

На правах рукописи



Сивицкий Дмитрий Андреевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ
СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МНОГОГРУППНОЙ
ПОДБОРКИ ВАГОНОВ**

05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новосибирск – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО СГУПС)

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Карасев Сергей Владимирович

Официальные оппоненты:

Левин Дмитрий Юрьевич, доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)», профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» (ФГБОУ ВО РУТ (МИИТ))

Колокольников Виталий Сергеевич, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения», доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой» (ФГБОУ ВО УрГУПС)

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО СамГУПС)

Защита диссертации состоится «05» октября 2018 г. в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 218.013.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66, ауд. Б2-15 – зал диссертационных советов.

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

Автореферат диссертации разослан «28» августа 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тимухина Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Сортировочная работа с местным вагонопотоком является одним из основных элементов перевозочного процесса. Ее организация непосредственно влияет на качество взаимодействия станций и путей необщего пользования, работу железнодорожных узлов, участков железных дорог.

Одним из направлений совершенствования местной работы является формирование многогруппных составов, а также подач на пути необщего пользования. Концентрация работы по предварительной подборке вагонов на крупных станциях, имеющих соответствующее техническое оснащение, при формировании сборных и участковых поездов позволит освободить от этой маневровой работы промежуточные и грузовые станции. В этом случае за счет сокращения маневровой работы возможно высвобождение маневровых средств на промежуточных и грузовых станциях, а также ускорение продвижения вагонов на заключительном этапе перевозки. Помимо этого, при обслуживании путей необщего пользования подборка вагонов по заявке клиента (по подъездным путям, грузовым фронтам и другим признакам) может рассматриваться в качестве дополнительной услуги, что соответствует принципам клиентоориентированности и может служить дополнительным источником дохода ОАО «РЖД».

Возможности выполнения многогруппной подборки вагонов на существующих технических и грузовых станциях ограничены в связи с недостаточными резервами путевого развития, отсутствием специализированных сортировочных устройств и соответствующей технологии работы. Действующими Правилами и нормами проектирования сортировочных устройств и Правилами и техническими нормами проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм для многогруппной подборки вагонов рекомендуется применение специализированных сортировочных устройств горочного типа. В состав сортировочного устройства, помимо собственно сортировочной горки, также включается группировочный или сортировочно-группировочный парк. В Правилах и нормах проектирования сортировочных устройств приводятся требования к количеству и вместимости путей группировочного парка, однако рекомендации даются только для одного из нескольких возможных вариантов технологии – способа подборки вагонов путем последовательного выделения групп, который является весьма производительным, но при этом требует использования значительного путевого развития, что в условиях реальных станций не всегда возможно.

Задача организации подборки вагонов на большое число групп (до 25-30) в условиях ограниченного путевого развития (при использовании 2-5 путей для группировки вагонов) может быть решена за счет применения способов интенсивной сортировки вагонов, таких как степенной, комбинаторный и других, менее требовательных к путевому развитию. Каждому из этих способов соответствует определенный уровень перерабатывающей способности и конструктивные параметры сортировоч-

ного устройства, в частности, необходимая полезная длина и количество группировочных путей.

Вышеизложенное указывает на потребность в совершенствовании методов расчета конструктивных параметров специализированного сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов (в частности, группировочного парка), и определения его наличной перерабатывающей способности, с учетом интенсивной технологии подборки вагонов на ограниченном числе путей. Это позволит повысить качество проектных решений при строительстве новых и переустройстве существующих станций с сооружением специализированного сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов. Таким образом, совершенствование методов расчета параметров сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов, проектируемых в условиях ограниченных возможностей развития железнодорожных станций, является актуальным направлением научных исследований.

Степень разработанности темы исследования. Значительный вклад в развитие методов расчета и проектирования сортировочных устройств для многогруппной сортировки вагонов внесли такие отечественные и иностранные ученые и специалисты, как Э.В. Бакумов, В.И. Бобровский, Н.И. Брехов, О.О. Гренкевич, В.В. Григорьев, Ю.Н. Гусев, С.В. Карасев, В. М. Макаров, П. Месарош, Ю.А. Муха, П.Р. Потапов, И.Я. Скворон, Е.М. Тишкин, Л.Б. Тишков, В.И. Уманский, Ф. Флодр, В.Н. Чернов, О.Н. Числов, Н.Н. Шабалин. Труды ученых направлены на оптимизацию процесса сортировки и схемных решений сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов.

Целью диссертационной работы является совершенствование методов расчета конструктивных и технологических параметров сортировочных устройств, специализированных для многогруппной подборки вагонов на ограниченном числе путей.

Для достижения указанной цели потребовалось решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ отечественного и зарубежного опыта организации многогруппной подборки вагонов, а также методов расчета конструктивных и технологических параметров сортировочных устройств, специализированных для многогруппной подборки вагонов на ограниченном числе путей.

2. Разработать математическую модель работы сортировочного устройства горочного типа, специализированного для многогруппной подборки вагонов на ограниченном числе путей, при использовании различных способов интенсивной сортировки.

3. Обосновать необходимость учета структуры перерабатываемого вагонопотока при расчете величины технологического горочного интервала и необходимой вместимости группировочных путей.

4. Разработать методику комплексного обоснования рациональных конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов.

5. Разработать рекомендации по применению различных вариантов технологии многогруппной подборки вагонов и конструкции группировочного парка, а также апробировать предлагаемые конструктивные решения, полученные с применением усовершенствованных методов расчета, для условий существующей железнодорожной станции.

Объект исследования. Транспортная сеть, структуры и линейные предприятия этой сети.

Область исследования. Технология транспортных процессов. Развитие транспортной сети, ее структур и линейных предприятий.

Методология и методы исследования. Теоретической и методологической основой исследований являются труды отечественных и зарубежных ученых и специалистов в области расчета и проектирования сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов, оптимизации сортировочной работы с местными вагонами, современных методов исследования работы сложных систем. В качестве основного метода исследования использовано математическое моделирование процесса сортировочной работы, включающее в себя аналитические модели, полученные на основе регрессионного анализа, а также имитационную модель работы сортировочного устройства для многогруппной сортировки, представляющую его в виде системы массового обслуживания. Для формирования исходных данных модели, а также анализа полученных результатов применены методы теории вероятностей и математической статистики. Также использованы элементы теории надежности, методы вариантного проектирования железнодорожных станций, технико-экономического сравнения вариантов проектных и технологических решений.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Предложен метод определения затрат времени на маневровые операции при многогруппной подборке вагонов на ограниченном числе путей на основе тяговых расчетов и регрессионного анализа.

2. Разработана модель работы сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов, представленная в виде системы массового обслуживания, обеспечивающая расчет необходимой вместимости и количества группировочных путей, перерабатывающей способности для различных способов интенсивной сортировки.

3. Обоснована необходимость учета структуры перерабатываемого вагонопотока (числа подбираемых групп вагонов, вероятностей их появления, массы и длины отцепов) при расчете перерабатывающей способности сортировочного устройства и необходимой вместимости группировочных путей.

4. Разработана методика комплексного обоснования рациональных кон-

структивных и технологических параметров сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов, по критерию минимума интегральных дисконтированных затрат.

Теоретическая и практическая значимость научного исследования. Методика комплексного обоснования рациональных конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства позволит повысить уровень обоснованности решений при разработке проектов сортировочных устройств, специализированных для многогруппной подборки вагонов. Разработанная математическая модель и методика могут быть использованы для анализа работы существующих станций и принятия решений об изменении технологии сортировки вагонов и необходимости переустройства путевого развития. Применение полученных рекомендаций по количеству и вместимости группировочных путей позволит получить экономический эффект за счет уменьшения потребности в путевом развитии как при проектировании новых станций, так и переустройстве существующих. Результаты исследований могут быть использованы при корректировке норм проектирования сортировочных устройств, определении эффективности и условий организации многогруппной подборки вагонов на станциях общей сети ОАО «РЖД» и путях необщего пользования.

Реализация и внедрение результатов работы. Разработанные рекомендации по расчету параметров группировочных парков с учетом структуры перерабатываемого вагонопотока приняты к использованию Западно-Сибирской дирекцией управления движением – структурным подразделением Центральной дирекции управления движением – филиала ОАО «РЖД», прошли апробацию для условий грузовой станции с большим объемом сортировочной работы Новокузнецк-Восточный Новокузнецкого железнодорожного узла при определении конструктивных и технологических параметров вспомогательного сортировочного устройства для многогруппной сортировки.

Получено свидетельство о государственной регистрации объекта интеллектуальной собственности – программы для моделирования многогруппной сортировки вагонов, определения рациональных параметров сортировочного устройства «МГС-Аналитика» (свидетельство о государственной регистрации ОФЭРНиО №22335 от 06.12.2016).

Разработанная модель процесса многогруппной подборки вагонов и методика определения параметров группировочного парка используются в учебном процессе кафедры «Железнодорожные станции и узлы» СГУПС.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель работы горочного сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов.
2. Результаты статистического исследования величины технологического горочного интервала при многогруппной подборке вагонов на ограниченном числе пу-

тей, а также необходимой вместимости путей группировочного парка.

3. Методика комплексного обоснования рациональных конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов.

4. Рекомендации по применению различных вариантов технологии многогруппной сортировки и конструкции группировочного парка.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность проведенных в диссертационной работе исследований и полученных результатов обеспечивается использованием реальных данных, применением современных методов исследования, соответствующих цели и задачам исследования, в частности, математического моделирования. Подготовка данных, их анализ и интерпретация выполнены с использованием методов теории вероятностей и математической статистики. Результаты и выводы не противоречат результатам исследований других авторов. Достоверность подтверждается апробацией для условий реальной железнодорожной станции. Основные положения диссертационной работы были представлены на научных конференциях: VII Международная научно-практическая конференция «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (ИрГУПС, Иркутск, 2016 г.); IX Международная научно-техническая конференция «Политранспортные системы» (СГУПС, Новосибирск, 2016 г.); VIII Международная научно-практическая конференция «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (ИрГУПС, Иркутск, 2017 г.); II Международная научно-практическая конференция «Развитие инфраструктуры и логистических технологий в транспортных системах» (ПГУПС, Санкт-Петербург, 2017 г.); Международная научно-практическая конференция «Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика» (СГУПС, Новосибирск, 2017 г.). Результаты диссертационных исследований были представлены и получили одобрение на заседаниях кафедры «Железнодорожные станции и узлы» (СГУПС, Новосибирск, 2015-2017 гг.), на расширенном заседании кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» (УрГУПС, Екатеринбург, 2018 г.), совещаниях Западно-Сибирской дирекции управления движением (2016-17 гг.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 9 научных работах, в том числе пять статей опубликованы в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России. Получено свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФЭРНиО №22335.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы, включающего 103 наименования и восьми приложений. Содержание работы изложено на 151 странице основного текста. Диссертационная работа включает 63 таблицы и 50 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об апробации результатов исследований.

В первом разделе описана проблема увеличения объемов повторной сортировки вагонов на грузовых и сортировочных станциях, значительная доля которой приходится на повторную переработку вагонов в сборных и других многогруппных поездах. Одним из путей решения этой проблемы является применение специализированных сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов с использованием интенсивных способов сортировки на ограниченном числе путей, таких как комбинаторный, степенной и др. Способы отличаются друг от друга количеством сортировок и порядком выполнения маневровых операций с вагонами различных назначений (рисунок 1).

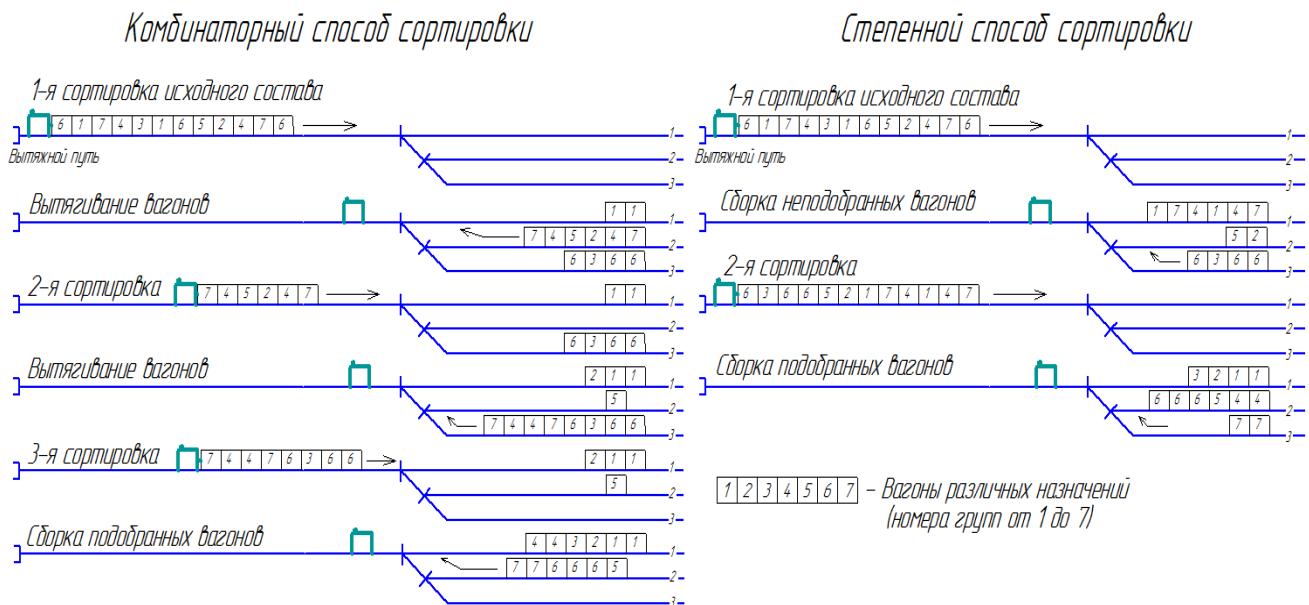


Рисунок 1 – Многогруппная подборка вагонов разными способами

В результате исследования проблем организации многогруппной подборки вагонов обоснована потребность в развитии существующих методов расчета конструктивных и технологических параметров сортировочных устройств, специализированных для этой работы.

Анализ отечественных и зарубежных разработок показал, что многогруппная подборка вагонов является сложным процессом, зависящим от комплекса факторов, часть из которых может рассматриваться как взаимозависимые и случайные. В этих условиях наибольшее распространение получили такие методы исследования, как имитационное и аналитическое моделирование. Существующие модели можно услов-

но классифицировать по функциональному назначению на оперативные, оптимизационные и проектные.

С учетом актуальности задачи совершенствования методов расчета параметров сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов на ограниченном числе путей, предложено разработать методику определения рационального варианта конструкции группировочного парка и технологии многогруппной сортировки по критерию минимума интегральных дисконтированных затрат. Для этого требуется разработка комплексной модели проектного типа, обеспечивающей возможность расчета эксплуатационных показателей процесса многогруппной сортировки с учетом конструкции сортировочного устройства, параметров перерабатываемого вагонопотока, способа интенсивной сортировки, необходимого уровня наличной перерабатывающей способности.

Второй раздел посвящен разработке математической модели многогруппной подборки вагонов на ограниченном числе путей, основой которой является аналитическое и имитационное моделирование. Назначение модели – определение технологического горочного интервала (ТГИ) и перерабатывающей способности специализированного сортировочного устройства, состоящего из горки малой мощности и группировочного парка (рисунок 2).

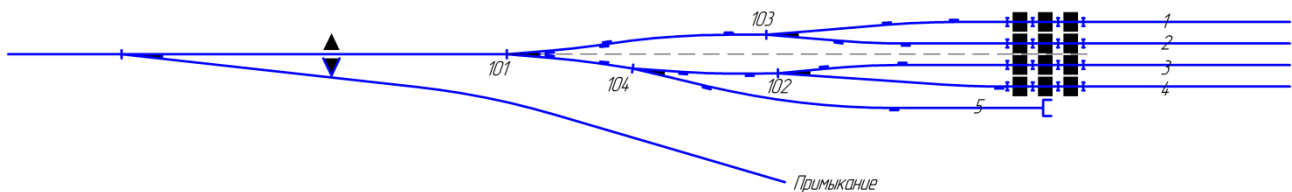


Рисунок 2 – План сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов

Для имитации процесса многогруппной подборки вагонов проведен анализ структуры ТГИ при многогруппной подборке, в результате чего выделены однократные (заезд, надвиг) и повторяющиеся операции (ропуск, вытягивание, осаживание). Выполнен анализ способов определения продолжительности их выполнения, который показал, что расчет затрат времени на такие операции, как вытягивание вагонов через горб горки, осаживание вагонов в группировочный парк, сборка вагонов с заездом на скоростной элемент спускной части, требует уточнения. Это связано с тем, что уклоны сортировочного устройства существенно отличаются от уклонов приемоотправочных и других станционных путей, что приводит к увеличению влияния массы маневрового состава на время выполнения операций. Так, например, при вытягивании маневровой группы массой 2520 т разница значений, полученных с помощью моделирования тяговых расчетов, в сравнении со значениями, полученными по действующим нормам времени, составляет около 20%. С помощью регрессионного ана-

лиза данных, полученных методом тяговых расчетов, разработаны аналитические модели, позволяющие определять время на маневровые операции с учетом массы маневрового состава и длины полурейса. Время на вытягивание вагонов из группировочного парка, мин:

$$T_{\text{выт}} = 1,47 + 0,0029l_{\text{п-р}} + 0,00052q_{\text{гр}}, \quad (1)$$

где $l_{\text{п-р}}$ – длина полурейса, м; $q_{\text{гр}}$ – масса маневровой группы, т.

Время на осаживание вагонов в группировочный парк, мин:

$$T_{\text{ос}} = 0,48 + 0,0068l_{\text{п-р}} + 0,00023q_{\text{гр}}. \quad (2)$$

Разработан алгоритм распределения вагонов по группировочным путям в процессе многогруппной подборки с учетом структуры перерабатываемого вагонопотока (длины и массы отцепов различных групп, вероятностей их появления в составе, наличия вагонов, запрещенных к роспуску с горки).

Алгоритм позволяет реализовать 5 способов многогруппной подборки: комбинаторный, степенной, ступенчатый дублирующий, ступенчатый максимальный, последовательного выделения групп. Итогом работы алгоритма является массив, содержащий информацию о расположении на путях каждого отцепа после каждой сортировки. Массив позволяет перейти к расчету горочного интервала. Разработан алгоритм расчета ТГИ, определяющий время на: роспуск вагонов, вытягивание вагонов из подгорочного парка для повторной сортировки, сборку вагонов по завершении многогруппной сортировки, осаживание вагонов для устранения окон, осаживание вагонов ЗСГ, постановку и уборку средств закрепления.

Технологический горочный интервал предложено разделить на базовый и полный. Полный ТГИ ($t_{\text{и(полн)}}^{\text{Г}}$, мин/состав) включает в себя все операции, в том числе перестановку состава на сортировочное устройство с путей других парков и уборку готового многогруппного состава, и используется для расчета перерабатывающей способности. Базовый горочный интервал (ТГИ', $t_{\text{и(баз)}}^{\text{Г}}$) исключает не зависящие от работы сортировочного устройства операции перестановки и используется для сравнения способов многогруппной сортировки. Перерабатывающую способность специализированного сортировочного устройства предлагается определять следующим образом, ваг/сут:

$$N_{\text{пер}}^{\text{МГС}} = \frac{(\alpha_{\text{гор}} 1440 - \sum T_{\text{пост}}^{\text{гор}})}{t_{\text{и(полн)}}^{\text{Г}} (1 + \rho_{\text{гор}}) \mu_{\text{повт}}^{\text{МГС}}} n_{\text{с}}^{\text{ср}}, \quad (3)$$

где $\alpha_{\text{гор}}$ – коэффициент, отражающий перерывы в работе горки из-за враждебных передвижений; $\sum T_{\text{пост}}^{\text{гор}}$ – время занятия горки постоянными операциями, такими как технологические перерывы для профилактического осмотра горочного оборудования и др., мин/сут; $\mu_{\text{повт}}^{\text{МГС}}$ – коэффициент повторной сортировки при многогруппной подборке; $\rho_{\text{гор}}$ – коэффициент, учитывающий нерасцепы, отказы технических средств; $n_{\text{с}}^{\text{ср}}$ – среднее число вагонов в подбираемых составах, ваг/состав.

Третий раздел посвящен исследованию влияния структуры вагонопотока на величину технологического горочного интервала и необходимую вместимость группировочных путей при многогруппной подборке вагонов. Структура ТГИ' представлена на рисунке 3 (повторяющиеся операции обозначены знаком «*»). Величина ТГИ' существенно отличается от горочного интервала обычного сортировочного устройства, занимающегося в основном переработкой транзитного вагонопотока, и составляет 74 мин при подборке 9-группного состава (средняя масса вагона – 60 т, средняя длина отцепа – 2 вагона) комбинаторным способом на трех путях, 77 мин – степенным способом.

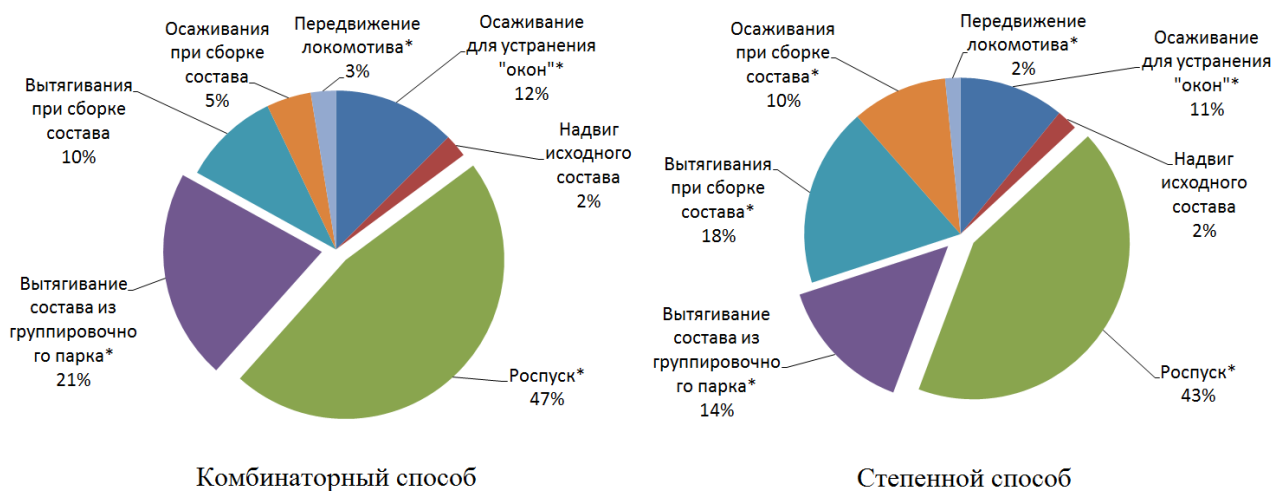


Рисунок 3 – Структура ТГИ' при многогруппной подборке вагонов

С помощью разработанной модели проведено исследование влияния средней длины и массы отцепа на величину ТГИ'. С использованием метода Монте-Карло генерировались следующие параметры вагонопотока: номер группы (равномерный закон), длина отцепа (показательный закон), масса вагона в отцепе (нормальный закон).

Установлено, что при увеличении массы вагонов, а также уменьшении длины отцепов величина ТГИ' возрастает. При максимальных и минимальных значениях массы и длины отцепов разница между получаемыми значениями ТГИ' достигает 23%, что свидетельствует о необходимости учета этих параметров структуры перерабатываемого вагонопотока в модели. Установлено, что величина ТГИ' распределена по закону, близкому к гамма-распределению (рисунок 4).

Для данных вагонопотока, представленных ранее, математическое ожидание ТГИ' составило 74,7 мин, среднее квадратическое отклонение – 3,6 мин. Критерий хи-квадрат равен 2,62, соответствующая ему вероятность – 0,64. В диссертации получены значения математического ожидания для обозначенных ранее способов сортировки при подборке числа групп от 4 до 25 на числе путей от 2 до 5.

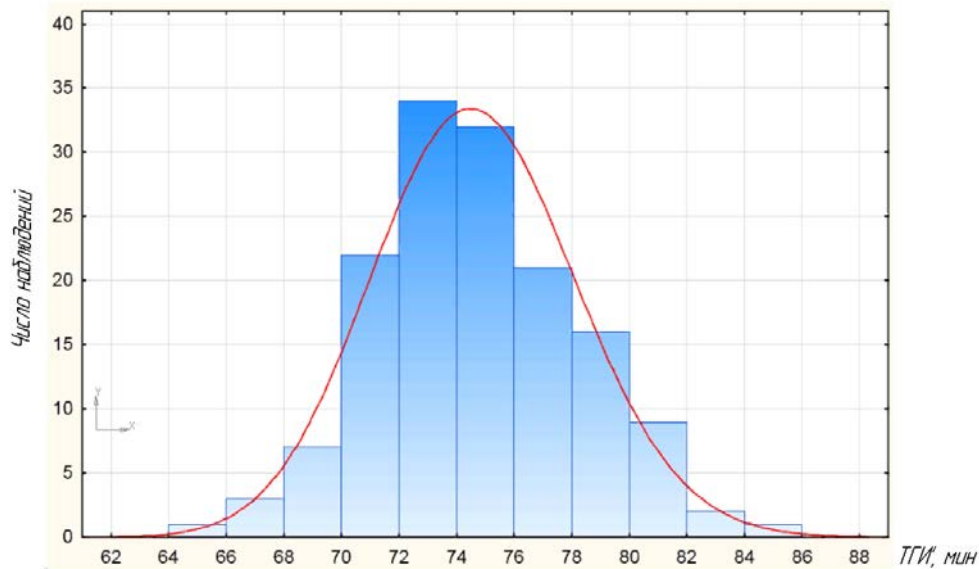


Рисунок 4 – Гистограмма распределения ТГИ' и теоретическое распределение (программа STATISTICA)

Исследовано влияние способа сортировки на необходимую вместимость группировочных путей, которая рассматривалась как случайная величина. Установлено, что при использовании комбинаторного способа суммарная вместимость группировочных путей находится в интервале от 2,6 до 2,75 полных длин состава, при степенном – от 2,3 до 2,65. Основными факторами, влияющими на вместимость, являются схема сортировки и фактическое количество групп в составе, а также функция распределения вероятностей появления групп в составе.

Установлена взаимосвязь распределения вероятностей появления групп в составе и вместимости отдельных путей группировочного парка. В частности, равномерное распределение вероятностей появления групп смещает функцию распределения вместимости путей в сторону больших значений. В зависимости от способа сортировки и группы, обладающей наибольшей вероятностью появления, вместимость путей может как увеличиваться, так и уменьшаться (рисунок 5). На рисунке представлены функции распределения необходимой вместимости отдельного группировочного пути для различных вариантов распределения вероятностей появления групп в составе при сортировке 13 групп комбинаторным способом. Варианты отличаются различной вероятностью появления отдельных групп (вероятности появления неуказанных групп распределены равномерно).

В связи с этим, на основе подходов теории надежности предложен метод определения необходимой и достаточной вместимости группировочных путей сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов. Данная возможность реализована в разработанной программе «МГС-Аналитика».

Форма кривых функций распределения зависит как от структуры вагонопотока, так и от способа сортировки и номера группировочного пути. С их помощью может

быть определена вместимость группировочного пути в зависимости от заданной вероятности размещения необходимого количества вагонов (надежности группировочного пути) в процессе многогруппной подборки. Результаты исследований подтверждают необходимость учета структуры вагонопотока при определении ТГИ' и необходимой вместимости группировочных путей.

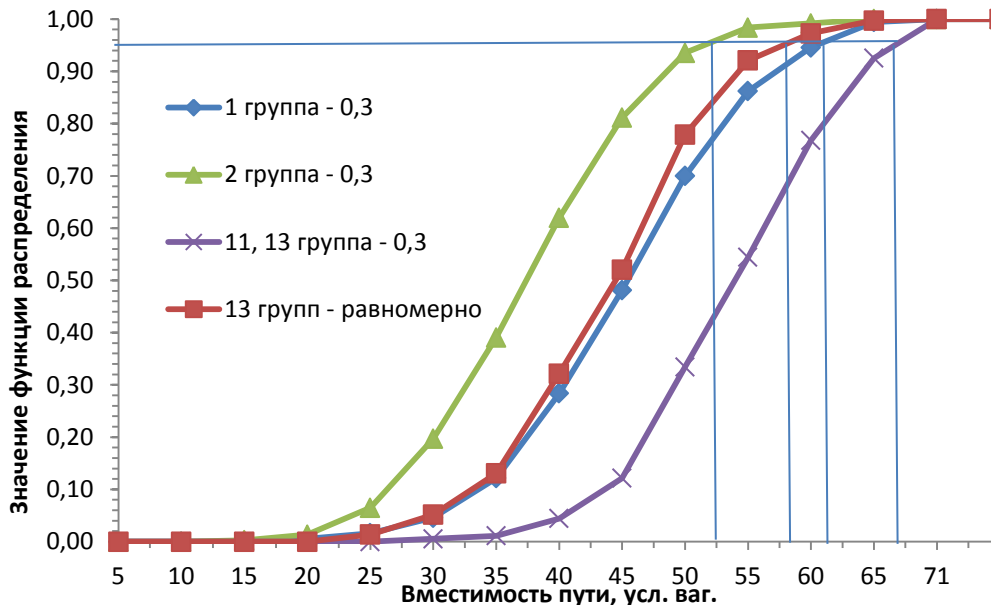


Рисунок 5 - Функции распределения вместимости группировочного пути при различной структуре вагонопотока

В четвертом разделе разработана методика определения рациональных конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов.

Исследования, проведенные в третьем разделе, показали, что эксплуатационные параметры устройства зависят от трех основных факторов: структуры вагонопотока, используемой технологии подборки вагонов и конструкции сортировочного устройства. Количество возможных сочетаний конструкции и технологии составляет $V = s \cdot p = 20$, где s – число рассматриваемых способов сортировки (5 способов), p – число возможных вариантов количества группировочных путей (4 варианта). Каждый такой вариант сочетания можно рассматривать в качестве «конструктивно-технологического варианта» (КТВ). Задача обоснования выбора рационального КТВ может быть решена с использованием показателей процесса многогруппной подборки вагонов, определяемых с помощью модели специализированного сортировочного устройства, рассмотренного в виде одноканальной системы массового обслуживания (рисунок 6). Это позволяет оценить показатели эффективности работы системы, такие как длина очереди, время нахождения в ней и др.

В качестве критерия выбора рационального конструктивно-технологического варианта приняты минимальные интегральные дисконтированные затраты, тыс. р, обеспечивающие максимальный чистый дисконтированный доход:

$$Z = K + \sum_{m=1}^n \Delta_m \alpha_m, \quad (4)$$

где K – капитальные затраты на строительство сортировочного устройства, тыс. р; Δ_m – эксплуатационные расходы по содержанию постоянных устройств, а также связанные с выполнением многогруппной сортировки на шаге m , тыс.р/год; α_m – коэффициент дисконтирования затрат шага m ; n – горизонт расчета проекта, лет.

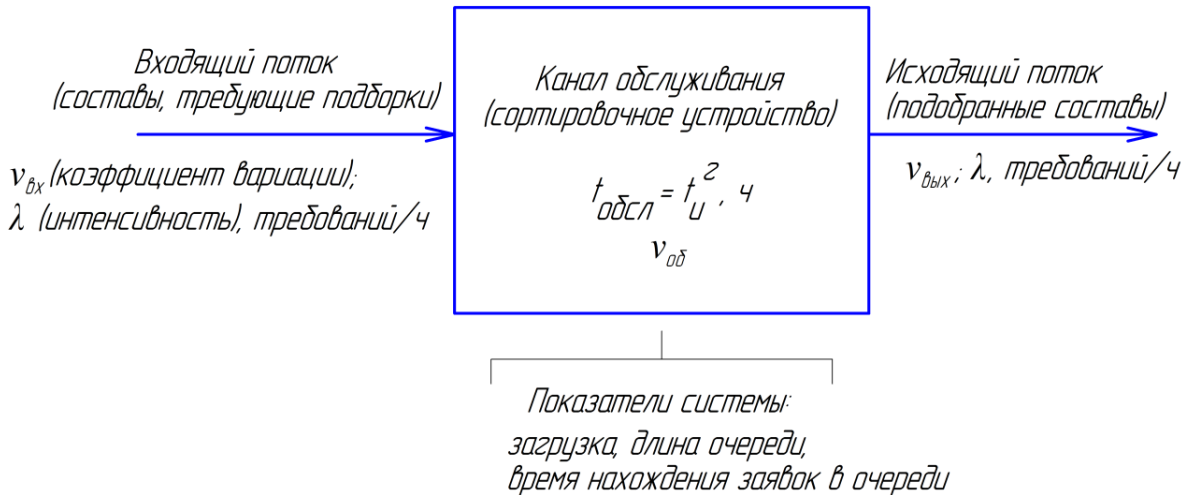


Рисунок 6 – Схема работы специализированного сортировочного устройства в виде СМО

Расчет всех элементов затрат ведется с помощью программы «МГС-Аналитика», в которую входят алгоритмы, разработанные в разделе 2, а также интегрированы элементы теории массового обслуживания (в частности, работа одноканальной СМО и определение основных показателей эффективности – рисунок 7), что в совокупности представляет собой комплексную модель сортировочного устройства.

Предложены варианты конструкции группировочного парка и его связи со станцией для схем с тупиковыми и сквозными путями, основным технологическим отличием которых является организация сборки и перестановки групп вагонов.

Разработанная методика обоснования конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов, состоит из нескольких этапов: подготовка данных о вагонопотоке; расчет показателей работы для различных вариантов организации многогруппной подборки; выбор рационального варианта сочетания конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства (КТВ); проработка конструктивных и технологических решений в соответствии с местными условиями конкретной железнодорожной станции.

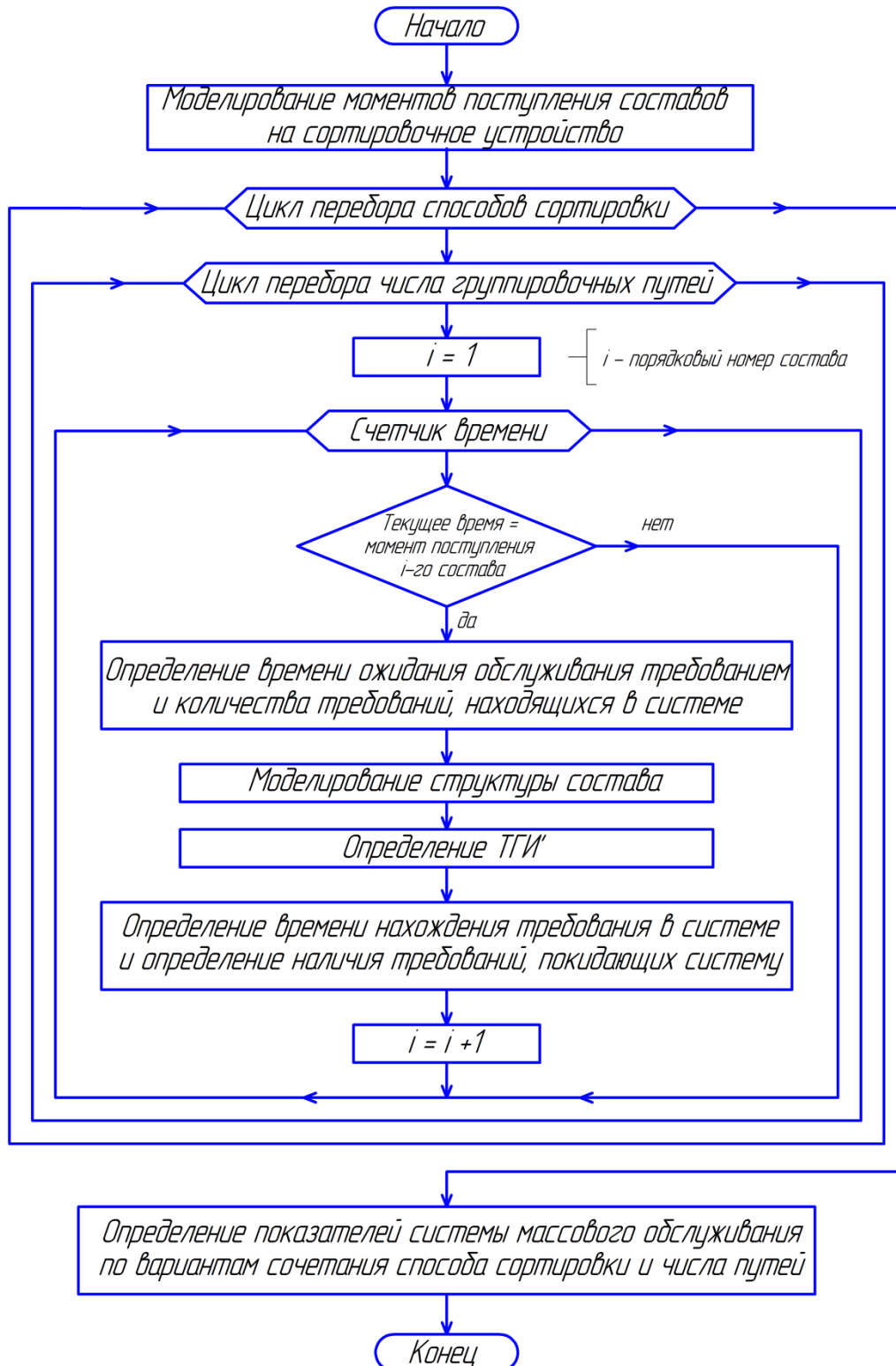


Рисунок 7 – Блок-схема имитации процесса работы специализированного сортировочного устройства

В пятом разделе с помощью полученной методики разработаны рекомендации по применению различных вариантов технологии многогруппной подборки вагонов и конструкции группировочного парка в зависимости от количества подбираемых

групп и интенсивности поступления составов на сортировочное устройство за сутки (таблица 1). В таблице представлены рациональные КТВ в виде сочетания технологии и количества группировочных путей, на которых эта технология должна быть реализована. Первый символ означает используемую технологию сортировки (К – комбинаторный, С – степенной, М – ступенчатый максимальный), второй – количество группировочных путей. При наличии конкурирующих вариантов, курсивом выделен наиболее рациональный, однако при структуре вагонопотока, отличной от представленной в таблице (например, комбинаций числа групп в поездах), требуется корректирующий расчет. Результаты, представленные в таблице 1, предлагается использовать для дополнения Правил и норм проектирования сортировочных устройств.

Таблица 1 – Рациональные варианты КТВ для различных объемов сортировочной работы и числа подбираемых групп ($n_{гр}$)

$n_{гр}$	Интенсивность поступления составов на сортировочное устройство, сост/сут.				
	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15
≤ 4	С2	С2	С2	С2	С2
5	К2	К2	К2	К2	К2
6-7	К2	К2	К3, <i>М3</i>	К3, <i>М3</i>	К3, <i>М3</i>
8	К2	К2	К2	К3	К3
9	С3 , К2	С3	С3	С3	С3, К3, <i>М3</i>
10-13	К2	<i>К2</i> , К3	<i>К3</i> , К4	К3, <i>К4</i>	К4
14-15	К2	<i>К3</i> , М3	<i>К3</i> , М3	К4	К4
16	<i>С4</i> , М3, К2	<i>С4</i> , М3, К3	<i>М3</i> , К3, С4	<i>М3</i> , К3, С4	<i>М3</i> , К3, С4
17-24	К2	К3	К3	К3	К3
25	С5	<i>С5</i> , К4, М4	<i>К4</i> , С5, М4	<i>К4</i> , С5, М4	К4

Методика может быть использована для обоснования проектных решений на реальных железнодорожных станциях. Произведена апробация разработанных предложений на грузовой станции Новокузнецк-Восточный Западно-Сибирской железной дороги. Реализация предлагаемых решений позволит организовать на станции специализированную технологическую линию по формированию многогруппных сборных поездов.

Произведен статистический анализ перерабатываемого вагонопотока, получены функции распределения количества накапливаемых сборных поездов различных назначений, а также номеров подбираемых групп в них. Разработаны различные варианты подборки групп в поездах – от фактического (4-6 групп) до потенциально возможного (16 групп). Получены рациональные КТВ и обосновано рациональное количество и вместимость группировочных путей (таблица 2). С учетом местных условий предложена схема интеграции специализированного сортировочного устройства (группировочного парка и горки малой мощности) в существующее путевое раз-

витие станции. Разработанные в диссертации предложения подтверждены актом внедрения Западно-Сибирской дирекции управления движением – филиалом Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД».

Таблица 2 – Рациональные КТВ для вагонопотока различной детальности

Число подбираемых групп	4-6	6-8	8-9	9-11	11-13	13-15	15-16
Рациональный способ сортировки	К	К	С	К	К	К	С
Число путей	3	3	3	3	3	4	4
Суммарная необходимая полезная длина, м	2380	2394	1764	2408	2408	2716	2198
ТГИ', мин	57,4	65,2	70,4	76,6	79,9	66,6	79,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги исследований, выполненных в диссертационной работе, позволяют сделать следующие выводы:

1. Выполнен анализ отечественного и зарубежного опыта организации многогруппной подборки вагонов, обоснована целесообразность ее интенсификации в условиях ограниченного путевого развития. Предложена разработка комплексной методики расчета параметров сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов на ограниченном числе путей на основе моделирования. Методика должна обеспечивать возможность расчета эксплуатационных показателей процесса многогруппной сортировки с учетом конструкции горочного сортировочного устройства, параметров перерабатываемого вагонопотока, способа интенсивной сортировки, необходимого уровня наличной перерабатывающей способности.

2. Описана структура технологического горочного интервала (ТГИ) при многогруппной сортировке с выделением характерных однократных и повторяющихся операций, обусловленных использованием интенсивных способов подборки большого числа групп на ограниченном количестве путей. Для нетиповых маневровых передвижений, таких как вытягивание группы вагонов для повторной сортировки из подгорочного парка, разработана методика определения затрат времени на основе обработки данных тяговых расчетов методом регрессионного анализа. Получены регрессионные модели для расчета затрат времени на маневровые передвижения в зависимости от массы переставляемой группы и длины полуреяса.

3. Разработана математическая модель работы сортировочного устройства горочного типа для многогруппной подборки вагонов на ограниченном числе путей при использовании различных способов интенсивной сортировки, основанная на имитационном и аналитическом моделировании. Модель позволяет определять такие показатели, как ТГИ, перерабатывающая способность, а также основные показатели эффективности устройства как системы массового обслуживания (простой в ожидании

обслуживания, длина очереди). Они определяются с учетом: структуры вагонопотока (число групп, масса и длина отцепов, наличие вагонов ЗСГ), интенсивности поступления требований в систему, технологии сортировки, конструктивных параметров сортировочного устройства. Модель реализована в виде программного продукта «МГС-Аналитика».

4. Исследовано влияние структуры вагонопотока на ТГИ' и необходимую полезную длину группировочных путей. Установлено наличие прямой зависимости между величиной ТГИ' при многогруппной подборке вагонов на ограниченном числе путей и массой отцепов, а также обратной зависимости между ТГИ' и длиной отцепов. При одном и том же числе групп разница между максимальным и минимальным значением ТГИ' достигает 23%. ТГИ' является случайной величиной, которую можно описывать гамма-распределением. Математическое ожидание ТГИ' варьируется в зависимости от структуры вагонопотока и способа сортировки от 63 до 134 минут.

5. Установлено наличие зависимости между необходимой полезной длиной группировочных путей и способами сортировки. При комбинаторном способе при различном числе групп суммарная полезная длина составляет от 2,6 до 2,75 длин состава; при степенном способе – от 2,3 до 2,65 длин состава. Таким образом, обоснована необходимость учета структуры перерабатываемого вагонопотока при расчете как величины ТГИ, так и необходимой полезной длины группировочных путей при многогруппной подборке вагонов. Предложен метод определения необходимой и достаточной вместимости группировочных путей с учетом структуры вагонопотока и способа сортировки на основе функций распределения вместимости, а также эксплуатационной надежности группировочных путей.

6. Разработана методика комплексного обоснования рациональных конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов, по критерию минимума интегральных дисконтированных затрат. Методика позволяет учитывать при оценке процесса многогруппной сортировки структуру вагонопотока, технологию работы, конструкцию сортировочного устройства, а также местные условия.

7. Разработаны рекомендации по применению различных вариантов технологии многогруппной подборки вагонов и конструкции группировочного парка, представленные в табличном виде для различного числа групп и интенсивности поступления составов. Рекомендации могут быть использованы для уточнения и дополнения действующих норм проектирования сортировочных устройств. Установлено, что каждый из способов имеет определенную сферу эффективного применения. В частности, степенной способ наиболее эффективен при подборке 4, 9, 16, 25 групп и переработке от 4 до 10 составов в сутки, комбинаторный способ – 1-3, 10-15 составов в сутки. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования усовершенствов-

ванного метода расчета параметров сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов на ограниченном числе путей.

8. При помощи разработанной методики определены рациональные конструктивные и технологические параметры специализированного сортировочного устройства, разработаны проектные решения по его размещению для реального объекта – грузовой станции с большим объемом сортировочной работы Новокузнецк-Восточный Западно-Сибирской железной дороги.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в ведущих научных рецензируемых периодических изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Сивицкий, Д. А. Анализ отечественного и зарубежного опыта разработки и использования моделей технологии многогруппной сортировки вагонов / Д. А. Сивицкий // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 1 (29). – С. 106–116.

2. Сивицкий, Д. А. Моделирование маневровых передвижений при определении затрат времени на перестановку вагонов при повторной сортировке / Д. А. Сивицкий // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2016. – № 2 (50). – С. 200–206.

3. Сивицкий, Д. А. Моделирование работы специализированного сортировочного устройства и определение горочного технологического интервала / Д. А. Сивицкий // Транспорт Урала. – 2016. – № 3 (50). – С. 100–105.

4. Сивицкий, Д. А. Обоснование рациональных конструктивных и технологических параметров вариантов организации многогруппной сортировки на основе имитационного моделирования / Д. А. Сивицкий, С. В. Карасев // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2017. – Т. 76, № 2. – С. 94–100.

5. Сивицкий, Д. А. Вероятностный метод определения необходимой вместимости группировочных путей с учетом структуры вагонопотока и эксплуатационной надежности / Д. А. Сивицкий, С. В. Карасев // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 2 (41). – С. 5–13.

Публикации в журналах и научных сборниках:

6. Сивицкий, Д.А. Разработка программного модуля распределения вагонов по сортировочным путям в процессе многогруппной сортировки / Д. А. Сивицкий // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 3. – С. 13–18.

7. Сивицкий, Д.А. Определение затрат времени на осаживание вагонов при повторной сортировке / Д. А. Сивицкий // Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ. – Брянск, 2016. – Вып. 8. – С. 20–25.

8. Сивицкий, Д.А. Моделирование распределения вагонов по путям при многогруппной сортировке / Д. А. Сивицкий // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2016. – Т. 1. – С. 20–25.

9. Сивицкий, Д.А. Определение полезной длины группировочных путей на основе имитационного моделирования и теории надежности / Д. А. Сивицкий // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2017. – Т.1. – С. 97–101.

Свидетельства о регистрации электронного ресурса:

10. Сивицкий, Д.А. Программа для анализа процесса многогруппной сортировки «МГС-Аналитика» / Д.А. Сивицкий // Свидетельство о регистрации электронного ресурса ОФЭРНиО №22335 от 06.12.2016.

Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [1-3, 6-9] подготовлены единолично. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем: [4, 5] – разработка моделей и алгоритмов реализации, проведение экспериментов, анализ и обобщение полученных результатов.

Сивицкий Дмитрий Андреевич

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ МНОГОГРУППНОЙ ПОДБОРКИ ВАГОНОВ

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 06.06.2018

Формат 60 x 84 1/16

Объем 1,0 усл. печ. л.

Заказ № 360

Тираж 100 экз.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения»

620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66
