических документах

Ряд положений диссертационного исследования, такие как алгоритм расчета параметров «барьерных групп» вагонов, метод определения удерживающей способности нестационарных заграждающих средств легли в основу научной работы «Разработка методики определения величины «барьерных групп» вагонов для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков и расчета норм закрепления «барьерных групп», шифр 2.365, РТП.

Результатом данной работы стала Методика определения величины «барьерных групп» вагонов для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков и расчета норм закрепления «барьерных групп», утверждённая распоряжением ОАО «РЖД» № 102 от 02.02.2018 г. [2] (далее – Методика).

Целью Методики является научно обоснованный расчет величины «барьерных групп» в зависимости от длины и профилей конкретных сортировочных (сортировочно-отправочных) путей, метеоусловий, веса и длины отцепов, а также определение требуемого количества тормозных башмаков для закрепления «барьерных групп», устанавливаемых на сортировочных (сортировочно-отправочных) путях до начала расформирования состава.

Основные задачи, которые решаются в Методике:

– обоснование введения «барьерных групп» и формулировка определения (впервые введено понятие «барьерная группа» вагонов – это группа вагонов, устанавливаемая и закрепляемая тормозными башмаками перед началом расформирования состава на путях сортировочного (сортировочно-отправочного) парка, предназначенная для предотвращения самопроизвольного выхода подвижного состава за пределы полезной длины пути в сторону, противоположную сортировочной горке, или места разъединения отцепов в условиях производства маневров одиночными толчками);

- определение количества вагонов в «барьерной группе» и необходимого количества тормозных башмаков для ее надежного закрепления на сортировочном (сортировочно-отправочном) пути перед началом роспуска, обеспечивающих недопущения самопроизвольного выхода формируемых составов за пределы полезной длины путей в выходной горловине парка;
- повышение безопасности роспуска вагонов на сортировочных горках;
- предотвращение случаев нарушений безопасности движения при расформировании составов на сортировочных горках;
- предотвращение случаев нарушений безопасности движения при производстве маневровой работы по расформированию составов методом одиночных толчков;
- обеспечение сохранности инфраструктуры;
- обеспечение сохранности вагонов и перевозимых в них грузов;
- сокращение времени роспуска, повышение перерабатывающей способности сортировочных станций;
- возможность для начальника железнодорожной станции по исходным данным (профиль путей сортировочного парка, максимальная величина отцепа, допускаемая скорость сцепления вагонов согласно Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [25]) определить: необходимость (обоснование) формирования «барьерной группы» для конкретного пути сортировочного парка, место расположения «барьерной группы», количество вагонов в «барьерной группе» для каждого пути сортировочного парка, рассчитать требуемое количество тормозных башмаков для закрепления «барьерной группы» для каждого пути сортировочного парка, а также выполнять требования к закреплению при сильном, штормовом ветре.

После утверждения и опытной эксплуатации Методики на полигонах Октябрьской и Куйбышевской железных дорог [9] было выявлено, что при использовании расчетных критериев параметров «барьерных групп» вагонов, используемых в Методике, и определенных с учетом коэффициента запаса, в

расчетах на сортировочных (сортировочно-отправочных) путях требуется установка «барьерных групп» вагонов значительной величины. Для снижения издержек в сортировочной работе при гарантированном обеспечении безопасности движения в горочных комплексах было предложено внести изменения в критерии расчета параметров «барьерных групп» вагонов.

Данные изменения расчетных критериев были отражены в нормативном документе «Изменения, 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» [3]. Документ включает изменения критериев расчета параметров «барьерных групп» вагонов, которые отражены в работе [9] и во втором разделе настоящей диссертации.

Результатом научной работы «Разработка Методических рекомендаций по составлению инструкции по работе сортировочной горки с установлением требований по обеспечению безопасности движения» шифр 3.255, РТП является нормативный документ – Методические рекомендации по составлению инструкции по работе сортировочной горки с установлением требований по обеспечению безопасности движения, утвержденный распоряжением Центральной дирекции управления движением № ЦД-248/р от 29.12.2018 г. [4] (далее – Методические рекомендации).

Методические рекомендации устанавливают требования к содержанию, структурному построению и изложению Инструкции по работе сортировочной горки (Инструкции о порядке производства маневров толчками). С целью снижения риска возникновения событий и происшествий в горочном комплексе Методическими рекомендациями установлен объем минимальных технологических требований по обеспечению безопасности движения при роспуске составов на сортировочных горках, а также производстве маневров толчками.

Основные положения по использованию «барьерных групп» вагонов в качестве заграждающих средств отражены в Методических рекомендациях и

используются при составлении п. 2.2. «Подготовка к роспуску», п. 2.5. «Производство маневров в сортировочном парке» и п. 3.3. «Меры по предотвращению несанкционированного выхода подвижного состава за пределы полезной длины пути» Инструкций по работе сортировочных горок на железнодорожных станциях ОАО «РЖД».

4.3 Применение разработанных положений в автоматизированных системах

Разработанные в рамках настоящей диссертации положения нашли отражение в автоматизированной системе ИСУЖТ НС ТРА (Приложение Б).

Расчет параметров «барьерных групп» вагонов для установки перед роспуском осуществляется с применением модуля «Расчет параметров «барьерных групп» вагонов» автоматизированной системы ИСУЖТ НС ТРА (рисунок 4.12).

ИСУЖТ	ОТЧЕТЫ	ЖУРНАЛ	АКТЫ ВЫБОРКИ	Поиск по станции	СМЕНИТЬ АРМ	ВЫХОД
Сыктывино 1 (6329407) / ДПС-3 / Куйбышевская ЖД	ГЛАВНАЯ СТРАНИЦА	ТРА	КАТЕГОРИЧЕСКИЕ И МАССОВЫЕ ПОИСКИ	ПРОВЕРКИ	НОРМАЛИЗОВАННЫЕ СЛУЖБОВЫЕ	НЕНОРМАЛИЗОВАННЫЕ СЛУЖБОВЫЕ
Расчет параметров «барьерных групп» вагонов						
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчет для путей парка СОРТИРОВОЧНЫЙ ПАРК (СП)	Ильин Александр Александрович	расч.	01.12.2021		
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчет для путей парка СОРТИРОВОЧНЫЙ ПАРК (СП)	Севцова Екатерина Юрьевна	расч.	03.02.2022		
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчет для путей парка СОРТИРОВОЧНЫЙ ПАРК (СП)	Севцова Екатерина Юрьевна	расч.	03.02.2022		
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчет для путей парка СОРТИРОВОЧНЫЙ ПАРК (СП)	Севцова Екатерина Юрьевна	расч.	03.02.2022		
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчет для путей парка СОРТИРОВОЧНЫЙ ПАРК (СП)	Севцова Екатерина Юрьевна	расч.	03.02.2022		
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчет для путей парка СОРТИРОВОЧНЫЙ ПАРК (СП)	Севцова Екатерина Юрьевна	расч.	03.02.2022		
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчет для путей парка СОРТИРОВОЧНЫЙ ПАРК (СП)	Севцова Екатерина Юрьевна	расч.	03.02.2022		
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчет для путей парка СОРТИРОВОЧНЫЙ ПАРК (СП)	Телютин Александр Вячеславович	расч.	28.03.2022		
<input checked="" type="checkbox"/>	Расчет для путей парка СОРТИРОВОЧНЫЙ ПАРК (СП)	Севцова Екатерина Юрьевна	расч.	26.04.2022		

Рисунок 4.12 – Интерфейс модуля расчета параметров «барьерных групп» вагонов автоматизированной системы ИСУЖТ НС ТРА

Основой данного модуля является математическая модель определения необходимости формирования «барьерной группы» вагонов на свободном пути

сортировочного парка до начала роспуска и расчета величины и норм закрепления «барьерных групп» (см. п. 2.1).

Исходными данными в данной модели являются:

- максимальная длина отцепа;
- поэлементный профиль подгорочного пути.

УСУЖТ НС

Маткасельга / ДЦС-4 / Октябрьская

ЖД

ТРА

СХЕМАТИЧЕСКИЕ И МАСШТАБНЫЕ ПЛАНЫ

ПРОФИЛИ

ФОРМАЛИЗОВАННЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

НЕФОРМАЛИЗОВАННЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

МЕСТНЫЕ ИНСТРУКЦИИ

СООТВЕТСТВИЕ ТРА – АСОВТ-3

Исходные данные для определения необходимости в создании «барьерной группы» вагонов и расчета минимальной величины «барьерной группы» и количества средств для ее закрепления на свободных путях сортировочного парка Сортировочный парк

Максимальная длина отцепа, указанная в инструкции по работе горки (ваг.):

ЗАГРУЗИТЬ ПРОДОЛЬНЫЕ ПРОФИЛИ ПУТИ (0)

Введите поэлементный профиль путей от парковой тормозной позиции до границы полезной длины пути
 (* более одного элемента профиля для каждого пути)

№ пути	34		67		78		80	
Макс. норма закрепления	<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>		<input type="text"/>	
№ п/п	Длина м	Угол град						
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

Еще строк

Рисунок 4.13 – Вид окна для ввода исходных данных расчета параметров «барьерных групп» вагонов

В поле «Максимальная длина отцепа» вводится максимальная длина отцепа, указанная в Инструкции по работе сортировочной горки данной железнодорожной станции. Данное поле является обязательным для заполнения, вводится числовое значение, которое должно быть ≥ 1 .

Далее в таблице по каждому пути вводится поэлементный продольный профиль сортировочного (сортировочно-отправочного) пути. В подсистеме реализовано два способа ввода продольного профиля пути:

- загрузка продольных профилей путей из формализованного приложения к ТРА станции «Продольные профили железнодорожных путей»;
- ручной ввод элементов профиля пути.

В поле «Длина, м» необходимо ввести числовое значение (от «0» и больше), обязательное для заполнения.

В поле «Уклон, ‰» необходимо ввести числовое значение (может быть со знаком минус «-»), обязательное для заполнения.

По каждому пути должно быть введено более одной строки с элементами профиля.

После того, как по всем путям в таблице будут загружены либо вручную введены продольные профили, станет активной кнопка «Расчитать».

Расчеты проводятся отдельно для каждого пути.

На начальном этапе производится разбиение элементов исходного продольного профиля пути на отметках 150, 95, 75 и 50 метров от границы полезной длины пути (рисунок 4.14). Данное разбиение требуется для выполнения дальнейших расчетов.

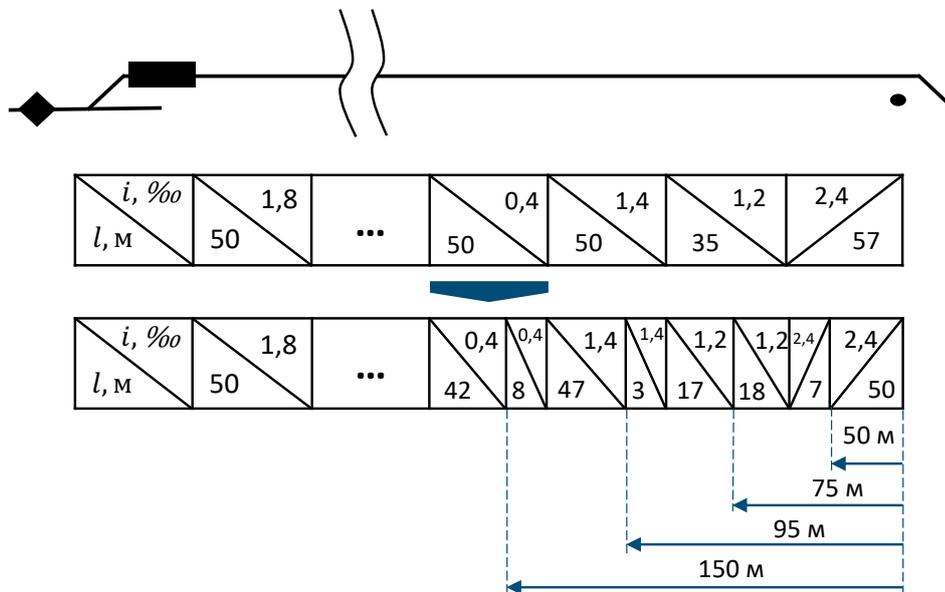


Рисунок 4.14 – Разбиение элементов исходного продольного профиля

Далее производится расчет приведенного уклона участка пути между отметками 75 и 95 м от границы полезной длины пути (участок пути, на котором

будет размещаться первый со стороны сортировочной горки ограждающий тормозной башмак с учетом движения «юзом» при наезде на него отцепа):

$$i_{\text{пр}} = \frac{\sum i \cdot l}{\sum l}, \quad (4.8)$$

где $\sum i \cdot l$ – алгебраическая сумма произведений величин уклонов элементов продольного профиля на длины элементов продольного профиля, находящихся между отметками 75 и 95 м от границы полезной длины пути;

$\sum l$ – сумма длин элементов продольного профиля, находящихся между отметками 75 и 95 м от границы полезной длины пути.

Расчет производится для различных значений скорости ветра (нормальный, сильный и штормовой).

После задания значения скорости ветра производится моделирование движения отцепа по подгорочному пути с целью определения максимально допустимой скорости выхода отцепа из парковой тормозной позиции при условии, что его скорость в контрольной точке не будет превышать 5 км/ч.

При выполнении данного условия осуществляется проверка возможности остановки отцепа при его наезде на ограждающий тормозной башмак решением неравенства (2.34) с учетом ограничений (2.37).

Исходными данными для данного расчета являются минимальные значения основного удельного сопротивления движению (формула 4.9), удельного сопротивления от воздушной среды и ветра (формула 4.10) на участке движения отцепа «юзом» на ограждающем тормозном башмаке, а также приведенный уклон данного участка (формула 4.8), рассчитанный ранее.

$$\omega_{0 \text{ min}} = \min\{\omega_{0 k}, \dots, \omega_{0 n}\}; \quad (4.9)$$

$$\omega_{\text{ср min}} = \min\{\omega_{\text{ср k}}, \dots, \omega_{\text{ср n}}\}, \quad (4.10)$$

где k – первый элемент продольного профиля со стороны вершины сортировочной горки, расположенный между отметками 75 и 95 м от границы полезной длины пути;

n – последний элемент продольного профиля со стороны вершины сортировочной горки, расположенный между отметками 75 и 95 м от границы полезной длины пути;

Основное удельное сопротивление движение и удельное сопротивление от воздушной среды и ветра определяются в соответствии с Правилами [24].

При выполнении условия возможности остановки отцепа при его наезде на ограждающий тормозной башмак выполняется сравнение полученного расчетного значения скорости выхода отцепа из парковой тормозной позиции с величиной, установленной с учетом мощности тормозных средств.

В случае выполнения всех вышеперечисленных условий формируется вывод о том, что установка «барьерной группы» до начала роспуска состава на свободном пути не требуется при обеспечении скорости выхода отцепа из парковой тормозной позиции не более расчетной.

При невыполнении какого-либо из вышеназванных условий формируется вывод о том, что роспуск на свободный путь до установки и закрепления на нем «барьерной группы» вагонов запрещен. Далее запускается блок расчета величины и нормы закрепления «барьерной группы» вагонов. Потребное число тормозных башмаков для закрепления «барьерной группы» вагонов рассчитывается по формуле (2.23).

Минимальное необходимое количество вагонов «барьерной группы» определяется по формуле (2.24).

Алгоритм расчета повторяется для других значений скорости ветра и для остальных путей сортировочного (сортировочно-отправочного) парка.

По результатам расчета определяется:

– необходимость в формировании «барьерной группы» вагонов до начала расформирования состава на свободном пути при различных погодных условиях;

- количество порожних вагонов в «барьерной группе», формируемой из порожнего подвижного состава;
- минимальное количество груженых вагонов в «барьерной группе», формируемой из груженых вагонов или из смешанных вагонов (груженые и порожние);
- нормы закрепления «барьерной группы», которые рассчитываются по заданным условиям для закрепления «барьерной группы» тормозными башмаками на пути со стороны, противоположной сортировочной горке.

После выполнения расчетов в подсистеме в окне отобразится таблица «Результаты определения необходимости в создании «барьерной группы» вагонов и расчета минимальной величины «барьерной группы» и количества средств для ее закрепления на свободных путях сортировочного парка» (рисунок 4.15).

№ пути	Минимальная длина «барьерной группы» и минимальное количество тормозных башмаков для ее закрепления											
	Нормальные условия				Сильный ветер				Штормовой ветер			
	Смешанный (груженый/груженые и порожние вагоны)		Порожние вагоны		Смешанный (груженый/груженые и порожние вагоны)		Порожние вагоны		Смешанный (груженый/груженые и порожние вагоны)		Порожние вагоны	
	Минимальное кол-во груженых вагонов	Кол-во тормозных башмаков	Количество вагонов	Кол-во тормозных башмаков	Минимальное кол-во груженых вагонов	Кол-во тормозных башмаков	Количество вагонов	Кол-во тормозных башмаков	Минимальное кол-во груженых вагонов	Кол-во тормозных башмаков	Количество вагонов	Кол-во тормозных башмаков
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
11	4	8	10	19	5	9	10	20	5	9	11	21
12	3	6	7	14	4	7	8	15	4	7	8	16
13	4	7	9	17	4	8	9	18	4	8	10	19
14	4	7	8	16	4	8	9	17	4	8	9	18
15	4	8	9	17	5	9	9	18	5	9	10	19
16	4	8	9	18	5	9	10	19	5	9	10	20
17	4	7	8	16	4	8	9	17	4	8	9	18
18	4	7	8	15	4	8	8	16	4	8	9	17
21	4	7	8	15	4	8	8	16	4	8	9	17
22	4	8	10	19	5	9	10	20	5	9	11	21
23	4	7	9	17	4	8	9	18	4	8	10	19
24	4	7	8	15	4	8	8	16	4	8	9	17
25	4	7	9	17	4	8	9	18	4	8	10	19
26	3	6	6	12	4	7	7	13	4	7	7	13
27	4	7	8	15	4	8	8	16	4	8	9	17
28	4	7	8	15	4	8	8	16	4	8	9	17

Рисунок 4.15 – Окно просмотра результатов расчета параметров «барьерных групп» вагонов

Полученные результаты расчета возможно экспортировать в Word, Excel, PDF.

Расчет параметров «барьерных групп» вагонов актуализируется при утверждении продольного профиля пути (съемка профиля после ремонтных

работ, периодическая инструментальная проверка профиля) или при изменении максимально допустимого количества вагонов отцепе.

4.4 Характеристика эффективности применения разработанных методических решений и 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.

Как уже было описано в п. 2.5 настоящей диссертации в зависимости от технологии формирования «барьерных групп» вагонов изменяется горочный технологический интервал и время занятия элементов горловины, что в свою очередь влияет на дополнительное время занятия сортировочных путей как выполнением операций, так и ожиданием начала выполнения следующих. Итоговое изменение загрузки элементов горочного комплекса должно использоваться при:

- разработке технологического процесса работы станции, а именно при разработке графика работы сортировочной горки в автоматизированной системе ИСУЖТ НС ТП;

– расчете перерабатывающей способности станции в автоматизированной системе расчета пропускной и перерабатывающей способности станция (АС ППСС);

– расчете нормативов плана формирования поездов в автоматизированной системе организации вагонопотоков (АСОВ).

Использование результирующих показателей работы горочного комплекса с учетом технологических особенностей формирования «барьерных групп» вагонов в нормативной документации и в автоматизированных системах позволит отразить наиболее приближенные к практической работе данные о выполнении сортировочного процесса.

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.

4.5 Выводы по главе 4

1. Экспериментальная проверка подтвердила обоснованность разработанных положений диссертации и послужила основанием для включения их в общеотраслевую Методику определения величины «барьерных групп» вагонов для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков и расчета норм закрепления «барьерных групп» [2].

2. Разработанная Методика [2] позволяет определить необходимое количество вагонов в «барьерных группах» и необходимое количество тормозных башмаков для их надежного закрепления на сортировочных (сортировочно-

отправочных) путях перед началом роспуска, обеспечивающие недопущение самопроизвольного выхода подвижного состава за пределы полезной длины путей в выходной горловине подгорочного парка.

3. Разработанные в рамках настоящей 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» (Приложение Б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен анализ основных факторов, определяющих параметры применения нестационарных заграждающих средств на путях подгорочных парков. Факторы сгруппированы по их влиянию на основные параметры применения нестационарных заграждающих 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 заграждающих 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 заграждающих средств, обеспечивающих безопасность сортировочного процесса. Сформулированы предложения по совершенствованию методики расчета максимально допустимой длины отцепа при роспуске на сортировочных горках с учетом проверки условия остановки отцепа при его движении по свободному подгорочному пути, а также с учетом проверки условия остановки 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Актуализированная Схема размещения и Программа развития сортировочных станций, с учетом развития вспомогательных к ним (технических, предузловых) станций ОАО «РЖД», утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 27 декабря 2017 г. № 2762р.

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

3. Изменения, 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, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 06 августа 2020 г. № 1673/р.

4. Методические рекомендации по составлению инструкции по работе сортировочной горки с установлением требований по обеспечению безопасности движения, утвержденные распоряжением Центральной дирекции управления движением от 29 декабря 2018 г. № ЦД-248/р.

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.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

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

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. Шипулин, Н. П. Совершенствование технологии работы сортировочных станций / Н. П. Шипулин, А. Н. Шабельников // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 1. – С. 6-8.

21. Bogomolov, V. M. Safe organization of the train compiler's work in modern conditions / V. M. Bogomolov, E. V. Bogomolova, Y. V. Maslyukova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: XIII International Scientific Conference Architecture and Construction 2020, Novosibirsk, 22–24 сентября 2020 года. Vol. 953. – BRISTOL: IOP Publishing Ltd, 2020. – P. 012077. – DOI 10.1088/1757-899X/953/1/012077.

22. Модин, Н. К. Безопасность функционирования горочных устройств / Н. К. Модин. – М.: Транспорт, 1994. – 173 с.

23. Врублевский, И. П. Комплексный анализ узких мест в работе горочного комплекса сортировочных станций / И. П. Врублевский, С. И. Носков // Электронный сборник материалов международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективныи свободный - 2015», посвященной 70-летию Великой победы. – 2015. – С. 4-7.

24. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм: утв. МПС РФ 10.10.03. – М.: Техинформ, 2003. – 168 с.

25. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Минтранса России № 250 от 23 июня 2022 г.

26. Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.09.2017 г. № 1871р «Об утверждении Порядка определения возможности производства роспуска и перестановки вагонов через горб сортировочной горки при отсутствии проектной документации».

27. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР: ВСН 207–89 / МПС СССР. – М.: Транспорт, 1992. – 104 с.

28. Технические указания на проектирование станций и узлов: утв. МПС СССР 24.11.1947 / ВНИИ ж.-д. трансп. – М.: Трансжелдориздат, 1948. – 124 с.

29. Технические указания по проектированию станций и узлов на железных дорогах общей сети Союза ССР: ВСН 56-61: утв. МПС СССР 12.06.1961 г. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 151 с.

30. Технические указания по проектированию станций и узлов на железных дорогах общей сети Союза ССР: изменения и дополнения № 1: ВСН 56-65: утв. МПС СССР 30.07.1965. – М.: Оргтрансстрой, 1965. – 26 с.

31. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах Союза ССР: ВСН 56–78. – Введ. 1979–01–01 / Минтрансстрой СССР, МПС СССР. – М.: Транспорт, 1978. – 175 с.

32. Сотников, Е. А. Эксплуатационная работа железных дорог (состояние, проблемы, перспективы) / Е. А. Сотников. – М.: Транспорт, 1986. – 256 с.

33. Кобзев, В. А. Технические средства обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте: Учебно-методическое пособие / В. А. Кобзев, М. М. Алаев, Е. А. Овчинникова, Н. О. Бересток. – М.: РУТ (МИИТ), 2020. – 151 с.

34. Ильин, А. Г. Повышение безопасности станционных транспортных процессов на основе развития метода расчета закрепления подвижного состава с варьируемыми параметрами: дис. ... кандидата техн. наук: 2.9.4 / А. Г. Ильин. – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2022. – 203 с.

35. Омаров, К. А. Перспективы развития сортировочных путей / К. А. Омаров, Б. Ж. Куатов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2010. – № 3(64). – С. 27-30.

36. Шипулин, Н. П. Комплексная автоматизация и механизация / Н. П. Шипулин, А. Н. Шабельников // Автоматика, связь, информатика. – 2017. – № 10. – С. 5-7.

37. Шабалин, Н. П. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях / Н. П. Шабалин. – М., Транспорт, 1973, – 184 с.

38. Грунтов, П. С. Теоретические основы технологии и развития сортировочных станций как основных элементов транспортных систем: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / П. С. Грунтов. – М.: МИИТ, 1977, – 39 с.

39. Бернгард, К. А. Способ расформирования составов на комплексе из двух последовательно расположенных сортировочных горок / К. А. Бернгард, В. А. Буянова, А. П. Жукова, Н. Г. Степанов // Бюллетень «Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки». – 1972, № 7, – 67 с.
40. Архангельский, Е. В. Уровни загрузки и потребная мощность устройств сортировочных станций / Е. В. Архангельский. – М.: Транспорт, 1975. – 128 с.
41. Реутов, И. Д. Метод выбора специализации сортировочных путей / И. Д. Реутов // Железнодорожный транспорт. – 1976. – № 8. С. 32-34.
42. Селезнев, В. А. Выбор специализации путей сортировочного парка / В. А. Селезнев, В. И. Цыгура // Железнодорожный транспорт. – 1979. – № 3. – С. 30.
43. Корешков, А. Н. Влияние простоев в ожидании формирования поездов на перерабатывающую способность сортировочного комплекта / А. Н. Корешков // Труды МИИТ, вып. 379, М., 1974, – С. 128-145.
44. Быкадоров А.В. Системное исследование технологии, оснащения, пропускной и перерабатывающей способности технических станций: дис. д-ра техн. наук: 05.22.08 / А.В. Быкадоров; Новосиб. ин-т инж. ж.-д. трансп. Новосибирск, 1980. – 385 с.
45. Сотников, Е.А. Интенсификация работы сортировочных станций / Е. А. Сотников. – М.: Транспорт, 1979. – 239 с.
46. Москалев, П. И. Непрерывность процессов переработки вагонов на станции / П. И. Москалев. – М.: Транспорт, 1976. – 160 с.
47. Коваленко, Н. А. Совершенствование переработки на сортировочных станциях вагонопотока, запрещенного к роспуску с горок: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.08 / Н. А. Коваленко. – М.: МИИТ, 1986. – 239 с.
48. Щепанов, С. Л. Техничко-экономические характеристики сортировочных станций в системе организации вагонопотоков: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.08 / С. Л. Щепанов. – М.: РГОТУПС, 2002. – 183 с.

49. Щепанов, С. Л. Электронное «досье» сортировочной станции / С. Л. Щепанов // Железнодорожный транспорт. – 2000. – № 3. – С. 22-25.

50. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД», утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2018 г. № 2872/р.

51. Козлов, П. А. Теоретические основы, организационные формы и методы оптимизации гибкой технологии транспортного обслуживания заводов черной металлургии: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / П. А. Козлов. – М.: МИИТ, 1988. – 350 с.

52. Осокин, О. В. Интеллектуальное сопровождение производственных процессов на железнодорожном транспорте: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / О. В. Осокин. – Екатеринбург: УрГУПС, 2014. – 355 с.

53. Пермикин, В. Ю. Автоматизация структурно-технологической оптимизации железнодорожных станций: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.08 / В. Ю. Пермикин. – Екатеринбург: УрГУПС, 1999. – 137 с.

54. Тушин, Н. А. Системная интеграция в транспортных процессах (теоретические основы, организационные формы, методы оптимизации): дис. д-ра техн. наук: 05.22.08 / Н. А. Тушин. – Екатеринбург: УрГУПС, 2012. – 291 с.

55. Колокольников, В. С. Автоматизированное структурно-технологическое исследование железнодорожных станций: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.08 / В. С. Колокольников. – Екатеринбург: УрГУПС, 2013. – 151 с.

56. Тимухина, Е. Н. Повышение функциональной надежности железнодорожных станций при технологических сбоях: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / Е. Н. Тимухина. – Екатеринбург: УрГУПС, 2011. – 384 с.

57. Александров, А. Э. Расчет и оптимизация транспортных систем с использованием моделей (теоретические основы, методология): автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / А. Э. Александров. – Екатеринбург: УрГУПС, 2008. – 50 с.

58. Ададунов, С. Е. Разработка системы процессного управления безопасностью железнодорожных перевозок (в том числе на основе

автоматизированной системы мониторинга состояния подвижного состава и пути), защиты объектов железнодорожного транспорта на базе оценки стратегических рисков тяжелых катастроф / С. Е. Ададулов, Е. Н. Розенберг // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО РЖД. – 2010. – № 3. – С. 27-41.

59. Ададулов, С. Е. Оптимизация управления инфраструктурой и безопасностью движения / С. Е. Ададулов, Е. Н. Розенберг, И. Н. Розенберг // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 9. – С. 25-30.

60. Патент № 2452643 С1 Российская Федерация, МПК В61L 17/00, В61В 1/00. система формирования многогруппных составов : № 2010139116/11 : заявл. 23.09.2010 : опубл. 10.06.2012 / С. Е. Ададулов, А. В. Николаев, Е. Н. Розенберг [и др.]; заявитель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте».

61. Кобзев, В. А. Безопасность движения поездов: эволюция форм и методов контроля / В. А. Кобзев, Н. О. Бересток // Наука и техника транспорта. – 2019. – № 4. – С. 57-59.

62. Кобзев, В. А. Технические средства сортировочных горок, обеспечивающие безопасность движения: учебное пособие: для студентов специальности 190701 «Организация перевозок и управление на транспорте (железнодорожный транспорт)» / В. А. Кобзев; Московский гос. ун-т путей сообщ. Каф. «Ж.-д. станции и узлы». – М.: МГУПС (МИИТ), 2009. – 21 с.

63. Кобзев, В. А. Развитие технических средств обеспечения безопасности станционных процессов: учеб. пособие / В. А. Кобзев. – М.: МГУПС (МИИТ), 2008 – 76 с.

64. Кобзев, В.А. Повышение безопасности работы железнодорожных станций на основе совершенствования и развития станционной техники: учебное пособие / В. А. Кобзев, И. П. Старшов, Е. И. Сычев. — М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. – 264 с.

65. Гапанович, В. А. Некоторые вопросы управления ресурсами и рисками на железнодорожном транспорте на основе состояния эксплуатационной надежности и безопасности объектов и процессов (проект УРРАН) / В. А. Гапанович, А. М. Замышляев, И. Б. Шубинский // Надежность. – 2011. – №1. – С. 2-8.

66. Шубинский, И. Б. Основные научные и практические результаты разработки системы УРРАН / И. Б. Шубинский, А. М. Замышляев // Железнодорожный транспорт. – № 10. – 2012. – С. 23-28.

67. Замышляев, А. М. Экономические критерии принятия решений о замене основных средств на основе методологии УРРАН / А. М. Замышляев, М. Ю. Рачковский, М. С. Никифорова // Экономика железных дорог. – № 12. – 2012. – С. 11-22.

68. Замышляев, А. М. Метод управления надежностью и функциональной безопасностью объектов железнодорожного транспорта на основе оценки рисков / А. М. Замышляев, А. О. Ермаков, Е. О. Новожилов // Надежность. – № 4. – 2012. – С. 149-157.

69. Замышляев, А. М. Технология анализа и оценки рисков в эксплуатационной работе ОАО «РЖД» на основе показателей эксплуатационной надежности и безопасности / А. М. Замышляев // Ядерные измерительно-информационные технологии. – 2011. – №2(38). – С. 86-93.

70. Замышляев, А. М. Создание системы АС УРРАН / А. М. Замышляев, И. Н. Розенберг, С. В. Калинин // Железнодорожный транспорт. – № 10. – 2012. – С. 41-44.

71. Шабельников, А. Н. Обслуживание и эксплуатация КСАУ СП и КСАУ КС (монография) / А. Н. Шабельников, В. Н. Соколов, В. И. Сачко, В. Р. Одикадзе, И. А. Ольгейзер, С. А. Рогов, А. Л. Юндин, Д. В. Родионов. – Ростов-на-Дону, НИИАС, 2012 г.

72. Шабельников, А. Н. Средства автоматизации сортировочной горки ст. Бекасово Московской ж.д. / А. Н. Шабельников, В. Н. Соколов //

Железнодорожный транспорт. Серия: Сигнализация и связь. Экспресс-информация. Москва: ЦНИИТЭИ, 2003. – выпуск 2-3.

73. Шабельников, А. Н. Актуальные проблемы повышения безопасности роспуска составов на сортировочных горках / А. Н. Шабельников, В. Н. Соколов // Сборник трудов 4-й научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». – Москва. 2005.

74. Шабельников, А. Н. Инновационная технология плавного управления тормозными средствами / А. Н. Шабельников, И. А. Ольгейзер, С. А. Рогов // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 3. – С.15-17.

75. Шабельников, А. Н. Управление тормозными средствами сортировочных горок: повышение качества и эффективности / А. Н. Шабельников, И. А. Ольгейзер, С. А. Рогов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – № 2(58). – С. 74-79.

76. Ольгейзер, И. А. Расширение возможностей КСАУ СП / И. А. Ольгейзер, С. А. Рогов, М. А. Жальский // Автоматика, связь, информатика. – 2017. – № 1. – С. 24-25.

77. Бессоненко, С. А. Теория расчета сортировочных горок для различных климатических зон: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / С. А. Бессоненко. – М.: МГУПС (МИИТ), 2010. – 419 с.

78. Бессоненко, С. А. Распределения вероятностей удельного сопротивления движению отцепов на сортировочных горках / С. А. Бессоненко, А. А. Гунбин, А. А. Климов [и др.] // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 1(64). – С. 52-61.

79. Бессоненко, С. А. Исследование параметров основного удельного сопротивления движению вагонов при скатывании с сортировочной горки / С. А. Бессоненко, А. А. Гунбин, А. А. Климов [и др.] // Известия Транссиба. – 2023. – № 1(53). – С. 53-62.

80. Бессоненко, С. А. Распределения вероятностей удельного сопротивления движению разных типов вагонов в сортировочном парке /

С. А. Бессоненко, А. А. Гунбин, А. А. Климов [и др.] // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2022. – № 1(4). – С. 12-17.

81. Климов, А. А. Проблемы обеспечения безопасности переработки вагонопотоков на сортировочных горках в современных условиях / А. А. Климов // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. – 2021. – № 1(3). – С. 124-139.

82. Шабельников, А. Н. Перспективы развития сортировочных станций / А. Н. Шабельников // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 6. – С.23-25.

83. Розенберг, И. Н. Цифровая сортировочная станция / И. Н. Розенберг, А. Н. Шабельников // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 10. – С.13-17.

84. Костюк, Б. С. Модернизация сортировочных станций в Северной Америке / Б. С. Костюк, П. В. Куренков, М. А. Нехаев, И. Р. Рувинов // Железнодорожный транспорт. – 2014. – № 11. – С.71-75.

85. Костюк, Б. С. Модернизация сортировочных станций на железных дорогах Северной Америки / Б. С. Костюк, П. В. Куренков, М. А. Нехаев, И. Р. Рувинов // Вестник транспорта. – 2013. – № 12. – С. 33-41.

86. Павлов, Л. Н. Автоматизация и механизация процессов на сортировочных станциях. Зарубежный опыт / Л. Н. Павлов // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 1. – С.55-61.

87. Брендт, Т. Сортировочные горки на железных дорогах мира / Т. Брендт, С. В. Власенко // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 6. – С.45-48.

88. Шабельников, А. Н. Зарубежные системы автоматизации сортировочных горок / А. Н. Шабельников, В. Н. Иванченко // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 3. – С. 45-48.

89. Siemens MSR32: [электронный ресурс] – URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9a9209ef-619c-419f-b038-bbb1edae73b9/siemens-msr32-general-rus.pdf> (Дата обращения 15.03.2021).

90. Юдин, А. А. Опыт эксплуатации системы MSR32 на российской сортировочной горке / А. А. Юдин, Ю. С. Смагин, А. Е. Белов, С. С. Сероштанов // Автоматика, связь, информатика. – 2020. – № 5. С. 13-16.
91. Левин, Б. А. Цифровая железная дорога: принципы и технологии / Б. А. Левин, В. Я. Цветков // Мир транспорта. – 2018. – Т. 16. – №3 (76). – С.50-61.
92. Распоряжение ОАО «РЖД» от 13.04.2017 г. № 711р «О разработке, согласовании и утверждении техническо-распорядительных актов станций и приложений к ним в ОАО «РЖД».
93. Инструкция по расчету максимально допустимой длины отцепа при роспуске на сортировочных горках, утвержденная распоряжением Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД» от 1 апреля 2013 года № ЦД49-р.
94. Распоряжение ОАО «РЖД» от 16.01.2018 г. №55р «Об утверждении технических требований на системы и устройства железнодорожной автоматики и телемеханики сортировочных горок».
95. Технический регламент «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта», утверждён постановлением Правительства Российской Федерации от 15.07.2010 г. № 525.
96. Вершинский, С. В. Динамика вагона: Учебник для вузов / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов // Под. ред. С. В. Вершинского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
97. Бутиков, Е. И. Физика: Учеб. пособие. Кн. 1. Механика / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев. – М.: Физматлит, 2004. – 352 с.
98. Тишков, Л. Б. Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Л. Б. Тишков [и др.]. – М.: Транспорт, 1994. – 220 с.
99. Муха, Ю. А. Построение кривых скорости скатывания длинных отцепов с сортировочной горки и сравнение этих кривых с опытными / Ю. А. Муха // Вопросы механизации и автоматизации сортировочных горок: Труды ДИИТ. – Днепропетровск, 1962. Вып. 41. – С. 53-85.

100. Анисимов, В. А. Тяговые расчеты: Монография / В. А. Анисимов, В. В. Анисимов. – Хабаровск. 2003 г.

101. Бузанов, С. П. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных устройств / С. П. Бузанов, А. М. Карпов, М. А. Рыцарев. – М.: Транспорт, 1965. – 232 с.

102. Нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожных станциях ОАО «РЖД», нормативы численности бригад маневровых локомотивов, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 08 февраля 2007 г. М.: Техинформ, 100 с.

103. Шейкин, В. П. Эксплуатация механизированных сортировочных горок / В. П. Шейкин. – М.: Транспорт, 1992. – 240 с.

104. Методические рекомендации по составу и содержанию обосновывающих материалов по инвестиционным проектам, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 28 ноября 2016 г. № 2396р.

105. Распоряжение Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД» от 12 февраля 2019 года № ЦД-35р «О внесении изменений в Инструкцию по расчету максимально допустимой длины отцепа при роспуске на сортировочных горках, утвержденную 24 декабря 2012 г. и введенную в действие распоряжением от 1 марта 2013 г. № ЦД-49р».

106. Гунбин, А. А. Совершенствование технологии работы сортировочных горок с многовагонными отцепами: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.08 / А. А. Гунбин. – Новосибирск: СГУПС, 2019. – 187 с.

107. Корниенко, К. И. Совершенствование метода расчета продольного профиля сортировочных путей железнодорожных станций: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.08 / К. И. Корниенко. – Новосибирск: СГУПС, 2019. – 170 с.

108. Бобровский, В.И. Дифференциальные уравнения движения отцепа и методы их решения / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – №6. – С. 34-39.

109. Марков, Д. П. Стояночные тормозные башмаки для закрепления подвижного состава на станционных путях. Полигонные испытания /

Д. П. Марков, И. Н. Воронин, Н. П. Шипулин, В. И. Марышев, А. В. Сухов, М. В. Забавина, В. В. Гузанов, А. В. Куминов // Вестник ВНИИЖТ. – 2016. – Т. 75. – № 5. – С. 308-317.

110. Бородин, А. Ф. Технология работы железнодорожных направлений и система организации вагонопотоков: учеб. пособие / А. Ф. Бородин, А. П. Батурин, В. В. Панин // Под ред. А.Ф. Бородина. — М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. – 366 с.

111. Шабельников, А. Н. Цифровизация сортировочного комплекса / А. Н. Шабельников, В. В. Дмитриев, И. А. Ольгейзер // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – № 1. – С. 19-22.

112. Шабельников, А. Н. Комплексная система автоматизированного управления сортировочным процессом: задачи, функции, основные показатели / А. Н. Шабельников // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 10. – С. 34-37.

113. Шабельников, А. Н. КСАУ СП – новое направление автоматизации сортировочных горок / А. Н. Шабельников, В. Н. Соколов // Автоматика, связь, информатика. – 2017. – № 8. – С. 2-4.

114. Шабельников, А. Н. Развитие КСАУ СП / А. Н. Шабельников, В. Р. Одикадзе, Е. А. Пушкарев // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – № 7. – С. 10-14.

115. Соколов, В. Н. Комплексная система автоматизации сортировочных процессов: техническое, технологическое, интеллектуальное обеспечение: дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.06 / В. Н. Соколов. – Ростов-на-Дону, 2008. – 203 с.

116. Патент № 2779427 С1 Российская Федерация, МПК E01B 35/00, B61J 3/02, B61L 17/02. Способ диагностики продольного профиля железнодорожных путей сортировочного парка: № 2022113647: заявл. 23.05.2022: опубл. 06.09.2022 / А. И. Долгий, К. И. Корниенко, И. А. Ольгейзер [и др.]

117. Улучшение использования путевого развития сортировочных станций/ ВНТО железнодорожников и трансп. строителей. – М.: Транспорт, 1991. – 48 С.

118. Шавзис, С. С. Автоматизация расчета поездообразования на сортировочных станциях: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.08 // С. С. Шавзис. – Екатеринбург: УрГУПС, 2003. – 157 с.

119. Методика проведения исследований проектов развития железнодорожных станций и линий с определением «узких мест», влияния на пропускные и перерабатывающие способности, рациональной технологии и прогнозируемых эксплуатационных показателей с использованием аппарата математического моделирования / ОАО «РЖД»: Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 09.01.2018 г. № 2р. – М.: ОАО «РЖД», 2018. – 75 с.

Приложение А. Примеры результатов расчета параметров применения нестационарных заграждающих средств

Таблица А.1 – Результаты расчета определения необходимости формирования «барьерных групп» вагонов на свободных сортировочных (сортировочно-отправочных) путях до начала роспуска

№ пути	Необходимость в формировании «барьерной группы» вагонов при различных погодных условиях		
	Нормальные условия	Сильный ветер	Штормовой ветер
Станция Е			
14	«Барьерная группа» вагонов не требуется при обеспечении скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции не более 6 км/ч.	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!
23	«Барьерная группа» вагонов не требуется при обеспечении скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции не более 4,6 км/ч.	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!
Станция А			
53	«Барьерная группа» вагонов не требуется при обеспечении скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции не более 9,8 км/ч.	«Барьерная группа» вагонов не требуется при обеспечении скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции не более 3,1 км/ч.	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!
Станция Л			
12	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!
18	«Барьерная группа» вагонов не требуется при обеспечении скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции не более 3,5 км/ч.	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!
24	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!
Станция М			
13	«Барьерная группа» вагонов не требуется при обеспечении скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции не более 11 км/ч.	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!
18	«Барьерная группа» вагонов не требуется при обеспечении скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции не более 10,1 км/ч.	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!	Требуется установка «барьерной группы» вагонов!

Таблица А.2 – Результаты расчета величин и норм закрепления «барьерных групп» вагонов

№ пути	Минимальная длина «барьерной группы» и минимальное количество тормозных башмаков для ее закрепления при различных погодных условиях											
	Нормальные условия				Сильный ветер				Штормовой ветер			
	Вагонопоток, накапливаемый на пути:				Вагонопоток, накапливаемый на пути:				Вагонопоток, накапливаемый на пути:			
	Смешанный (груженые / груженые и порожние вагоны)		Порожние вагоны		Смешанный (груженые / груженые и порожние вагоны)		Порожние вагоны		Смешанный (груженые / груженые и порожние вагоны)		Порожние вагоны	
	Минимальное кол-во груженых вагонов	Кол-во тормозных башмаков	Количество вагонов	Кол-во тормозных башмаков	Минимальное кол-во груженых вагонов	Кол-во тормозных башмаков	Количество вагонов	Кол-во тормозных башмаков	Минимальное кол-во груженых вагонов	Кол-во тормозных башмаков	Количество вагонов	Кол-во тормозных башмаков
Станция Е												
14	0	0	0	0	2	4	3	5	2	4	3	5
23	0	0	0	0	2	4	3	5	2	4	3	5
Станция А												
53	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	4	8
Станция Л												
12	2	3	2	3	2	4	2	4	2	4	2	4
18	0	0	0	0	2	4	2	4	2	4	2	4
24	2	3	2	3	2	4	2	4	2	4	2	4
Станция М												
13	0	0	0	0	3	5	3	5	3	5	3	5
18	0	0	0	0	3	5	3	5	3	5	3	5

Приложение Б. Акт внедрения результатов работы

Утверждаю:

Начальник

Научно-технического комплекса
Обеспечения безопасности и
надежности перевозочного
процесса АО «НИИАС», к.т.н.

 В.Цуцков

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Бородина Александра Андреевича на тему: «Обоснование эффективных
параметров сортировочной работы при гарантированном обеспечении
безопасности движения в горочном комплексе»

В ОАО «РЖД» принято в постоянную эксплуатацию программное обеспечение Подсистемы нормативного обеспечения планировщика работы железнодорожных станций для ПТК ИСУЖТ сетевого уровня (ИСУЖТ НС) в части ведения в техническо-распорядительных актах железнодорожных станций ОАО «РЖД» параметров «барьерных групп» вагонов для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков, разработчиком которого является Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС») (Акт от 20.11.2018 г. № ГВЦ-112).

В автоматизированной системе ИСУЖТ НС применены результаты диссертационного исследования А.А. Бородина, выполненного на тему: «Обоснование эффективных параметров сортировочной работы при гарантированном обеспечении безопасности движения в горочном комплексе», включающие в себя:

методику определения необходимости формирования «барьерных групп» вагонов на свободных путях сортировочных (сортировочно-отправочных) парков до начала расформирования состава;

методику расчета величины «барьерных групп» вагонов и норм их закрепления для установки перед роспуском на свободных путях сортировочных парков, обеспечивающую определение потребного числа вагонов в «барьерной группе» и потребного числа тормозных башмаков для

ее закрепления с учетом различных сочетаний основных влияющих факторов;

способ определения возможности остановки отцепа при его наезде на ограждающий тормозной башмак.

В настоящее время с использованием Подсистемы нормативного обеспечения планировщика работы железнодорожных станций для ПТК ИСУЖТ сетевого уровня (ИСУЖТ НС) осуществляется ведение параметров «барьерных групп» вагонов на железнодорожных станциях сети ОАО «РЖД».

Начальник отделения
технологической постановки задач
АО «НИИАС»



А.Ю.Кононова