

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО СГУПС)

На правах рукописи



Сивицкий Дмитрий Андреевич

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

Специальность 05.22.08 – Управление процессами перевозок
(технические науки)

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
кандидат технических наук,
доцент С.В. Карасев

Новосибирск – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИИ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ МНОГОГРУППНОЙ ПОДБОРКИ ВАГОНОВ.....	13
1.1 Актуальность и основные варианты организации многогруппной подборки вагонов	13
1.2 Проблемы организации многогруппной подборки вагонов в современных условиях	22
1.3 Анализ существующих методов расчета конструктивных и технологических параметров сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов	27
1.4 Выводы по разделу	34
2 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОГОГРУППНОЙ ПОДБОРКИ ВАГОНОВ НА ОГРАНИЧЕННОМ ЧИСЛЕ ПУТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПОСОБОВ ИНТЕНСИВНОЙ СОРТИРОВКИ	36
2.1 Постановка задачи	36
2.2 Обоснование конструктивных параметров горки малой мощности в составе устройства для многогруппной сортировки вагонов	40
2.3 Определение элементов технологического горочного интервала при многогруппной подборке вагонов с учетом затрат времени на однократные и повторяющиеся операции	43
2.4 Разработка алгоритмов распределения вагонов по группировочным путям и определения их потребной вместимости в процессе многогруппной сортировки с учетом структуры перерабатываемого вагонопотока.....	57
2.5 Разработка алгоритма расчета технологического горочного интервала и перерабатывающей способности в рамках математической модели работы сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов	64
2.6 Выводы по разделу	72

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ВАГОНПОТОКА НА ВЕЛИЧИНУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГОРОЧНОГО ИНТЕРВАЛА И НЕОБХОДИМУЮ ВМЕСТИМОСТЬ ГРУППИРОВОЧНЫХ ПУТЕЙ ПРИ МНОГОГРУППНОЙ ПОДБОРКЕ ВАГОНОВ	74
3.1 Постановка задачи	74
3.2 Определение вероятностных характеристик технологического горочного интервала при различной структуре вагонопотока.....	75
3.3 Исследование влияния наличия вагонов, запрещенных к роспуску с горки, на величину технологического горочного интервала при многогруппной сортировке	86
3.4 Обоснование вместимости группировочных путей при различной структуре вагонопотока с учетом оценки их эксплуатационной надежности.....	89
3.5 Выводы по разделу	104
4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОРТИРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА.....	106
4.1 Постановка задачи	106
4.2 Разработка комплексной модели работы сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов, на основе теории массового обслуживания	107
4.3 Метод выбора рационального конструктивно-технологического варианта организации многогруппной подборки вагонов.....	112
4.4 Варианты конструкции группировочного парка и его связи со станцией	116
4.5 Методика комплексного обоснования рациональных конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов	120
4.6 Выводы по разделу	122

5 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ МНОГОГРУППНОЙ ПОДБОРКЕ ВАГОНОВ НА ОГРАНИЧЕННОМ ЧИСЛЕ ПУТЕЙ	124
5.1 Постановка задачи	124
5.2 Разработка рекомендаций по применению различных вариантов технологии многогруппной подборки вагонов и конструкции группировочного парка	125
5.3 Анализ технического оснащения и технологии работы станции, структуры вагонопотока многогруппных поездов и разработка вариантов его детализации	135
5.4 Определение рациональных конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства при различных вариантах детализации вагонопотока	139
5.5 Разработка схемы размещения и примыкания сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов.....	143
5.6 Выводы по разделу	147
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	149
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Масштабный план специализированного сортировочного устройства по вариантам путевого развития.....	163
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Обоснование конструктивных параметров плана и продольного профиля специализированного сортировочного устройства...	164
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Расчет продолжительности операций по вытягиванию группы вагонов при сборке	173
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Расчет продолжительности операций по осаживанию группы вагонов при сборке	176
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Схемы многогруппной сортировки вагонов различными способами.....	180

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Результаты моделирования процесса многогруппной сортировки	184
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Свидетельство о регистрации программы «МГС-Аналитика».....	186
ПРИЛОЖЕНИЕ З. Акты о внедрении результатов диссертационной работы.....	187

ВВЕДЕНИЕ

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 сортировочного 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. Сковрон, 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 конструктивных 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 ОФЭР-НиО №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 путей, 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 ОФЭР-НиО №22335.

Основные положения и результаты исследований самостоятельно получены автором. Статьи [62, 77, 78, 80, 81 87, 93] подготовлены единолично. Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем: [92, 103] – проведение экспериментов, анализ и обобщение полученных результатов.

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.

1 АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИИ РАБОТЫ И КОНСТРУКЦИИ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ МНОГОГРУППНОЙ ПОДБОРКИ ВАГОНОВ

1.1 Актуальность и основные варианты организации многогруппной подборки вагонов

В связи с реформированием железнодорожного транспорта и приватизацией вагонного парка, структура вагонопотоков на сети ОАО «РЖД» значительно изменилась. Появление большого числа операторов и собственников подвижного состава [1], грузоотправителей и грузополучателей привело к увеличению числа возможных назначений следования вагонов [2]. Результатом стало создание компаниями-операторами «запаса» вагонов для удовлетворения возможного спроса, а также рост размеров движения и объема работы станций, увеличение занятости инфраструктуры перевозчика и владельцев путей необщего пользования, простоя подвижного состава и задержки доставки грузов [3].

Важным следствием увеличения парка вагонов на сети железных дорог и изменения порядка их обращения стал рост объемов повторной сортировки, выполняемой как на сортировочных и грузовых станциях ОАО «РЖД», так и на путях необщего пользования. Ситуация с увеличением числа назначений, формируемых сортировочными станциями, усугубилась концентрацией переработки вагонопотоков (в том числе, местных), на этих станциях, в связи с происходящими процессами совершенствования их технического оснащения, автоматизацией производственных процессов. Однако такого рода модернизация редко приводила к качественному изменению путевого развития станций, конструкции сортировочных устройств, адаптации их к изменяющейся структуре перерабатываемых вагонопотоков и технологии работы. Техническое оснащение, путевое развитие крупных станций оказались в большинстве случаев мало приспособленными к выполнению многогруппной подборки вагонов.

Конструктивные решения большинства сортировочных станций, построенных в 20 веке, были обоснованы их использованием в качестве основных концентраторов переработки мощных вагонопотоков дальних назначений. Работа с местным вагонопотоком рассматривалась как второстепенная и существенного влияния на конструкцию и техническое оснащение сортировочных станций в то время не оказывала. Разрабатываемые учеными [4, 5] технические решения, связанные с проектированием местных парков, не всегда оказывались востребованными на практике.

С учетом особенностей плановой экономики, обеспечивающих относительную стабильность вагоно- и поездопотоков, станции могли устойчиво работать при достаточно высокой загрузке устройств и технологических линий [6, 7, 8] без необходимости создания существенного запаса путевого развития.

При переходе к условиям рыночной экономики неопределенность грузо- и вагонопотоков существенно увеличилась, а возможность их достоверного прогнозирования на длительную перспективу снизилась [9, 10]. В связи с этим, непрерывно меняются не только объемы вагонопотоков, но и число назначений, формируемых сортировочными станциями. Как видно из таблицы 1.1 (информация предоставлена Западно-Сибирской дирекцией управления движением), число назначений не является постоянной величиной. Назначения сборных, передаточных поездов рассматриваются укрупнено – по направлениям или станциям, с подборкой на небольшое число групп.

Помимо этого, число назначений плана формирования сортировочной системы оказывает влияние на перерабатывающую способность сортировочной горки, что отражают отраслевые исследования (рисунок 1.1, Программа совершенствования работы и развития сортировочных станций на период 2016-2025 гг.).

Таблица 1.1 - Количество назначений по плану формирования по сортировочным станциям Западно-Сибирской железной дороги

Наименование железнодорожной станции	2013 год	2014 год	2015 год	2016 год	2017 год
Инская	37	37	37	32	29
Московка	13	13	13	12	12
Входная	15	14	14	16	15
Алтайская	21	19	19	20	19
Новокузнецк-Восточный	12	12	12	12	12
Кемерово-Сортировочное	9	11	11	10	9



Рисунок 1.1 – График изменения перерабатывающей способности в зависимости от числа назначений

В результате реализации Программы развития сортировочных станций на период 2010-2015 гг. в соответствии со стратегией развития холдинга «РЖД» до 2030 года [11], одним из центральных пунктов которой была автоматизация сортировочных горок, планировалось увеличить их перерабатывающую способность. На фоне развития основных сортировочных станций и ожидающегося значительного увеличения их перерабатывающей способности продолжился процесс концентрации на этих станциях переработки местных вагонопотоков, с освобождением от части сортировочной работы других станций железнодорожных узлов [12]. Как следствие, количество назначений вагонов на сортировочных станциях заметно увеличилось,

в ряде случаев для снижения нагрузки на основные сортировочные устройства уменьшилась детализация подборки [13].

Следует отметить два фактора, которые при этом были учтены в недостаточной степени:

1) на сегодняшний день основным эффектом автоматизации сортировочных горок стало повышение уровня безопасности сортировочного процесса, с точки зрения повышения перерабатывающей способности горок на многих станциях эффект оказался не столь очевиден;

2) в ходе концентрации на сортировочные станции был в значительном объеме передан местный вагонопоток, работа с которым на многих сортировочных станциях предусмотрена в недостаточной мере.

Основные сортировочные устройства на сортировочных станциях предназначены для работы с мощными транзитными назначениям, когда на каждое назначение мощностью до 200 ваг./сут., выделяется сортировочный путь (реже – один путь на несколько назначений) [6]. Ситуация, когда количество формируемых назначений оказывается больше числа сортировочных путей, приводит к увеличению объемов повторной сортировки вагонов, что снижает наличную перерабатывающую способность станции по основной работе – переработке транзитного вагонопотока.

Переработка местных вагонопотоков, в отличие от расформирования и формирования поездов дальних назначений, является многогруппной, т.е. в условиях превышения количества групп над числом используемых путей требует повторной сортировки вагонов. При этом мощность отдельных назначений (групп) обычно недостаточна для того, чтобы выделять под него отдельный сортировочный путь [6].

Таким образом, при отсутствии на станции специализированного сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов эта работа выполняется на сортировочных устройствах с использованием технологии и технического оснащения, которые не являются оптимальными для организации многогруппной подборки.

В результате, с одной стороны, техническое оснащение и возможности автоматизированных сортировочных горок используются недостаточно эффективно, а,

с другой стороны, детальность работы с местными вагонопотоками оказывается недостаточной для сокращения эксплуатационных расходов по работе с ними на промежуточных, грузовых, припортовых станциях, а также путях необщего пользования. Данная проблема актуальна и для других стран СНГ [14, 15].

Грузовые станции, обслуживающие пути необщего пользования, также зачастую не приспособлены к выполнению многогруппной подборки вагонов, не имеют группировочных и специализированных сортировочных путей. В результате, работа по формированию многогруппных поездов минимизирована, а максимальное число групп составляет не более 5-6, а чаще – 3-4 группы, что, как правило, не соответствует глубине подборки вагонов по грузовым пунктам и тем более по грузовым фронтам и клиентам.

На зарубежных железных дорогах, а именно, в США и странах Европы проблема недостаточных резервов путевого развития не является столь актуальной [16]. Это связано с тем, что в условиях неопределенности грузо- и вагонопотоков при рыночной экономике железнодорожный транспорт, для обеспечения необходимой провозной способности, изначально был вынужден предусматривать достаточно существенные резервы путевого развития и мощности станционных устройств. Помимо этого, кризис железных дорог США 1960-70-х годов способствовал ускоренному реформированию системы железнодорожного транспорта, развитию инфраструктуры, механизации и автоматизации сортировочного процесса [17]. Таким образом, концепция развития инфраструктуры железных дорог в капиталистических странах изначально отличалась от советской по объективным причинам. Иная форма организации экономики в Америке и странах Западной Европы вынуждала создавать значительные резервы путевого развития [18], при которых проектируются отдельные парки с большим количеством группировочных путей для местных вагонопотоков [19] и практически исключается ситуация превышения числа назначений над количеством путей. Различия в концепциях отражают показатели, приведенные в таблице 1.2 [20]. Величина грузонапряженности свидетельствует о различии в загрузке железнодорожной сети разных стран (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Грузонапряженность железных дорог СССР и США (I класс)

Показатели	1950		1960		1970		1980		1990	
	СССР	США	СССР	США	СССР	США	СССР	США	СССР	США
Грузонапряженность, Млн т-км/км экспл. длины	5,2	2,65	12,1	2,72	18,5	3,61	24,3	5,44	25,2	8,3

Таким образом, в связи с отсутствием необходимости подборки многогруппных составов в условиях недостатка сортировочных и сортировочно-группировочных путей, методы решения данной проблемы в США и Западной Европе практически не разрабатывались. При необходимости выполнения такой работы сооружались отдельные специализированные вспомогательные сортировочные парки с большим количеством путей. Имеется ряд работ по данной тематике ученых Восточной Европы и Азии [21, 22], и после 1991 г. – в странах ближнего зарубежья [23, 24, 25, 26].

В процессе реконструкции многих зарубежных станций, помимо укладки значительного числа путей в парках приема (до 20) и сортировочных парках (107 путей в обеих сортировочных системах на станции Конвей, США), сооружаются узкоспециализированные парки, предназначенные для повторной сортировки, для отстоя порожних вагонов и т.д. [19]. Последовательное размещение с основным сортировочным парком местного сортировочного парка имеется на станциях Инглвуд, Янг (США). Группировочные парки (10-14 путей), размещенные рядом с хвостовой частью сортировочного парка, имеются на станциях Ситико, Джон Севье, Эрнст Норрис. В Канаде также присутствуют крупные местные парки. Например, в Торонто последовательно друг другу расположены основной и местный сортировочный парк с количеством путей 67 и 50 соответственно. На сортировочной станции Тинсли (Англия) последовательно друг другу расположены крайние четыре пути основного парка и местный сортировочный парк (25 путей), при этом подборка осуществляется на сортировочной горке. В таких странах как Франция, Германия и Швейцария на сортировочных станциях также группировочные парки для под-

борки вагонов включают в себя от 8 до 12 путей. Также нужно отметить, что местные сортировочные парки имеются практически на всех крупных сортировочных станциях Европы и Северной Америки. Они, как правило, расположены последовательно или параллельно с основным сортировочным парком и имеют значительное путевое развитие. Так, например, на станции Вест-Колтон парк, предназначенный для местной работы, расположен параллельно основному сортировочному парку (рисунок 1.2)



Рисунок 1.2 – Расположение основного сортировочного и группировочного парков на станции Вест-Колтон (США)

Для сортировочных станций ОАО «РЖД» такие конструктивные решения имеют ряд ограничений, ввиду сложившейся топологии станций, примененных схемных решений и отсутствия строительных площадок в связи с размещением сортировочных станций в черте города [27]. Зарубежный опыт конструктивно-технических решений по путевому развитию для многогруппной подборки вагонов в отечественных условиях может быть применен ограниченно из-за отличающейся компоновки схем сортировочных станций, отсутствия территории для сооружения крупных парков для работы с местными вагонами.

Исходя из этого, для организации многогруппной подборки необходимо использование специальных методов работы и разработка соответствующих конструктивных решений сортировочных устройств, ориентированных, прежде всего, на интенсификацию сортировки местных вагонопотоков в условиях ограниченного путевого развития.

Вариантом решения данной задачи является использование специализированных сортировочных устройств [24, 28, 29, 30, 31] которые при реализации соответствующей технологии многогруппной сортировки [30, 32] на ограниченном числе путей могут быть использованы в качестве технологической линии, функционирующей параллельно с основным сортировочным устройством. Так, например, на станции Алтайская параллельно основному сортировочному устройству функционирует вспомогательная сортировочная горка, работающая с отдельным пучком сортировочного парка (рисунок 1.3). При этом на устройстве не применяются интенсивные методы многогруппной подборки вагонов, что ограничивает возможную детальность подборки и требует использования большего числа путей для формирования сборных поездов.

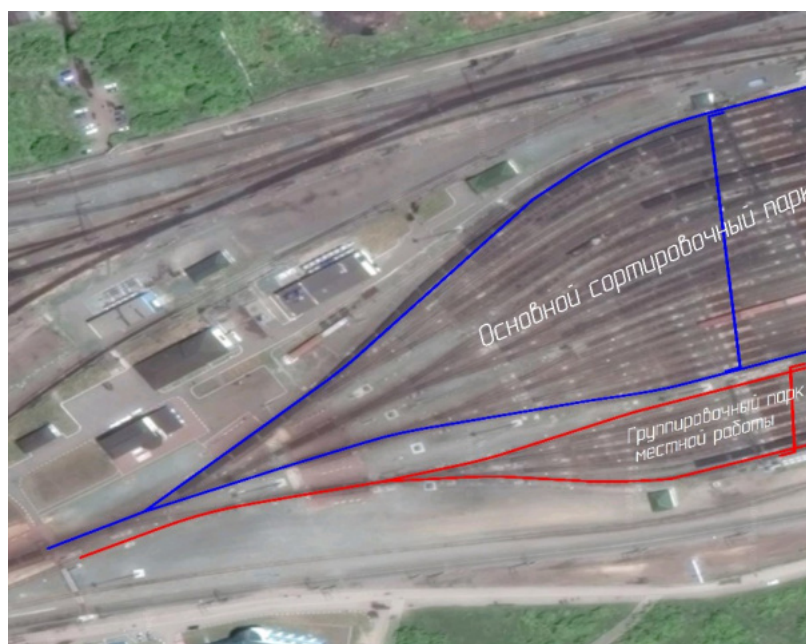
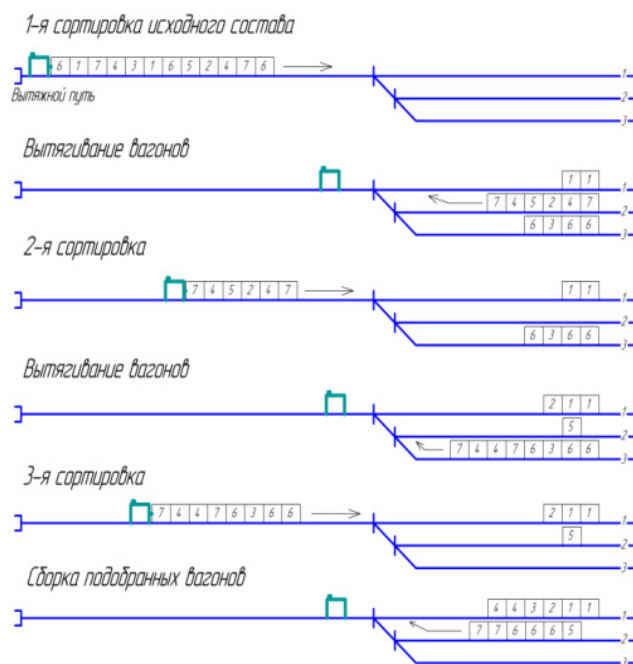


Рисунок 1.3 – Расположение основного сортировочного парка и сортировочно-группировочных путей на станции Алтайская Западно-Сибирской железной дороги

При невозможности или высокой стоимости создания такого устройства на сортировочной станции может быть реализован вариант рассредоточения работы с различными многогруппными поездами и передачи части местного вагонопотока на другую станцию [33] железнодорожного узла с сооружением на ней специализированного сортировочного устройства. Таким образом, сортировочное устройство для многогруппной подборки вагонов может выступать как в качестве основного сортировочного устройства на станции, так и вспомогательного. В этом случае может иметь место специализация станций в узле по видам сортировочной работы: переработка транзитного вагонопотока – на сортировочной станции, глубокая переработка местного вагонопотока – на специализированной грузовой или вспомогательной сортировочной станции узла.

Таким образом, при превышении числа назначений над числом, необходимо использование интенсивной технологий многогруппной сортировки вагонов, основанной на применении комбинаторного, степенного, ступенчатого дублирующего и других способов [21, 22, 34]. Это обеспечивает возможность подборки вагонов с использованием меньшего количества путей относительно небольшой длины. Это значительное преимущество, т.к. большая часть сортировочных станций имеет недостаток резервов развития, а создание крупных парков для многогруппной подборки на промежуточных и грузовых станциях или путях необщего пользования – также достаточно дорогостоящее мероприятие. Схемы сортировки 7-группного состава на 3-х путях комбинаторным и степенным способом представлены на рисунке 1.4. Способы отличаются друг от друга распределением вагонов различных групп (назначений) по группировочным путям в ходе первой и следующих сортировок, количеством сортировок всего состава и групп с отдельных путей, числом маневровых полурейсов и количеством переставляемых и сортируемых вагонов. Так, например, использование комбинаторного способа позволяет подобрать состав за 3 сортировки, степенного – за 2 сортировки, однако при этом оба раза сортируется весь состав. В связи с этим способы будут отличаться друг от друга как по временным затратам, так и по эксплуатационным расходам, связанным с многогруппной подборкой вагонов.

Комбинаторный способ сортировки



Степенной способ сортировки

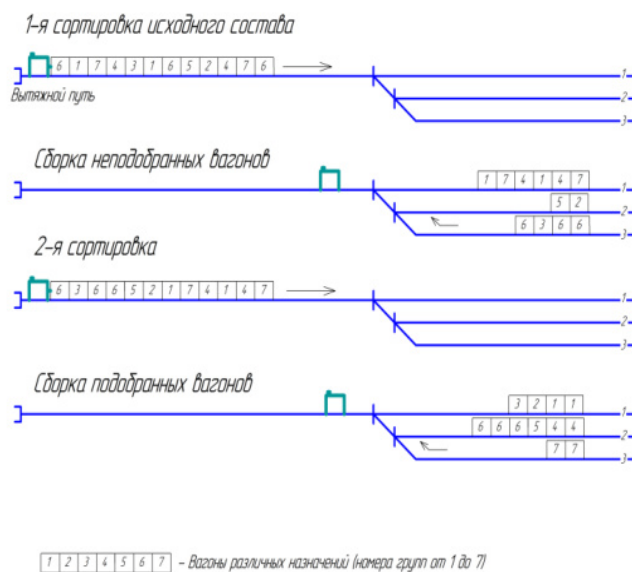


Рисунок 1.4 – Многогруппная подборка вагонов различными способами

1.2 Проблемы организации многогруппной подборки вагонов в современных условиях

Обоснование эффективности внедрения многогруппной подборки вагонов является сложной многокритериальной задачей. Одной из основных причин является то, что эффект от многогруппной подборки вагонов проявляется как на станции, выполняющей эту работу, так и на других объектах транспортного комплекса: промежуточных и грузовых станциях участков и железнодорожных узлов, путях необщего пользования. Получение устойчивого эффекта от глубокой подборки вагонов на полигоне связано не только с потребностью в сооружении специализированного сортировочного устройства и определении рациональной технологии его работы, но и с необходимостью изменения плана формирования поездов и в целом системы организации работы с местными вагонопотоками.

Возможные эффекты заключаются в следующем [35]:

- снижение загрузки основного сортировочного устройства сортировочной станции за счет переноса работы со сборными, передаточными и другими многогруппными поездами на специализированное (вспомогательное) сортировочное устройство; как следствие – снижение простоя в парке приема разборочных поездов, увеличение эксплуатационной надежности станции в целом;

- снижение затрат на маневровую работу (локомотиво-часов) на участке или других станциях железнодорожного узла за счет выполнения многогруппной сортировки на сортировочной, участковой или грузовой станции при наличии соответствующего технического оснащения, что открывает возможности по сокращению маневровых локомотивов на отдельных станциях.

- возможность выполнения многогруппной подборки вагонов в качестве услуги, предоставляемой владельцам путей необщего пользования, которая позволит ускорить подачу вагонов на места выполнения грузовых операций, снизит загрузку маневровых средств и инфраструктуры этих предприятий (иными словами, владельцы подъездных путей передадут подборку вагонов по грузополучателям, местам выполнения грузовых операций на аутсорсинг ОАО «РЖД»);

- интеграция технологии многогруппной подборки вагонов по грузовым пунктам, фронтам в единый технологический процесс работы портов и припортовых транспортных узлов при достаточном информационно-техническом обеспечении [36, 37, 38].

Основным технологическим элементом, требующим подробного обоснования, являются конструктивные и технологические параметры специализированного сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов. Вопросы, связанные с работой и особенностями конструкции этого устройства, будут рассматриваться в настоящей диссертации.

В настоящее время возможность определения затрат, связанных со строительством и эксплуатацией специализированного сортировочного устройства ограничена в связи со следующими причинами:

1) Отсутствие методики определения рациональных конструктивных параметров специализированного сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов сортировки для условий использования интенсивных способов сортировки при ограниченном путевом развитии.

Правила и нормы проектирования сортировочных устройств [28] предлагают следующие рекомендации при проектировании вспомогательного сортировочного устройства для многогруппной сортировки вагонов:

- число путей, в зависимости от числа групп, принимается равным: четырем (число групп ≤ 6), пяти (число групп равняется 7), шести (число групп от 8 до 12), семи (число групп более 13).

- суммарная вместимость путей, в зависимости от числа путей: два пути по 60% максимальной длины состава, два пути по 50% максимальной длины состава (при 4-х путях); два пути по 60% максимальной длины состава, остальные пути не менее 25% длины состава (при числе путей 5 и более).

Заложенные в нормах [28] требования к количеству и вместимости группировочных путей для многогруппной подборки вагонов были получены для способа последовательного выделения групп [30], который является одним из самых производительных, но при этом требует значительного путевого развития группировочных парков. Однако при принятии решения об организации многогруппной сортировки значимыми факторами могут быть возможность сооружения специализированного сортировочного устройства на существующих станциях и объем необходимых капитальных вложений. При использовании меньшего путевого развития (по количеству, вместимости группировочных путей), а также при условии обеспечения достаточной наличной перерабатывающей способности за счет использования интенсивных способов подборки вагонов возможность сооружения такого устройства возрастает.

Интенсивные способы сортировки соответствуют требованиям минимальных капитальных вложений, однако методики, достоверно определяющей наиболее рациональные конструктивные параметры (с учетом разнообразия способов и схем сортировки), на данный момент не разработано.

Существующие нормы по определению параметров группировочного парка не учитывают структуру перерабатываемого вагонопотока, которая может оказывать существенное влияние на величину необходимой и достаточной вместимости путей для группировки вагонов, что может повлечь за собой как недоиспользование полезной длины, так и дополнительные эксплуатационные потери, связанные с недостаточной вместимостью какого-либо группировочного пути.

2) Отсутствие методики определения перерабатывающей способности специализированного сортировочного устройства при выполнении многогруппной подборки вагонов на ограниченном числе путей с использованием интенсивных способов сортировки.

Действующая Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог [6] предлагает методику по определению перерабатывающей способности сортировочных устройств, занимающихся выполнением переработки транзитных разборочных поездов, а также вытяжных путей. Основным элементом, необходимым для определения перерабатывающей способности, является технологический горочный интервал (ТГИ). Определение ТГИ при многогруппной подборке вагонов на ограниченном количестве путей имеет особенности, связанные с наличием как однократных, так и повторяющихся маневровых операций. При этом некоторые повторяющиеся операции, такие как вытягивание состава для повторной сортировки, являются нетиповыми и некорректно описываются существующими нормами [39]. В связи с этим, существующие методики [6, 39] не позволяют рассчитывать ТГИ и определять наличную перерабатывающую способность для специализированного сортировочного устройства при использовании интенсивных способов сортировки.

Технология многогруппной подборки вагонов определяется схемой сортировки, которая зависит от способа интенсивной сортировки и числа используемых группировочных путей. Таким образом, технология и конструкция сортировочного устройства, очевидно, являются взаимозависимыми. Помимо этого, схема сортировки зависит от количества подбираемых групп вагонов. Число групп – одна из

характеристик структуры перерабатываемого вагонопотока. К другим характеристикам вагонопотока можно отнести: массу вагонов, длину отцепов, интенсивность поступления составов на сортировочное устройство. Таким образом, на связанные друг с другом технологию и конструкцию воздействует третий элемент – вагонопоток, который может оказывать влияние как на конструктивные параметры сортировочного устройства, так и на технологию и эксплуатационные показатели процесса многогруппной подборки вагонов.

Оценка эффективности многогруппной сортировки требует определения капитальных вложений в строительство специализированного сортировочного устройства, а также эксплуатационных затрат, связанных с его работой. Для этого одновременно должны быть рассмотрены три параметра: конструкция, технология, перерабатываемый вагонопоток. Вместе с этим, требуется разработка соответствующих методов расчета рациональных конструктивных и технологических параметров работы сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов. Наиболее рациональным вариантом будет являться вариант, обеспечивающий наибольший чистый дисконтированный доход или минимальные интегральные дисконтированные затраты.

Вышеизложенное указывает на то, что многогруппная подборка вагонов является сложным процессом, зависящим от комплекса факторов, часть из которых может рассматриваться как взаимозависимые и случайные. В этих условиях целесообразным методом исследования рассматриваемого процесса можно считать моделирование. Необходимость использования, в первую очередь, имитационного моделирования обусловлена следующими причинами [40-43]:

- отсутствие аналитических методов, позволяющих комплексно учитывать факторы, влияющие на процесс многогруппной подборки вагонов, определять временные затраты, необходимую вместимость группировочных путей и другие конструктивные и технологические параметры сортировочного устройства;

- поэлементный расчет операций при многогруппной сортировке вагонов разными способами чрезвычайно трудоемок и не позволяет учесть стохастические элементы работы специализированного сортировочного устройства;

- постановка экспериментов и исследование закономерностей на реальном объекте (сортировочной горке) затруднительно в связи с трудоемкостью организации многогруппной сортировки с использованием различных способов сортировки, невозможностью варьирования конструктивных параметров сортировочного устройства и характеристик перерабатываемого вагонопотока.

1.3 Анализ существующих методов расчета конструктивных и технологических параметров сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов

Потребность создания специализированных сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов ставит задачу разработки методов расчета параметров их конструкции и технологии работы. Это приводит к необходимости разработки модели работы сортировочного устройства, технология работы которого основана на применении способов интенсивной многогруппной сортировки. Современные зарубежные труды в области анализа работы сортировочных устройств, а также формирования поездов подтверждают обоснованность использования для подобных целей методов имитационного моделирования.

Анализ работ в этой области [21, 25, 26, 30, 32, 44-62] позволяет классифицировать существующие модели по функциональному назначению и принципам работы:

1. *Технологические оперативные модели*, используемые в процессе эксплуатационной работы. Задача таких моделей – разработка оперативного плана маневровой работы. Их важной особенностью является необходимость интеграции со станционными информационными системами, обеспечивающими получение данных о структуре вагонопотока, из которого будет формироваться многогруппный состав (например, о вагонах, находящихся на сортировочном пути, с которого будет осуществляться вытягивание вагонов для последующей многогруппной сортировки).

Примером подобной модели является программа «Электронный составитель» [32, 53], основным назначением которой является расчет плана маневровой работы по формированию конкретного многогруппного состава с учетом числа групп в составе, количества путей (концов путей), которые могут использоваться для подборки вагонов и их вместимости. Разработка программы велась в 1985-1986 гг. В алгоритме программы используется только комбинаторный способ многогруппной сортировки вагонов, который часто считается наиболее эффективным, несмотря на наличие и других данных [49]. Таким образом, программа формировала единственный вариант плана маневровой работы и не предполагала его сравнения с другими возможными вариантами.

2. *Оптимизационные оперативные модели*, позволяющие решать ряд задач, связанных с выбором наиболее рациональной технологии многогруппной сортировки составов из нескольких возможных.

Данные модели содержат элементы системы поддержки принятия решений, поскольку позволяют автоматически сравнивать различные варианты технологии многогруппной сортировки с использованием определенного критерия (расходы на маневровую работу, затраты времени). Работы разных авторов отличаются друг от друга, в частности, выбором критерия, в соответствии с которым будет производиться поиск наилучшей технологии (способа и схемы сортировки). Например, в [32, 53-55] в качестве такого критерия принимается коэффициент повторной сортировки, а в [25, 26, 34, 56, 60] количество маневровых передвижений. Ряд авторов использует в качестве критерия суммарные затраты времени на формирование многогруппного состава [30, 44, 45, 57, 58, 59], суммарные эксплуатационные расходы на маневровые операции [49-52].

3. *Расчетные (проектные) модели*, позволяющие обосновать на этапе проектирования конструкцию сортировочного устройства и, в частности, рациональное количество и вместимость группировочных путей.

Существующие модели [30] не предполагают оптимизации конструктивных параметров с учетом возможности использования разной технологии сортировки.

При разработке данной модели не ставилась задача сравнения и выбора наилучшего варианта технологии формирования многогруппных составов. Использовался один способ сортировки – последовательного выделения групп. Такой способ позволяет сформировать многогруппный состав за две сортировки и одну сборку. Увеличение количества групп компенсируется использованием большего числа группировочных путей. Результаты, полученные на основе модели (рекомендации по количеству и вместимости группировочных путей, определяемым в зависимости от числа подбираемых групп вагонов), были включены в действующие нормативы по проектированию сортировочных устройств [28] без указания варианта технологии многогруппной подборки вагонов и других условий, для которых эти рекомендации были получены. Следует заметить, что способ последовательного выделения групп при многогруппной подборке вагонов ориентирован на сокращение количества сортировок и, соответственно, занятости сортировочного устройства. Такая технология ориентирована, прежде всего, на подборку вагонов на основном сортировочном устройстве, при наличии резервов перерабатывающей способности. При этом количество используемых путей не намного меньше, чем число подбираемых групп (4 пути при числе групп от 4 до 6, 5 путей при подборке на семь групп и 6 путей при подборке на 8 – 12 групп). Увеличение числа подбираемых групп приводит к увеличению количества необходимых для подборки вагонов путей, поскольку не может быть компенсировано изменением схемы сортировки вагонов при используемом способе подборки. Помимо этого, в модели [30] не учитывается работа с вагонами ЗСГ, которая влияет на реальное время расформирования, а значит, и на перерабатывающую способность ВСУ.

При концентрации многогруппной подборки вагонов на специализированном сортировочном устройстве, помимо обеспечения достаточного уровня перерабатывающей способности, важное значение имеет сокращение затрат на его сооружение. Они напрямую связаны с необходимым количеством и вместимостью группировочных путей. Использование интенсивных способов сортировки вагонов открывает возможности для оптимизации этих параметров.

Таким образом, возникает задача определения рациональных параметров путевого развития и технологии работы сортировочного устройства, обеспечивающих необходимый и достаточный уровень перерабатывающей способности при минимизации затрат.

Из вышеизложенного можно сделать вывод о сферах применения различных типов моделей. *Технологическая оперативная модель* позволяет реализовывать технологию многогруппной подборки вагонов в оперативной обстановке, составляя план маневровой работы; *оптимизационная* модель вместе с этим позволяет выбирать наиболее рациональный вариант технологии в соответствии с выбранным критерием; *проектная* модель определяет рациональные конструктивные параметры устройства с учетом структуры перерабатываемого вагонопотока и способа сортировки.

В соответствии с задачами, обозначенными в подразделе 1.2, актуальной является разработка модели проектного типа, которая позволит определять конструктивные параметры специализированного сортировочного устройства, а также его перерабатывающую способность, учитывая недостатки существующих разработок в этой области. Проектная модель может иметь функционал, схожий с оптимизационной моделью, в связи с этим, опыт разработки оптимизационных моделей также должен быть учтен. Рассмотрим основные проблемы, связанные с разработкой проектной модели и то, каким образом они решались другими авторами:

1) Наличие нескольких способов многогруппной подборки вагонов. При решении задачи определения рациональных конструктивных параметров сортировочного устройства, очевидно, целесообразно учитывать возможность использования различных способов сортировки. Способы сортировки отличаются друг от друга распределением вагонов различных групп по путям, последовательностью выполнения маневровых операций, количеством повторных сортировок всего состава и вагонов с отдельных группировочных путей, размерами повторно сортируемых групп, количеством необходимых для подборки вагонов путей и, как след-

ствие из перечисленных отличий, потребной вместимостью группировочных путей. В связи с этим, каждый из способов будет характеризоваться определенными конструктивными и эксплуатационными параметрами.

Имитационная модель [30] использует единственный способ сортировки – способ последовательного выделения групп. Исходя из этого, требования к путевому развитию сортировочного устройства [28] оказались достаточно высоки. Аналитическая модель [34] также рассматривает единственный способ – комбинаторный, однако, по сравнению с [30], появляется бóльшая вариативность: рассматривается возможность выбора между различными схемами сортировки внутри одного способа для сортировки одного и того же числа групп. Критерием при этом является наименьше число переработок и экономия эксплуатационных расходов. Исследования [21] учитывают значительно большее число способов сортировки: степенной, пропорциональный, ступенчатый основной и дублирующий, ступенчатый максимальный. В качестве основного критерия выбора рационального варианта работы предлагалось использовать экономию энергии, а также сокращение времени на маневровые операции. Работы [24, 44] развивают подход, рассматривающий несколько различных схем сортировки, в качестве критерия выбора наиболее рационального способа выступают затраты времени на маневровую работу. Модель, описанная в [49], также рассматривает несколько способов сортировки, принимая в качестве критерия выбора эксплуатационные расходы, связанные с подборкой вагонов.

При разработке проектной модели предлагается рассматривать способы сортировки, встречающиеся в рассмотренных выше работах: последовательного выделения групп, комбинаторный, степенной, ступенчатый дублирующий, ступенчатый максимальный.

2) Критерий выбора рационального способа сортировки. В существующих научных разработках, посвященных оптимизации многогруппной подборки вагонов, как правило, использовались следующие критерии:

– Количество повторных сортировок и количество маневровых передвижений [21, 25, 26, 32, 34]. Значения данных показателей определяются аналитически

и характеризуют, прежде всего, трудоемкость маневровых операций в процессе многогруппной сортировки. Однако количество маневровых операций может характеризовать процесс сортировки недостаточно объективно, поскольку не всегда напрямую связано с затратами времени и энергетических ресурсов при выполнении подборки вагонов.

– Время, затрачиваемое на маневровые операции [30, 44, 45, 46, 47, 58]. Использование данного критерия позволяет оценить длительность процесса подборки вагонов, загрузку и перерабатывающую способность сортировочного устройства. В большей части работ время на маневровые операции определяется в соответствии с типовыми нормами времени на маневровую работу [39], что не обеспечивает достаточного уровня точности при использовании сортировочного устройства горочного типа. В работе [45] подробно анализируется эта проблема и в качестве решения предлагается использование регрессионного анализа на основе статистических данных, получаемых на реальном объекте. Однако, ввиду ряда объективных ограничений при постановке натуральных экспериментов на реальной железнодорожной станции влияние на затраты времени таких факторов, как масса состава и продольный профиль сортировочного устройства и путей, на которых производится маневровая работа, все еще учтены недостаточно. Помимо этого, модели не учитывают возможность наличия вагонов, запрещенных к роспуску с горки, которые также будут оказывать влияние на временные затраты. Таким образом, для более достоверного определения затрат времени на подборку вагонов, необходимо учитывать ряд факторов, которым уделялось недостаточное внимание в предыдущих работах: структура отцепопотока, масса переставляемых групп вагонов, план и профиль сортировочного устройства, выполняющего подборку вагонов.

– Эксплуатационные расходы [30, 34, 49]. Как правило, анализируя данный показатель, авторы включали в него энергетические (расход топлива) и временные (локомотиво-часы маневровой работы, вагоно-часы) затраты. Данный критерий в сравнении с предыдущими является более комплексным и позволяет получить более точную оценку показателей рассматриваемого процесса, однако его расчет все

еще требует детализации: помимо локомотиво-часов и энергетических затрат необходимо учитывать затраты, связанные с простоем в ожидании подборки, возможное скопление очереди на путях накопления, а также эксплуатационные расходы, связанные с содержанием инфраструктуры, которые будут зависеть от необходимого путевого развития и, следовательно, от выбора способа сортировки.

При разработке проектной модели в качестве критерия выбора рационального способа многогруппной сортировки предлагается использовать интегральные дисконтированные затраты. В связи с тем, что модель является проектной и ориентируется, в первую очередь, на строительство нового специализированного сортировочного устройства, необходим учет как капитальных, так и эксплуатационных расходов. Основой для определения эксплуатационных расходов будет являться время на подборку вагонов, а также расходы на содержание инфраструктуры.

3) Характеристики перерабатываемого вагонопотока. Как правило, разработанные ранее модели учитывали единственный параметр вагонопотока – число подбираемых групп. Этот параметр напрямую влияет как на выбор конструкции сортировочного устройства, так и на используемую технологию сортировки. Однако, существует ряд других характеристик вагонопотока, которые могут оказать существенное влияние на работу сортировочного устройства:

– Масса отцепов. Значительную долю в общих затратах времени при использовании интенсивных способов сортировки составляют повторные вытягивания групп вагонов через горб горки для повторной сортировки. При преодолении маневровым составом уклонов профиля горки малой мощности, масса переставляемых групп может оказывать существенное влияние на затрачиваемое время, т.е. воздействовать на один из важнейших оптимизационных критериев – затраты времени на сортировку. Исходя из этого, фактор массы необходимо учитывать.

– Длина отцепов. Длина отцепов напрямую влияет на такой элемент технологии, как роспуск вагонов, а также на необходимую вместимость группировочных путей. В связи с наличием такого влияния данный фактор также должен быть учтен.

– Наличие вагонов, запрещенных к роспуску с горки (вагонов ЗСГ), требующих особых условий, что также сказывается на продолжительности подборки вагонов [63].

– Объем сортировочной работы по многогруппной подборке вагонов и интенсивность поступления составов, требующих подборки, на сортировочное устройство.

Помимо учета рассмотренных выше факторов, разрабатываемая проектная модель должна обеспечивать расчет наличной перерабатывающей способности специализированного сортировочного устройства и итоговых показателей, характеризующих процесс многогруппной подборки вагонов при различных конструктивных параметрах сортировочного устройства и технологических условиях.

1.4 Выводы по разделу

На основании проведенного анализа особенностей технологии работы и конструкции сортировочных устройств, специализированных для многогруппной подборки вагонов можно сделать следующие выводы:

1) Актуальность разрабатываемой темы обусловлена изменением структуры вагонопотока, увеличением числа операторов подвижного состава и назначений следования вагонов, а также концентрацией сортировочной работы на крупных технических и грузовых станциях узлов, которые привели к увеличению объемов повторной сортировки и загрузки станционных устройств. Вариантом решения данной проблемы в отечественной и зарубежной практике является использование специализированных сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов.

2) В ходе анализа основных вариантов организации многогруппной подборки вагонов установлено, что для решения этой задачи на отечественных железных дорогах необходимы специальные методы работы и соответствующие конструктивные параметры сортировочных устройств, ориентированные, прежде

всего, на интенсификацию сортировки местных вагонопотоков в условиях ограниченного путевого развития.

3) В результате исследования проблем организации многогруппной подборки вагонов обоснована потребность в развитии существующих методов расчета конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства, специализированного для этой работы. Особенности процесса многогруппной подборки вагонов с использованием интенсивных способов сортировки на ограниченном числе путей требуют реализации комплексного подхода, учитывающего конструкцию группировочного парка, технологию сортировки и параметры перерабатываемого вагонопотока.

4) 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 классифицировать по функциональному назначению на оперативные, оптимизационные и проектные.

5) С учетом актуальности задачи совершенствования методов расчета параметров сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов на ограниченном числе путей, в диссертационной работе предлагается 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.

2 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МНОГОГРУППНОЙ ПОДБОРКИ ВАГОНОВ НА ОГРАНИЧЕННОМ ЧИСЛЕ ПУТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПОСОБОВ ИНТЕНСИВНОЙ СОРТИРОВКИ

2.1 Постановка задачи

Для оценки эффективности работы сортировочной горки часто используется такой показатель, как технологический горочный интервал, под которым понимается среднее время занятия горки расформированием одного состава, т. е. время от начала роспуска одного состава до возможного начала роспуска следующего состава (при сортировке транзитных поездов) [64]. В последовательность технологических операций включают, как правило, операции заезда горочного локомотива за новым составом, надвиг его на горку, роспуск и среднее время осаживания вагонов на подгорочном пути [39]. Также в состав технологического горочного интервала (ТГИ) могут включаться и другие операции, приводящие к занятию горки. В частности, это дополнительная маневровая работа с вагонами, загруженными грузами, требующими особых условий пропуска через горку; повторная сортировка вагонов из-за нарушения плана формирования в ходе роспуска и из-за нехватки количества и вместимости сортировочных путей. Технологический горочный интервал для обычной сортировочной горки может с разной степенью точности определяться аналитически, графически (построением плана-графика работы горки на основе хронометражных наблюдений или нормативных затрат времени на технологические операции) либо методом моделирования работы горки [6, 65-67]. При этом более простые детерминированные методы обеспечивают приемлемую точность расчета в том случае, если структура перерабатываемого вагонопотока, состав и длительность технологических операций являются достаточно стабильными [68].

Процесс многогруппной сортировки вагонов на специализированном сортировочном устройстве также можно оценить при помощи технологического горочного интервала, поскольку он учитывает как конструктивные параметры сортировочного устройства, так и технологию сортировки, и структуру перерабатываемого

вагонопотока. В случае многогруппной сортировки, под технологическим горочным интервалом понимается время от начала подборки многогруппного состава до возможного начала подборки следующего многогруппного состава.

При этом для решения задачи по определению рациональных конструктивных и технологических параметров устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов, целесообразно выделить две группы операций, входящих в состав полного технологического горочного интервала:

- первая группа: операции, длительность которых напрямую связана с конструкцией сортировочного устройства и технологией сортировки;
- вторая группа: операции, длительность которых непосредственно не зависит от конструкции устройства и технологии сортировки:

- а) заезд горочного локомотива за новым составом на сортировочный или иной путь, на котором производится первоначальное накопление вагонов, из которых необходимо формировать многогруппный состав, и его перестановка на путь надвига специализированного сортировочного устройства (длительность операции зависит, прежде всего, от размещения сортировочного устройства на станции, протяженности соответствующих маршрутов);
- б) перестановка готового состава на путь отправления или в другой парк (длительность операции зависит от размещения сортировочного устройства, а также протяженности маршрутов перестановки).

Кроме того, длительность указанных операций зависит от схемы станции, объемов и характера поездной и маневровой работы, враждебности передвижений.

Таким образом, часть элементов технологического горочного интервала определяется факторами, не зависящими от конструктивных параметров и технологии работы самого специализированного сортировочного устройства.

Исходя из вышеизложенного, в качестве показателя оценки эффективности работы специализированного сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов предлагается использовать среднее время на сортировку состава (т.е.

на многогруппную подборку вагонов), в которое войдет длительность всех операций первой группы, т.е. непосредственно зависящих от конструкции устройства и технологии сортировки. Эта часть *полного горочного технологического интервала* (ТГИ) для многогруппной сортировки в дальнейшем будет обозначаться как *базовый технологический горочный интервал* (ТГИ').

В свою очередь, от величины ТГИ зависит наличная перерабатывающая способность $N_{\text{пер}}^{\text{МГС}}$ сортировочного устройства, специализированного для многогруппной сортировки. Недостаточная величина $N_{\text{пер}}^{\text{МГС}}$ может привести к увеличению простоя в ожидании обслуживания и образованию очередей, а необоснованно высокий ее уровень – к увеличению стоимости сооружения и расходов, связанных с эксплуатацией специализированного сортировочного устройства.

Разработка методики определения ТГИ с учетом особенностей технологии многогруппной сортировки является актуальной задачей, которая должна решаться при проектировании специализированного сортировочного устройства, а также при технико-экономическом обосновании эффективности многогруппной подборки вагонов.

В настоящее время при любом способе расчета за основу берется структура горочного интервала, соответствующая технологии сортировки транзитных поездов с переработкой. Она предусматривает, как правило, однократный пропуск каждого состава через горку и однократное выполнение операций, входящих в технологический горочный интервал.

Организация многогруппной подборки вагонов с использованием интенсивных способов сортировки предполагает, что количество назначений вагонов существенно превышает количество задействованных для этих целей группировочных путей. В этих условиях стандартным элементом технологии многогруппной подборки становится повторная сортировка вагонов. При этом структура технологического горочного интервала существенным образом меняется из-за включения в нее повторяющихся операций.

Количество и длительность операций, входящих в структуру ТГИ при многогруппной сортировке, не являются постоянными и зависят от ряда факторов, в числе которых следующие:

- количество и вместимость группировочных путей;
- количество назначений, на которое выполняется подборка вагонов;
- структура исходного состава, подлежащего сортировке;
- технология сортировки (способ интенсивной сортировки и его схема).

Таким образом, ТГИ при многогруппной сортировке можно рассматривать как случайную величину, достоверное определение которой требует разработки соответствующих методов.

Предлагается использовать для определения ТГИ при многогруппной подборке вагонов комплексную модель, включающую в себя имитационное моделирование процесса многогруппной сортировки с использованием аналитических методов расчета продолжительности отдельных операций.

Разрабатываемая модель процесса многогруппной подборки вагонов должна учитывать влияние на показатели работы сортировочного устройства следующих факторов:

- структуры вагонопотока (количества подбираемых групп, длины отцепов, их массы);
- наличия вагонов, запрещенных к роспуску с горки;
- конструкции сортировочного устройства (продольного профиля горки, плана горочной горловины, количества и вместимости группировочных путей);
- особенностей схем сортировки вагонов при использовании различных способов многогруппной подборки вагонов (комбинаторного, степенного, ступенчатого дублирующего и максимального, последовательного выделения групп).

Исходя из необходимости учета этих факторов, требуется решить следующие задачи:

- 1) определить конструктивные параметры объекта исследования – сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов (горки малой мощности);

2) определить основные элементы, входящие в структуру технологического горочного интервала при выполнении многогруппной подборки вагонов, с выделением повторяющихся и однократных операций;

3) обосновать методы определения времени на нетиповые маневровые передвижения, такие как вытягивание вагонов через горб горки для повторной сортировки и др.;

4) разработать алгоритмы распределения вагонов по группировочным путям и определения их потребной вместимости для различных способов сортировки;

5) разработать метод расчета технологического горочного интервала и наличной перерабатывающей способности горочного сортировочного устройства в рамках математической модели работы сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов на ограниченном числе путей.

2.2 Обоснование конструктивных параметров горки малой мощности в составе устройства для многогруппной сортировки вагонов

Величина базового технологического горочного интервала непосредственно связана с конструкцией специализированного сортировочного устройства. Для изучения взаимной зависимости конструктивных параметров устройства и показателей его работы необходимо выбрать базовый объект для исследования и определить его технические параметры.

Для выполнения многогруппной подборки вагонов с использованием интенсивных технологий, в соответствии с [28], предлагается использовать горку малой мощности с числом группировочных путей от 3 до 7.

Для определения временных затрат на различные передвижения через горку малой мощности, необходимо определить конструктивные параметры плана и продольного профиля устройства.

В соответствии с Правилами и нормами проектирования сортировочных устройств [28] и при условии минимизации капитальных вложений приняты следующие принципиальные решения по конструкции устройства: один путь надвига,

один спускной путь; одна тормозная позиция, размещаемая на подгорочных путях. В конструкции плана используются симметричные стрелочные переводы с маркой крестовины 1/6. Прямые участки пути сопрягаются круговыми кривыми радиусом 200 м. Один из путей в подгорочном парке специализируется для вагонов, запрещенных к роспуску с горки (тупиковый путь без тормозной позиции).

Для обеспечения возможности выполнения вариантных расчетов по оценке эффективности многогруппной сортировки при различном количестве группировочных путей принята модульная конструкция путевого развития, позволяющая производить добавление путей без необходимости изменения основных параметров плана и профиля горки. Принципиальная схема горочной горловины на полное развитие представлена на рисунке 2.1.

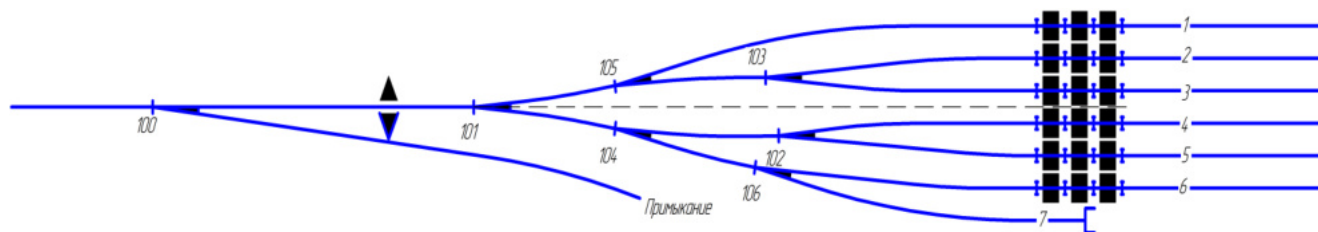


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема горочной горловины специализированного сортировочного устройства в осях путей

Модульность конструкции обеспечивается созданием конструктивных резервов путевого развития, позволяющих при необходимости осуществить укладку дополнительных стрелочных переводов для примыкания новых группировочных путей. Этапы развития представлены на рисунках 2.2-2.4.

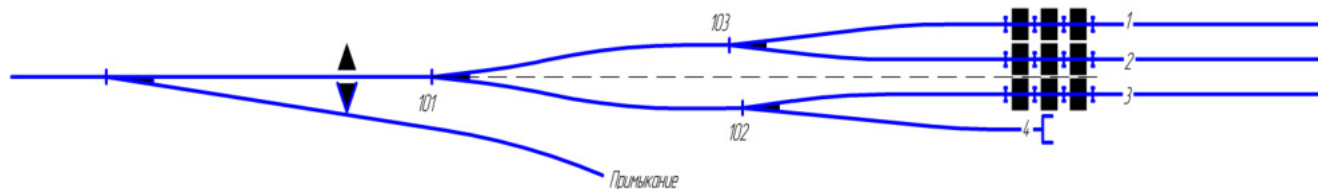


Рисунок 2.2 - Принципиальная схема горочной горловины специализированного сортировочного устройства в осях путей (этап 1)

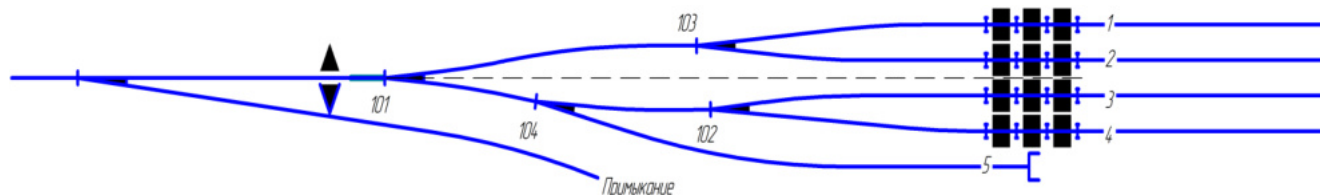


Рисунок 2.3 - Принципиальная схема горочной горловины специализированного сортировочного устройства в осях путей (этап 2)

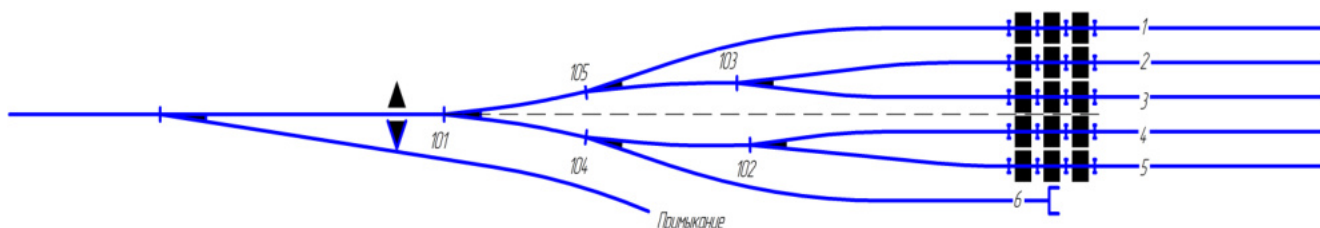


Рисунок 2.4 - Принципиальная схема горочной горловины специализированного сортировочного устройства в осях путей (этап 3)

Для определения точных характеристик плана путей для всех вариантов конструктивных схем разработаны масштабные планы (Приложение А).

Расчет конструктивных параметров продольного профиля сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов выполнен в соответствии с требованиями к проектированию горок малой мощности [28]. Приняты следующие решения по конструкции продольного профиля:

- 1) Профиль спускной части состоит из трех элементов: скоростной участок, стрелочная зона, подгорочные пути.
- 2) Очертание профиля – вогнутое, разница уклонов между смежными элементами продольного профиля не более 25 ‰.
- 3) Уклон стрелочной зоны – 1,5 ‰, уклон подгорочных путей – 0,6 ‰. Уклон скоростного участка устанавливается отдельным расчетом методом комплексного проектирования высоты и продольного профиля горки [28].

В соответствии с [28], высота горки должна обеспечивать докатывание плохого бегуна (П) до расчетной точки (РТ), принимаемой на расстоянии 50 м за концом парковой тормозной позиции. Тормозные средства должны обеспечивать остановку очень хорошего бегуна (ОХ-100) до выхода с парковой тормозной позиции.

Конструкция продольного профиля проверяется путем моделирования скатывания расчетного сочетания бегунов П-Х-П в неблагоприятных условиях. Обеспечение достаточности пространственных и временных интервалов между бегунами по стрелочным переводам, предельным столбикам проверялось графоаналитическим методом по графикам скорости и времени скатывания расчетных бегунов [69]. Подробный расчет конструктивных параметров плана и продольного профиля представлен в Приложении Б.

2.3 Определение элементов технологического горочного интервала при многогруппной подборке вагонов с учетом затрат времени на однократные и повторяющиеся операции

Для расчета наличной перерабатывающей способности специализированного сортировочного устройства необходимо определить величину ТГИ. Далее рассматривается вариант работы специализированного сортировочного устройства с одним маневровым локомотивом.

Для расчета ТГИ сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов, требуется определение временных затрат на все виды операций в процессе многогруппной сортировки с применением интенсивной технологии сортировки. Отличие процесса расформирования составов с помощью интенсивных технологий многогруппной сортировки от расформирования транзитных поездов на основном горочном устройстве заключается в наличии как однократных, так и повторяющихся операций (например, повторных сортировок всех или части вагонов). Исходя из этого, для моделирования процесса многогруппной подборки вагонов необходимо выделить такие операции и определить затраты времени на их выполнение.

Ключевые элементы технологии многогруппной подборки, оказывающие влияние на временные затраты при многогруппной подборке вагонов:

1. Заезд локомотива за неподобранным составом, ожидающим сортировки, а также уборка подобранного состава на соответствующий путь. *Однократно.*

2. Перестановка неподобранного состава на вытяжной путь для осуществления подборки вагонов. *Однократно.*

3. Надвиг состава на горку малой мощности. *Однократно. Далее возможен повторный надвиг отдельных групп вагонов, в соответствии с используемой схемой сортировки.*

4. Роспуск вагонов на сортировочные (группировочные, сортировочно-группировочные) пути в соответствии со специализацией путей и схемой сортировки. *Повторяющаяся операция, зависит от схемы сортировки.*

5. Скатывание последнего отцепа на сортировочный путь. Операция выделяется для учета времени между моментом окончания роспуска (последний отцеп находится на горбе горки) и моментом фактического окончания расформирования (отцеп находится на нужном группировочном пути). *Повторяющаяся операция, зависит от схемы сортировки.*

6. Следование локомотива в подгорочный парк за вагонами, требующими по технологии повторной сортировки (операция может частично совмещаться с операцией 4 и 5). *Повторяющаяся операция, зависит от схемы сортировки.*

7. Вытягивание группы вагонов через горку для повторной сортировки, а также при сборке. *Повторяющаяся операция, зависит от схемы сортировки.*

8. Осаживание вагонов ЗСГ на специализированный путь, а также осаживание вагонов при сборке. *Повторяющаяся операция, зависит от количества и расположения в составе (или повторно расформировываемой группе) отцепов, содержащих вагоны ЗСГ, а также от схемы сортировки.*

9. Осаживание вагонов с целью устранения «окон». *Повторяющаяся операция, зависит от количества вагонов на группировочных путях после каждой сортировки.*

10. Дополнительные операции (работы, связанные с постановкой и уборкой средств закрепления и перезакреплением вагонов на группировочных путях, приготовлением маневровых маршрутов).

Основным технологическим отличием многогруппной подборки вагонов от стандартной горочной технологии (сортировки транзитных поездов) является большое число маневровых передвижений, возникающих из-за наличия повторяющихся операций (например, повторный роспуск). Часть этих передвижений (например, вытягивание группы вагонов из группировочного парка для повторного роспуска, сборка подобранных групп) производится с заездом на горб горки и, соответственно, на уклоны спускной части, из-за небольшой длины горловины компактного сортировочного устройства. Для определения технологического горочного интервала, а затем и наличной перерабатывающей способности устройства необходимо определить затраты времени на выполнение каждого передвижения.

Описание каждого элемента ТГИ и способы определения времени на их выполнение представлены ниже.

Элемент 1. Затраты времени на заезд локомотива за неподобранным составом, ожидающим сортировки. Данное время зависит от схемы примыкания устройства к станции. Определяется с использованием масштабной схемы станции в соответствии с нормами [39] или хронометражем. *Длительность операции не зависит напрямую от конструктивных параметров специализированного сортировочного устройства, определяется вне модели его работы.*

Элемент 2. Затраты времени на перестановку состава с пути накопления на вытяжной путь сортировочного устройства. Время на данное передвижение будет определяться аналогично элементу 1.

Элемент 3. Время на надвиг состава на сортировочное устройство $t_{\text{над}}$. Определяется в соответствии с нормами времени на маневровую работу [39]:

$$t_{\text{над}} = \frac{0,06l_{\text{над}}}{v_{\text{над}}}, \quad (2.1)$$

где $l_{\text{над}}$ – расстояние надвига, м; $v_{\text{над}}$ – скорость надвига, принимается для горки малой мощности равной 5 км/ч.

Элемент 4. Время на роспуск вагонов $t_{\text{рос}}$. Данная операция является повторяющейся, при этом число распускаемых вагонов является случайной величиной,

зависящей от структуры вагонопотока и схемы сортировки. Это обуславливает целесообразность моделирования данной операции. Время на каждую сортировку для каждой процедуры роспуска может определяться следующим образом [39]:

$$t_{\text{рос}} = \frac{0,06l_{\text{в}}n_{\text{гр}}}{v_{\text{рос}}}, \quad (2.2)$$

где $l_{\text{в}}$ – расчетная длина вагона (15 м); $n_{\text{гр}}$ – количество вагонов в распускаемой группе; $v_{\text{рос}}$ – скорость роспуска, км/ч.

Скорость роспуска зависит от средней длины отцепа и определяется по соответствующим таблицам [39]. Для удобства использования в модели саму таблицу можно привести к аналитическому виду с помощью регрессионного анализа. Полученная математическая модель для определения скорости роспуска выглядит следующим образом:

$$v_{\text{рос}} = 0.8135 \ln(l_{\text{ср}}^{\text{от}}) + 2.8791, \quad (2.3)$$

где $l_{\text{ср}}^{\text{от}}$ – средняя длина отцепа, ваг.

$$l_{\text{ср}}^{\text{от}} = \frac{n_{\text{гр}}}{n_{\text{отц}}}, \quad (2.4)$$

где $n_{\text{отц}}$ – количество отцепов в группе.

Элемент 5. Время на скатывание последнего отцепа на группировочный путь. Данное время в модели можно не учитывать, т.к. операция будет выполняться параллельно операции 6, т.е. заезду локомотива в группировочный парк за группой вагонов, которая будет сортироваться повторно.

Элемент 6. Время на следование локомотива в подгорочный парк. Определяется в соответствии с нормами [39] и зависит от длины горловины сортировочного устройства.

Длительность операций, рассматриваемых далее, существенным образом зависит от конструкции сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов.

Элемент 7. Время на вытягивание вагонов. Делится на вытягивание групп вагонов для повторной сортировки (элемент времени 7.1) и вытягивание групп вагонов при сборке (элемент времени 7.2).

Элемент 7.1. *Время на вытягивание вагонов для повторной сортировки через горб горки.*

Данное маневровое передвижение происходит с занятием спускной части горки, в связи с чем маневровая группа преодолевает достаточно крутые уклоны. Количество переставляемых вагонов при этом каждый раз будет меняться, т.к. число вагонов, которое вытягивается через горку, зависит от способа и схемы сортировки, а также от структуры перерабатываемого вагонопотока. В связи с этим, определение достоверного метода расчета времени на такое передвижение является отдельной задачей. С целью определения необходимости разработки нового метода для определения времени на передвижение, произведен сравнительный анализ основных методов определения затрат времени на маневровые операции.

Конструкция плана и продольного профиля определена ранее (п. 2.2, Приложения А и Б). Расчетный продольный профиль представлен на рисунке 2.5. Уклон скоростного элемента горки составил 26,5 ‰, противоуклон 8 ‰, длина горловины – 199,5 м.

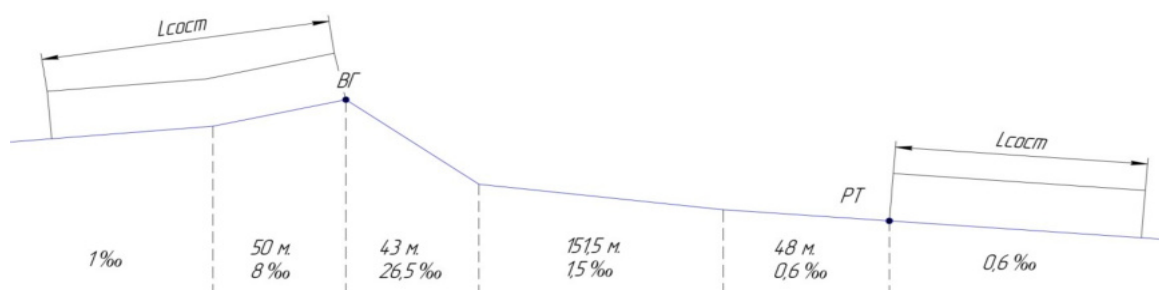


Рисунок 2.5 – Профиль горки малой мощности с разбивкой по элементам

Помимо метода непосредственного измерения времени (хронометражных наблюдений), существует два основных варианта определения длительности полу-рейсов: использование типовых норм времени на маневровую работу [39] и расчет затрат времени на основе тяговых расчетов [70, 71]. Необходимость использования этих методов обусловлена невозможностью произвольно менять условия наблюдений при хронометраже, что существенно ограничивает диапазоны исследуемых факторов (в частности, количество и массу вагонов в группе, длины и уклоны

участков пути) и возможность исследования их влияния на затраты времени на полурейс. Рассмотрим основные методы определения временных затрат:

Первый метод. Использование типовых норм времени на маневровую работу.

Типовые нормы [39] содержат методику определения затрат времени на операцию «перестановка вагонов с пути на путь, из парка в парк», наиболее близкую по существу к рассматриваемому типу маневровых передвижений.

Продолжительность полурейса определяется следующим образом:

$$t_{\Pi} = ((\alpha_{pm} + \beta_{pm} \cdot n)v/2 + 3,6l_{\Pi}/v)/60, \quad (2.5)$$

где α_{pm} – коэффициент, учитывающий время, необходимое для изменения скорости движения локомотива на 1 км/ч при разгоне или торможении, $\alpha_{pm} = 0,76$ сек/(км/ч); β_{pm} – коэффициент, учитывающий дополнительное время на изменение скорости движения каждого вагона в маневровом составе на 1 км/ч при разгоне или торможении, $\beta_{pm} = 0,13$ сек/(км/ч); n – количество вагонов в составе; v – допустимая скорость движения при маневрах, км/ч; l_{Π} – длина полурейса, м; 3,6 – коэффициент перевода км/ч в м/сек; 60 – коэффициент перевода секунд в минуты.

Рассматриваемая формула является эмпирической и не учитывает такие факторы, как уклон пути и масса группы вагонов (учитывается опосредованно через длину).

Типовые нормы времени на маневровую работу при расчете длительности полурейса по перестановке вагонов рассматривают перестановку вагонов с пути на путь при уклонах продольного профиля пути на маршруте, незначительно отличающихся от горизонтальной площадки. Поскольку разница фактических уклонов смежных участков станционных путей обычно не превышает нескольких промилле, величина уклона пути не играет решающей роли в длительности полурейса перестановки вагонов. Отсутствие фактора массы в указанных нормах можно объяснить тем, что ее влияние на длительность полурейса при небольших уклонах, характерных для продольного профиля большей части станционных путей, будет незначительным.

При многогруппной сортировке вагонов на горочном сортировочном устройстве полурейсы вытягивания групп при отсутствии пути в обход горки будут включать в себя передвижение локомотива с вагонами через спускную часть горки, имеющую специфический профиль со значительными уклонами, поэтому такие факторы, как профиль пути и масса состава необходимо учитывать.

Входящая в формулу (2.5) v (допустимая скорость движения при маневрах) при движении локомотива с вагонами сзади составляет 40 км/ч [72]. Однако, принимая во внимание план и продольный профиль горки малой мощности, при достаточно высокой массе и небольшой длине полурейса такая скорость чаще всего не будет достигаться.

Данная проблема подробно исследована в [45]. Авторами статьи была разработана регрессионная модель для определения расчетной скорости движения в зависимости от длины полурейса L :

$$v_p = 5,839 + 11,158L - 1,786L^2, \quad (2.6)$$

В связи с этим, в формуле (2.5) предлагается использовать в качестве v расчетную скорость движения v_p .

Второй метод. Определение затрат времени на полурейс с использованием тяговых расчетов. Метод позволяет учесть все существенные факторы, влияющие на временные затраты, однако для его эффективного применения требуется специальное программное обеспечение.

С целью определения разницы в значениях, полученных различными методами, необходимо выполнить расчет временных затрат для одинаковых условий. Для выполнения расчетов, связанных с моделированием передвижений на основе тяговых расчетов использовался программный комплекс «Маневры-2» [49, 70, 71, 73,].

Количество вагонов в составе m принималось в диапазоне от 0 (холостой полурейс) до 70 с шагом 5, длина вагона $l_{\text{учл}} = 14$ м. За расстояние, которое необходимо преодолеть маневровому составу, принято расстояние от вершины горки до

расчетной точки (условно принята в качестве координаты начала полурейса): $l = 242,5$ м. Тогда длина полурейса:

$$l_{п-р} = m \cdot l_{усл} + l_{лок} + l, \quad (2.7)$$

При моделировании использовался локомотив ТЭМ-18 массой $q_{л}$. Средняя масса брутто одного вагона принята равной $q = 60$ т.

Общая масса маневрового состава определяется как

$$q_{гр} = m \cdot q + q_{л}, \quad (2.8)$$

Далее рассматриваются три варианта расчета длительности маневрового полурейса перестановки вагонов с заездом маневрового состава на горб горки:

1) Вариант 1. Использование типовых норм времени на маневровые операции [39] с помощью формулы (2.5). Длина полурейса определяется по формуле (2.7), допустимая скорость по формуле (2.6). *Масса и уклон не учитываются*. Полученное время обозначается как t_1 .

2) Вариант 2, с подробным учетом продольного профиля. Расчет времени на полурейс с помощью программы «Маневры-2». В качестве гипотезы принимается, что продольный профиль горки является фактором, существенно влияющим на длительность полурейса, поэтому в расчетах он представляется в подробном виде (см. рисунок 2.5).

При моделировании учитывается действие ускоряющих и замедляющих сил (в том числе, от уклонов профиля) по всей длине состава $L_{сост}$. Соответственно, в протяженность расчетного участка профиля входит уклон со стороны пути надвига (1‰) и уклон группировочного пути (0,6 ‰). Длина этих элементов зависит от $L_{сост}$. Масса определяется по формуле (2.8). Время, получаемое этим методом, обозначается как t_2 .

3) Вариант 3, с упрощенным учетом продольного профиля. Расчет времени на полурейс выполняется с помощью программы «Маневры-2». Расчетная скорость определяется по формуле (2.6). Отличие от предыдущего метода заключается в рассмотрении продольного профиля в упрощенном виде, за счет его спрямления. Это необходимо для того, чтобы определить, насколько спрямление профиля отразится на величине длительности полурейса.

Конструкция спрямленного профиля представлена на рисунке 2.6. Спрямленный уклон составил 9,3 %. Масса маневрового состава определяется по формуле (2.8). Длительность полурейса, определенная данным методом, обозначается как t_3 .

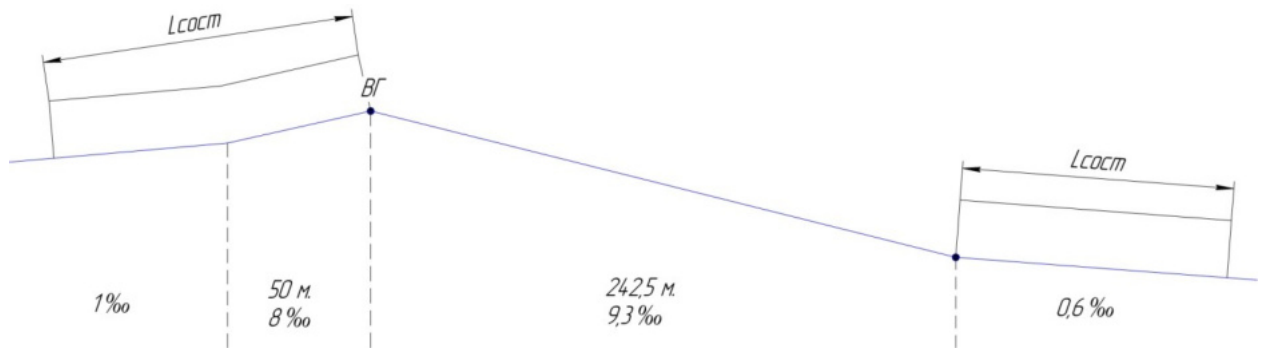


Рисунок 2.6 – Спрямленный профиль рассматриваемой горки

По каждому варианту были проведены расчеты, результаты которых представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчетов временных затрат на полурейс различными методами

m , ваг	$q_{гр}$, Т	$l_{п-р}$, М	v , км/ч	Затраты времени, мин			t_2/t_1	t_3/t_1
				t_1	t_2	t_3		
0	120	259,5	8,61	1,86	1,94	1,92	1,042	1,031
5	420	329,5	9,32	2,23	2,40	2,38	1,076	1,067
10	720	399,5	10,01	2,57	2,94	2,91	1,146	1,134
15	1020	469,5	10,68	2,88	3,25	3,24	1,129	1,126
20	1320	539,5	11,34	3,17	3,65	3,68	1,151	1,160
25	1620	609,5	11,98	3,45	4,10	4,26	1,187	1,233
30	1920	679,5	12,60	3,73	4,41	4,55	1,183	1,221
35	2220	749,5	13,20	3,99	4,73	4,8	1,185	1,203
40	2520	819,5	13,78	4,25	5,12	5,32	1,204	1,251
45	2820	889,5	14,35	4,51	5,40	5,59	1,198	1,240
50	3120	959,5	14,90	4,77	5,75	6,21	1,206	1,303
55	3420	1029,5	15,43	5,02	6,18	6,78	1,231	1,351
60	3720	1099,5	15,95	5,27	6,54	7,39	1,240	1,401
65	4020	1169,5	16,45	5,53	6,89	7,81	1,246	1,413
70	4320	1239,5	16,93	5,78	7,52	8,49	1,300	1,468

Результаты, полученные по разным вариантам расчета, представлены на рисунке 2.7 в виде зависимостей. Длина маневрового состава является пропорциональной его массе (коэффициент пропорциональности – средняя масса вагона), при этом при одинаковой длине горочной горловине длина полурейса будет зависеть от количества вагонов в переставляемой группе. Полученные зависимости соотносятся и с массой, и с длиной переставляемого состава.

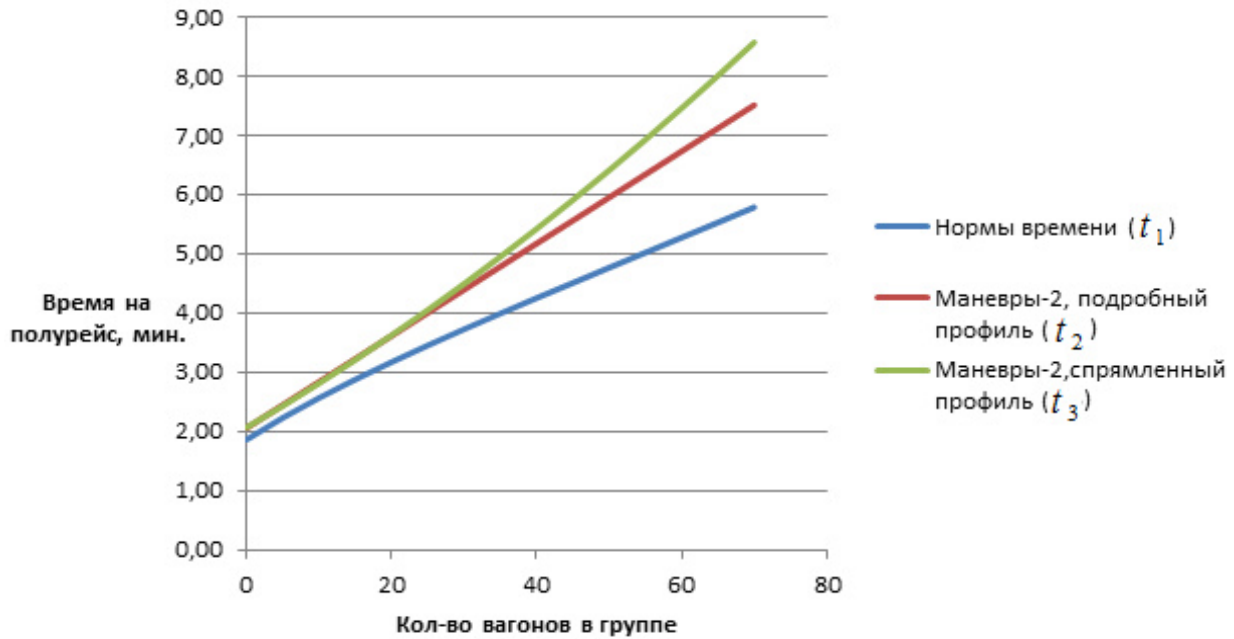


Рисунок 2.7 – Зависимость времени на полурейс от числа вагонов в переставляемой группе при расчете разными методами

В таблице 2.1 представлено отношение времени t_2 и t_1 : при небольшой массе, например, при движении одиночного локомотива, их отношение составило 1,04, т.е. разница между полученными значениями 4%; с повышением массы отношение возрастает. При массе 4320 т оно составило 1,30, т.е. разница между полученными значениями уже 30%.

Из зависимостей рисунка 2.7 видно, что разница в полученных результатах тем значительнее, чем больше масса маневрового состава. Можно предположить, что это связано с бóльшим влиянием уклонов пути на составы большей массы. Раз-

личия в результатах, полученных по вариантам расчета 1 и 2 в этом случае, очевидно, объясняются отсутствием учета уклонов в первом варианте. Метод тяговых расчетов учитывает этот фактор и обеспечивает бóльшую точность расчета.

Спрямление профиля (третий вариант расчета) дает завышенные результаты по сравнению с подробным профилем (второй вариант). Это объясняется следующим образом: при движении по фактическому (подробному) профилю, состав большой массы первый участок (порядка 200 м) перемещается по уклону, не превышающему 1,5‰, что позволяет набрать инерцию для преодоления уклона в 26,5‰ с использованием кинетической энергии. При спрямленном профиле состав сразу начинает движение с достаточно крутого уклона, что ухудшает условия его трогания с места и динамику разгона.

Таким образом, можно сделать вывод, что масса маневрового состава значительно влияет на длительность полурейса с заездом на горб горки, а методом, обеспечивающим корректный учет влияния фактора массы, является использование тяговых расчетов с подробным представлением продольного профиля на маршруте.

Применение метода тяговых расчетов для определения длительности полурейсов перестановки для каждой такой операции связано с большой трудоемкостью и существенными затратами времени. Для интеграции возможностей данного метода в общую модель процесса многогруппной сортировки предлагается разработать метод определения длительности рассматриваемых маневровых полурейсов через горб горки для различных значений массы состава и длины полурейса. Для этого используется многофакторный регрессионный анализ и методы планирования эксперимента [74, 75].

Исследуемый параметр (получаемый отклик) – T , время на полурейс через горб горки малой мощности. Варьируемые факторы: $l_{п-р}$ – длина полурейса, $q_{гр}$ – масса маневровой группы.

Длина полурейса $l_{п-р}$ и масса маневровой группы $q_{гр}$ являются функцией числа вагонов, следовательно, само число вагонов можно в явном виде в регрессионную модель не включать.

Математическая модель в общем виде будет выглядеть следующим образом:

$$T = f(l_{п-р}, q_{гр}). \quad (2.9)$$

Для определения массы маневровой группы приняты следующие параметры:

$$q_{ваг}^{min} = 22 \text{ т}, q_{ваг}^{max} = 90 \text{ т}.$$

Факторное пространство представлено следующим образом: $l_{п-р}^{min} = 400 \text{ м}$, $l_{п-р}^{max} = 960 \text{ м}$; $q_{гр}^{min} = 340 \text{ т}$, $q_{гр}^{max} = 4500 \text{ т}$.

Скорость движения для расчета длин полурейса определяется по формуле (2.6).

Полученные результаты моделирования маневровых передвижений представлены в таблице 2.2.

На основании полученных значений с использованием программного пакета Statistica выполнен многофакторный регрессионный анализ [76]. Полученная математическая модель имеет следующий вид:

$$T = 1,47282 + 0,002849l_{п-р} + 0,000519q_{гр}. \quad (2.10)$$

Коэффициент множественной детерминации $R^2 = 0,99$, т.е. близкое к единице значение. Критерий Фишера F имеет высокую значимость, как и все полученные коэффициенты модели. Нет оснований принимать нулевую гипотезу, распределение остатков достоверно описывается нормальным законом распределения.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что представленная регрессионная модель адекватно описывает процесс перестановки состава из группировочного парка на горб горки. Следовательно, подобная методика может использоваться для описания и других подобных нетиповых передвижений. Формула (2.10) может быть использована в имитационной модели работы специализированного сортировочного устройства при определении затрат времени на полурейсы перестановки вагонов из подгорочного парка через горб горки для повторной сортировки.

Элемент 7.2. *Время на вытягивание вагонов при сборке.* Предлагаемый метод определения затрат времени на вытягивание группы вагонов при сборке методологически аналогичен представленному для элемента времени 7.1 и приведен в Приложении В. Регрессионная модель [77] для определения временных затрат:

$$T = (1,47282 + 0,002849l_{п-р} + 0,000519q_{гр})/1,10. \quad (2.11)$$

Таблица 2.2 – Результаты расчета временных затрат методом имитационного моделирования

Номер опыта	Значения факторов		Расчетная скорость v_p , км/ч	Отклик T, мин
	$l_{п-р}$, м	$q_{гр}$, Т		
1		340		2,74
2		540		2,85
3		740		2,94
4		1020		3,24
5		520		3,24
6		1020		3,52
7		1520		3,85
8		1920		4,03
9		780		3,96
10		1020		4,19
11		1520		4,45
12		1920		4,70
13		780		4,26
14		1420		4,66
15		2120		5,09
16		2820		5,94
17		1100		4,68
18		2500		5,55
19		3500		5,97
20		4500		6,45

Элемент 8. *Время на осаживание вагонов ЗСГ на специализированный путь, а также осаживание вагонов при сборке.* Предлагаемый метод определения затрат времени аналогичен пунктам 7.1 и 7.2. Время, затрачиваемое на осаживание вагонов при сборке, определяется с помощью регрессионной модели (Приложение Г) [78]:

$$T_{ос} = 0,480216 + 0,006827L_{п-р} + 0,000227q_{гр}. \quad (2.12)$$

Элемент 9. *Время на осаживание вагонов с целью устранения «окон».* Временные затраты на данную операцию определяются в соответствии с нормами времени на маневровую работу [39] по формуле:

$$t_{oc} = 0,06n_c, \quad (2.13)$$

где n_c – количество осаживаемых вагонов.

Элемент 10. *Время на дополнительные операции по установке и снятию закреплений, ограждению вагонов с опасными грузами на путях.* Количество башмаков, необходимых для закрепления вагонов определяется в соответствии с [72] по формуле:

$$K = \frac{n(4i+1)}{200}, \quad (2.14)$$

где n – число осей, i – уклон пути, на котором находятся вагоны (0,6 ‰). Время на проход составителя, укладку башмаков и другие операции принято в соответствии с нормами.

Таким образом, предложенные выше способы расчета позволяют определить затраты времени на все основные операции, оказывающие непосредственное влияние на технологический горочный интервал и перерабатывающую способность сортировочного устройства при многогруппной сортировке вагонов. Аналитический вид зависимостей для расчета элементов временных затрат обеспечивает удобство их использования при выполнении расчетов внутри имитационной модели.

Полученные результаты позволяют сформулировать рекомендации относительно способа определения затрат на маневровые операции:

1) одним из основных критериев выбора способа расчета времени (с использованием типовых норм, с применением тяговых расчетов, хронометражными наблюдениями) является их трудоемкость; при сопоставимых результатах предпочтение следует отдавать более простым методам, которые позволяют выразить функцию времени от влияющих факторов в аналитическом виде;

2) при наличии значительных расхождений в результатах расчета времени на маневровые операции, полученных различными методами, целесообразно использовать хронометражные наблюдения или, при невозможности их выполнения (например, потребность получения результатов для условий, которые не могут быть многократно воспроизведены при хронометраже), моделирование тяговых

расчетов; в обоих случаях функция для расчета времени выводится в аналитическом виде методом подбора регрессионной модели на основании статистических данных натуральных или модельных экспериментов.

2.4 Разработка алгоритмов распределения вагонов по группировочным путям и определения их потребной вместимости в процессе многогруппной сортировки с учетом структуры перерабатываемого вагонопотока

В подразделе 2.3 были определены элементы технологического горочного интервала при многогруппной подборке вагонов, а также предложены методы определения соответствующих затрат времени. В связи с тем, что рассмотренные технологические операции в процессе многогруппной сортировки вагонов выполняются многократно, а величины, входящие в функции времени, для каждого передвижения изменяются, затраты времени на маневровые операции предлагается определять с использованием имитационного моделирования.

Модель процесса многогруппной подборки вагонов предлагается разрабатывать с использованием блочно-модульного принципа [79]. Принцип подразумевает отказ от «жесткой архитектуры» и разделение программы на независимые блоки и модули, выполняющие те или иные функции в программе. Модуль – наименьшая структурная единица, выполняющая определенные подзадачи. Блоки состоят из модулей. При этом корректировка каждого блока или модуля (например, для адаптации под решение частных исследовательских задач) ограничивается самим блоком и не приводит к разрушению общих принципов их взаимодействия. Модель реализована на языке программирования Visual Basic for Applications (VBA) с использованием возможностей электронных таблиц Excel. Это обеспечивает удобство задания и корректировки исходных данных, а также наглядность статистики результатов расчетов. Структура модели процесса многогруппной подборки вагонов, основной задачей которой является определение величины технологического горочного интервала, представлена на рисунке 2.8.

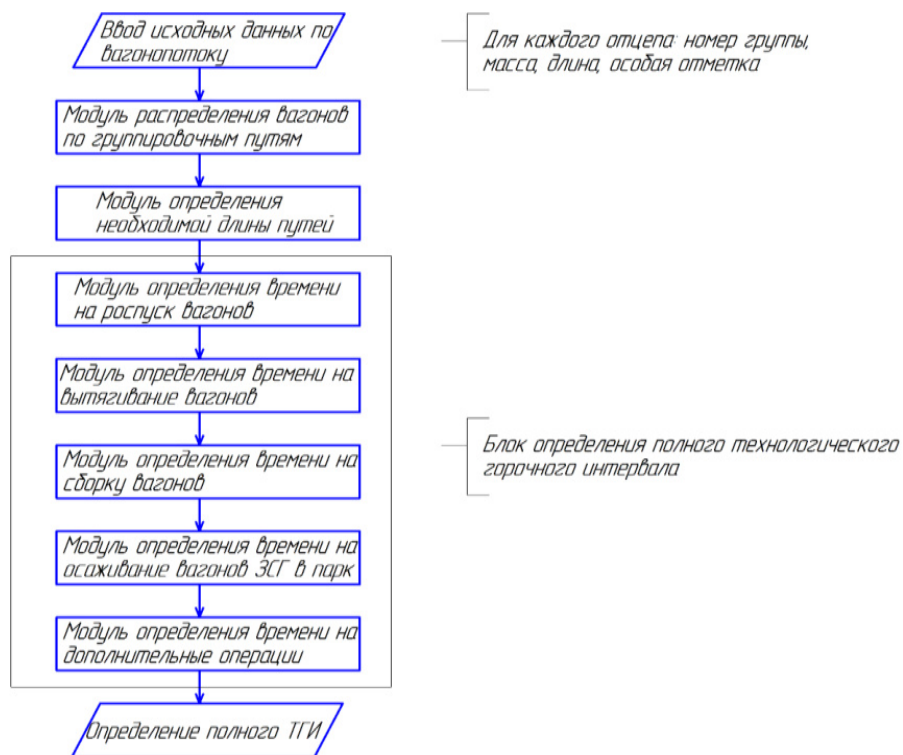


Рисунок 2.8 – Структура модели процесса многогруппной сортировки

В составе модели выделяется несколько основных элементов: блок расчета технологического горючего интервала и перерабатывающей способности сортировочного устройства, модуль распределения вагонов по группировочным путям и определения вместимости группировочных путей.

Модуль распределения вагонов по группировочным путям в процессе многогруппной сортировки позволяет моделировать процесс подборки вагонов, включающий в себя несколько сортировок, перестановок, сборку и т.д., а также предоставляет исходные данные для других модулей (например, для расчета технологического горючего интервала).

Основой модуля распределения вагонов по путям являются схемы интенсивной подборки вагонов на ограниченном числе путей. В модуле реализованы следующие способы многогруппной сортировки: комбинаторный, степенной, ступенчатый дублирующий, ступенчатый максимальный, последовательного выделения групп. Схемы, соответствующие различным способам сортировки, представлены в приложении Д.

Анализ схем сортировки показал, что существующие схемы не учитывают особенностей технологии работы с вагонами ЗСГ. При использовании рассматриваемой горочной технологии такие вагоны подлежат пропуску через горку с локомотивом с осаживанием на нужный группировочный путь или специально выделенный путь для работы с такими вагонами. При моделировании принят второй вариант технологии.

Исходными данными для программного модуля распределения вагонов по группировочным путям являются следующие переменные:

1) npt – число путей, используемых для сортировки. Помимо числа группировочных путей, предусмотренных схемой сортировки, необходимо предусмотреть дополнительный путь для вагонов, запрещенных к роспуску с горки (вагонов ЗСГ), что учитывается увеличением переменной на 1;

2) $imax$ – число отцепов в исходном составе. В первой сортировке участвуют все отцепы;

3) ngr – число групп в составе;

4) $nsort$ – переменная, определяющая количество сортировок. Зависит от числа групп, числа путей и способа (схемы) сортировки;

5) массивы данных, определяющие параметры отцепов: i – номер отцепа, $A(i)$ – номер группы, $B(i)$ – длина отцепа, $C(i)$ – масса отцепа, $D(i)$ – особая отметка (резервная характеристика отцепа, которая может использоваться для указания дополнительных признаков, например, собственника и т.п.). Отцепы, запрещенные к роспуску с горки, выделяются в отдельную группу 0 ($A(i) = 0$).

6) схема сортировки. В качестве примера, в таблице 2.3 приведена схема сортировки состава с количеством групп до семи на трех путях комбинаторным способом (таблица 2.3 – без учета отцепов ЗСГ и дополнительного пути для них, таблица 2.4 – с учетом отцепов ЗСГ). Упорядоченные отцепы указываются в круглых скобках, неупорядоченные – в квадратных.

Таблица 2.3 – Схема сортировки многогруппного состава с числом групп до 7 на трех путях, комбинаторный способ

Номер сортировки	Номер пути, с которого сортируют вагоны	Номера путей, на которые направляются вагоны	Размещение групп вагонов на путях после каждой сортировки
		1	(1)
		2	[2,4,5,7]
		3	[3,6]
		1	(1) + (2)
		2	(5)
		3	[3,6] + [4,7]
		1	(1, 2) + (3) + (4)
		2	(5) + (6) + (7)
		3	Свободен
		1	(1, 2, 3, 4) + (5, 6, 7)
		2	Свободен
		3	Свободен

Таблица 2.4 – Схема сортировки многогруппного состава с числом групп до 7, комбинаторный способ, при наличии отцепов ЗСГ

Номер сортировки	Номер пути, с которого сортируют вагоны	Номера путей, на которые направляются вагоны	Размещение групп вагонов на путях после каждой сортировки
		1	(1)
		2	[2,4,5,7]
		3	[3,6]
		4 (ЗСГ)	(0)
		1	(1) + (2)
		2	(5)
		3	[3,6] + [4,7]
		4 (ЗСГ)	(0)
		1	(1, 2) + (3) + (4)
		2	(5) + (6) + (7)
		3	Свободен
		4 (ЗСГ)	(0)
		1	(1, 2, 3, 4) + (5, 6, 7)
		2	Свободен
		3	Свободен
		4 (ЗСГ)	(0)

В программном модуле схемы сортировки задаются массивами данных (таблица 2.5) следующим образом: $K(N_s, N_g)$ – номер пути, на который будет направлен отцеп, в зависимости от номера сортировки (N_s) и номера группы (N_g); $KI(N_s)$ –

номер пути, с которого будет осуществлена повторная сортировка вагонов в зависимости от предшествующего номера сортировки ($Ns-1$).

Таблица 2.5 – Массив данных, отражающий схему сортировки

Первая сортировка	Вторая сортировка	Третья сортировка
$K(1, 0) = npt$	-	-
$K(1, 1) = 1$	$K(2, 1) = 1$	$K(3, 1) = 1$
$K(1, 2) = 2$	$K(2, 2) = 1$	$K(3, 2) = 1$
$K(1, 3) = 3$	$K(2, 3) = 3$	$K(3, 3) = 1$
$K(1, 4) = 2$	$K(2, 4) = 3$	$K(3, 4) = 1$
$K(1, 5) = 2$	$K(2, 5) = 2$	$K(3, 5) = 2$
$K(1, 6) = 3$	$K(2, 6) = 3$	$K(3, 6) = 2$
$K(1, 7) = 2$	$K(2, 7) = 3$	$K(3, 7) = 2$
$K1(1) = 2$	$K1(2) = 3$	$K1(3) = 2$

Алгоритм распределения вагонов. Задача алгоритма - создание массива $P(u, f, j)$, который содержит номера отцепов в зависимости от следующих параметров: u – номер сортировки, f – номер пути, на котором располагается отцеп после u -ой сортировки, j – порядковый номер отцепа на пути f . Массив позволяет отследить местонахождение любого отцепа после каждой сортировки. Алгоритм представлен в виде блок-схемы на рисунке 2.9.

Общая логика алгоритма следующая: массив $P(u, f, j)$ с параметром f , равным номеру пути, с которого должна осуществляться сортировка, и параметром $u-1$, т.е. номером предыдущей сортировки, берется в качестве сортируемого на шаге цикла. В соответствии с номером группы каждого отцепа определяется путь, на который отцеп должен быть направлен, затем данный отцеп записывается в массив $P(u, f, j)$ соответствующего пути для сортировки u (рисунок 2.9, цикл перебора сортировок).

В конце каждого цикла определяется, на каких путях будут оставаться отцепы, а с какого будет выполняться следующая сортировка. Информация об оставшихся в парке отцепах заносится в массив $P(u, f, j)$ для шага $u+1$, а тот путь, с которого будет осуществляться следующая сортировка, остается пустым (рисунок 2.9, цикл создания ситуации на путях перед следующей сортировкой).

Таким образом, программный модуль создает массив $P(u, f, j)$. Получаемый массив может быть использован для определения расстояний при вытягивании групп вагонов из парка для повторной сортировки и соответствующих затрат времени [80].

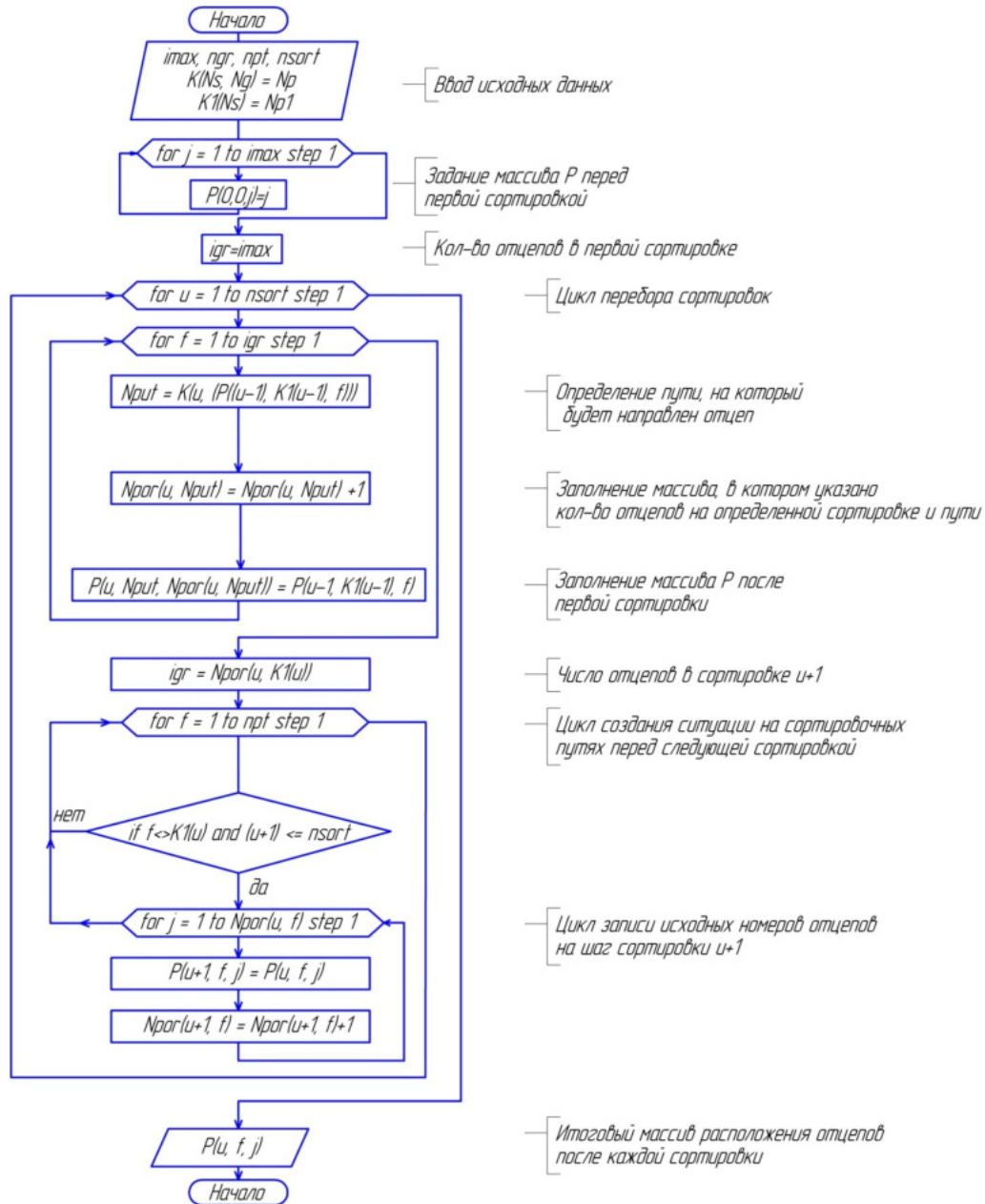


Рисунок 2.9 – Блок-схема алгоритма распределения вагонов по путям

Модуль позволяет определять количество отцепов на пути после каждой сортировки. Число вагонов, находящихся на пути f после сортировки u , записывается в массив $lpol(u, f)$. В процессе моделирования после каждой сортировки на одном и том же пути оказывается различное число вагонов. Для обеспечения надежности

технологического процесса, длина пути должна соответствовать ее максимальному необходимому значению среди всех сортировок. Максимальное значение длины пути в вагонах записывается в переменную $lpolmax(f)$, где f – номер пути. Суммарная вместимость группировочных путей сортировочного устройства – $lpolsum$. Блок-схема алгоритма определения необходимой вместимости путей группировочного парка при многогруппной сортировке представлена на рисунке 2.10.

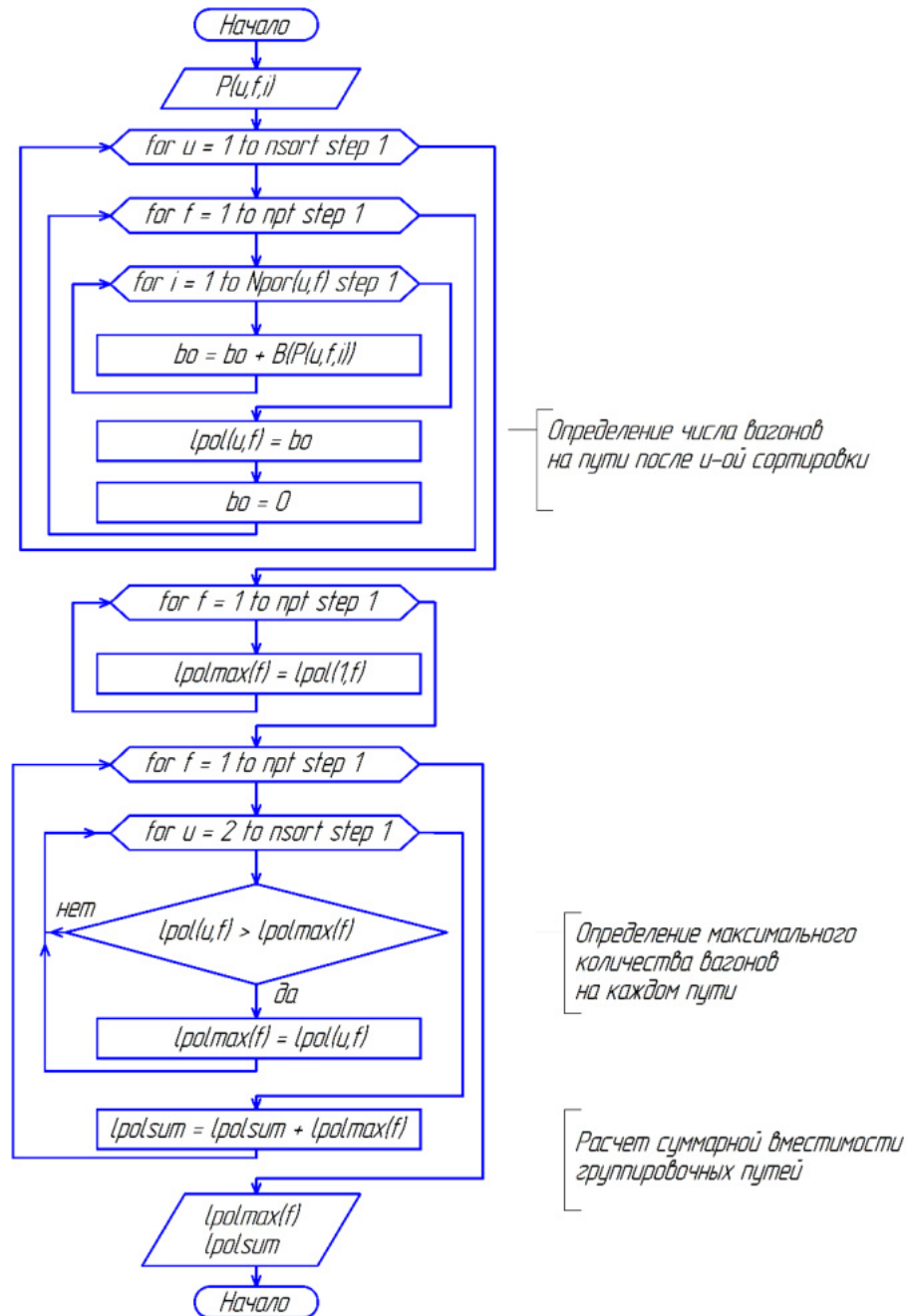


Рисунок 2.10 – Блок-схема алгоритма определения максимальной необходимой длины путей

2.5 Разработка алгоритма расчета технологического горочного интервала и перерабатывающей способности в рамках математической модели работы сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов

Массив $P(u, f, j)$, формируемый в результате работы модуля, описанного в п. 2.4, позволяет перейти к расчету технологического горочного интервала. Структурно блок расчета ТГИ разделен на модули, в которых определяются затраты времени на операции, входящие в его состав (п. 2.3):

1. Модуль определения времени на роспуск вагонов.

Время зависит от переменной n_{sort} , а также переменной igr (число отцепов в роспускаемой группе). На первом шаге моделирования сортировки $igr = imax$, т.к. расформировывается весь состав целиком. При последующих сортировках переменной igr присваивается значение массива $Npor(u, Kl(u))$, т.е. количество отцепов, находящихся на пути, с которого будет осуществляться сортировка. Для определения массы каждого отцепа используется массив $P(u, f, j)$, в котором хранится информация о месторасположении отцепов после каждой сортировки. Скорость роспуска определяется способом, описанным в п. 2.3, в зависимости от средней длины отцепа, которая задается переменной sdo . Алгоритм представлен в виде блок-схемы на рисунке 2.11. Время на каждую операцию роспуска вагонов при многогруппной сортировке записывается в массив $tros(u)$.

2. Модуль определения времени на вытягивание вагонов из подгорочного парка для повторной сортировки.

Количество вытягиваний определяется как $n_{sort}-1$, т.к. после последней сортировки вытягивание входит в операцию сборки вагонов. Переменная co используется для определения массы переставляемой группы, bo – для определения длины переставляемой группы, непосредственно влияющей на длину полурейса. Массив $lvit(u)$ используется для определения длин полурейсов (могут использоваться для определения вагоно-километров пробега в процессе сортировки). Алгоритм определения времени на вытягивание для повторной сортировки представлен в виде

блок-схемы на рисунке 2.12. Время на каждую операцию вытягивания для повторной сортировки записывается в массив $tvit(u)$.

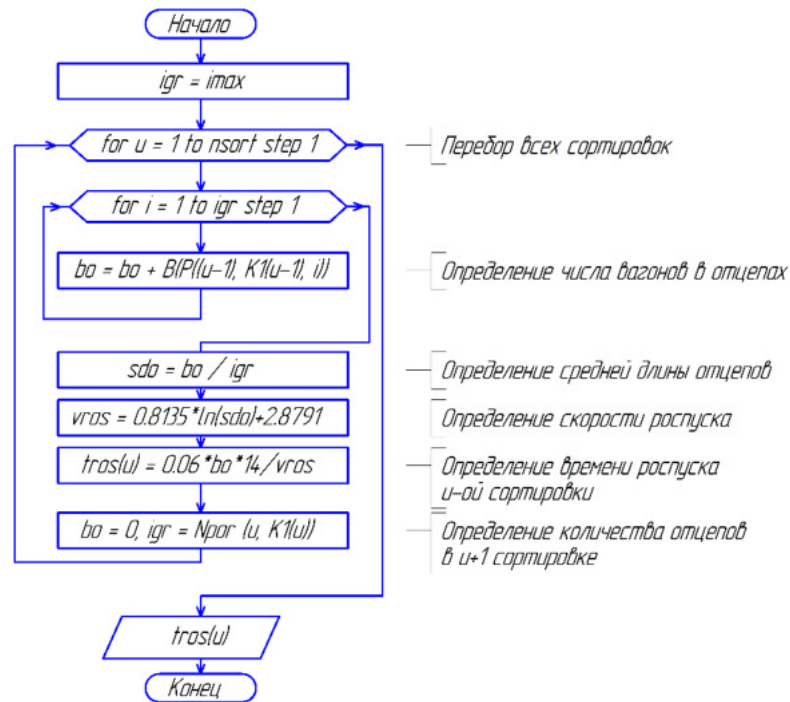


Рисунок 2.11 – Блок-схема алгоритма определения времени на каждый роспуск

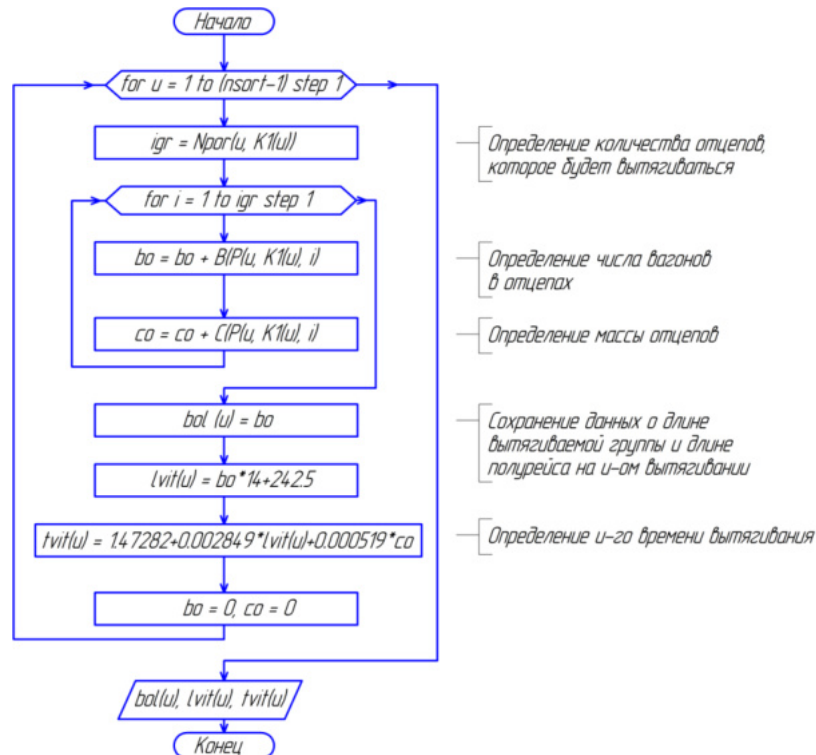


Рисунок 2.12 – Блок-схема алгоритма определения времени на вытягивание при повторной сортировке

3. Модуль определения времени на сборку вагонов по завершении многогруппной сортировки.

Время на сборку будет зависеть от итогового расположения вагонов на группировочных путях, которое, в свою очередь, будет зависеть от схемы сортировки. Кроме схемы сортировки, необходимо задавать информацию о порядке сборки вагонов с группировочных путей. Для этого используется массив $Sb(i)$, где i – порядковый номер передвижения, а само значение массива – номер пути, на который необходимо осуществить это передвижение. Так, например, для схемы, представленной в таблице 2.5, $Sb(1) = 2$, $Sb(2) = 1$. Помимо этого, для имитации сборки необходимо знать длину полурейса, т.е. то расстояние, которое необходимо преодолеть группе вагонов с локомотивом, чтобы переставить вагоны с одного пути на другой. Расстояние зависит от конструкции сортировочного устройства и схемы сортировки (т.е. от того, с каких путей будут собираться вагоны).

Например, для сборки вагонов с 1 и 2 пути (рисунок 2.13), в соответствии с порядком сборки, необходим полурейс за стрелку 103 со второго на первый путь.

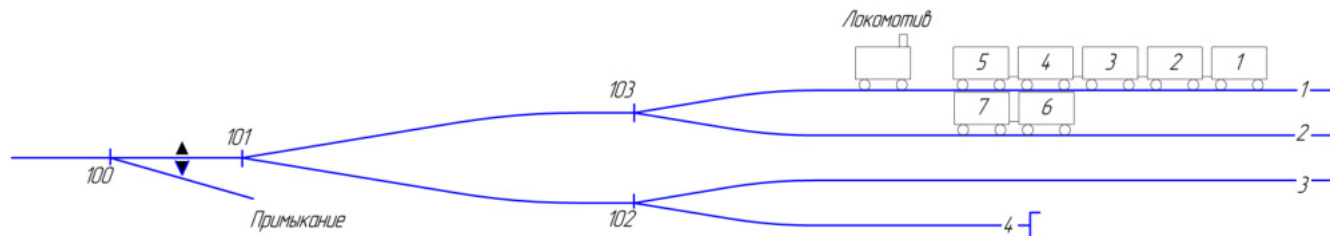
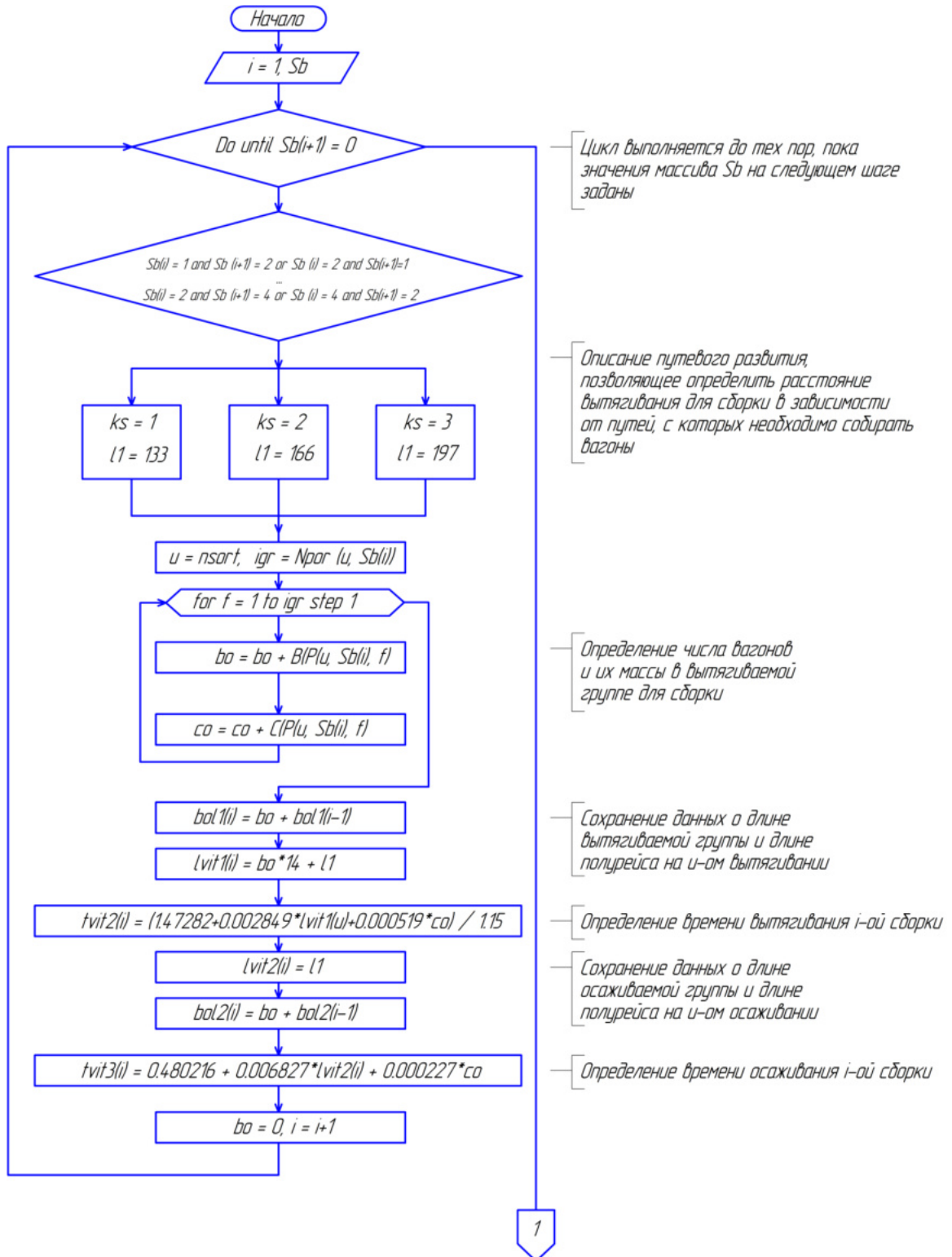


Рисунок 2.13 – Схема расположения подобранных вагонов на путях после последнего роспуска

Для каждого рассматриваемого варианта путевого развития сортировочного устройства необходимо описать все варианты возможных перестановок с пути на путь. Они задаются следующим образом: перебираются различные варианты перестановок, например, $Sb(1) = 2$ и $Sb(2) = 1$ – это означает, что вагоны собираются со 2 и 1 пути последовательно, т.е. через 103 стрелку, следовательно, расстояние полурейса будет равняться 133 м.

На основании длин полурейсов вытягивания $lvit1(u)$ и осаживания $lvit2(u)$ определяются затраты времени на соответствующие маневровые операции $tvit2(i)$

и $tvit3(i)$. Длина полуреяса при итоговом вытягивании собираемого состава и его длительность $tvit4$ будет зависеть от длины группы, находящейся на последнем пути, номер которого определяется по схеме сборки. Блок-схема алгоритма определения времени на сборку и итоговое вытягивание подобранного состава отображена на рисунке 2.14.



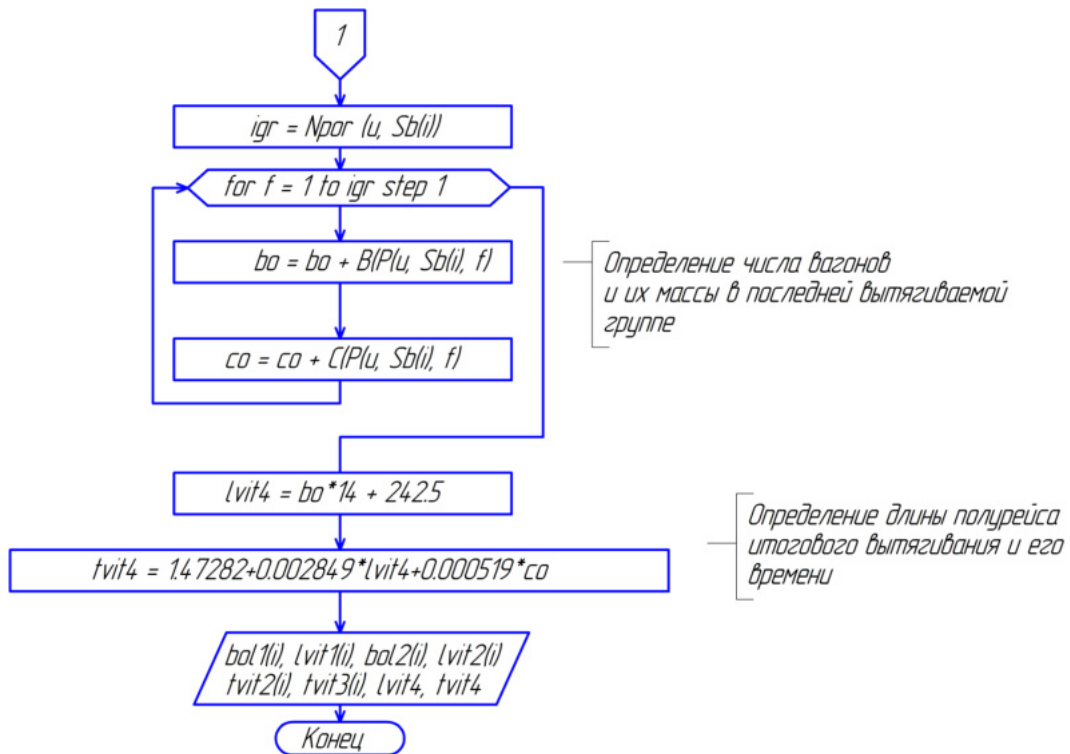


Рисунок 2.14 – Блок-схема алгоритма определения затрат времени на сборку вагонов и итоговое вытягивание

4. Модуль определения времени на осаживание вагонов ЗСГ.

В соответствии с принятой технологией, отцепы ЗСГ осаживаются на отдельный путь подгорочного парка. Данные вагоны осаживаются в процессе первой сортировки, поэтому время на эту операцию учитывается в составе технологического горочного интервала один раз. Работа алгоритма основана на поиске отцепов ЗСГ, значение массива $A(i)$ для которых равняется 0. Затем определяется масса вагонов, находящихся за отцепом ЗСГ, и определяется время на движение в подгорочный парк и возвращение на горку. Времена на соответствующие полурейсы записываются в массивы $tdop1(f)$ и $tdop2(f)$. При определении времени $tdop2(f)$ учитывается, что отцеп ЗСГ остается на пути, поэтому длина полурейса уменьшается. Алгоритм определения времени на осаживание отцепов ЗСГ представлен в виде блок-схемы на рисунке 2.15.

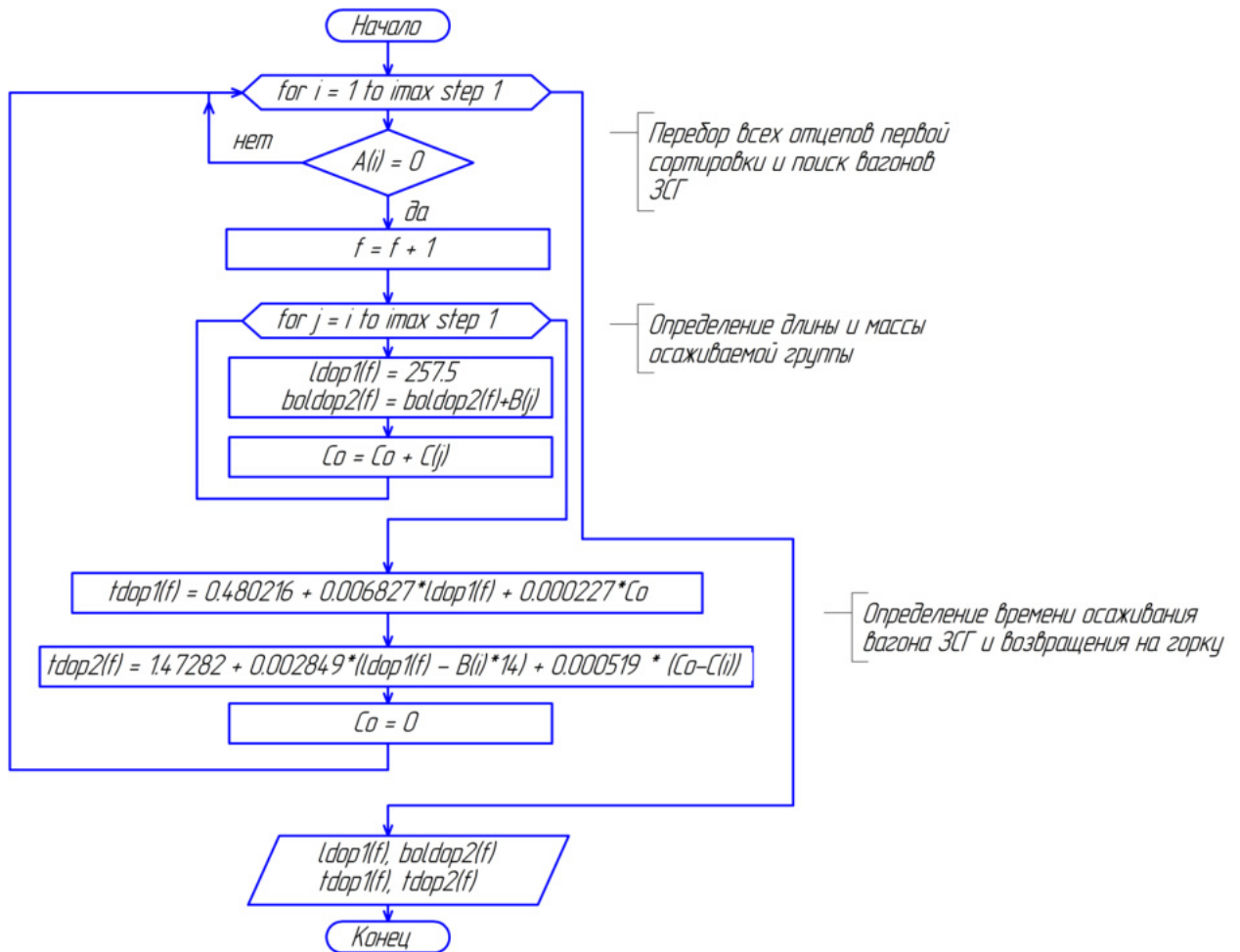


Рисунок 2.15 – Блок-схема алгоритма определения времени на осаживание вагонов ЗСГ

5. Модуль определения времени на постановку и уборку средств закрепления вагонов с ОГ.

Вагонами ЗСГ могут являться вагоны с опасными грузами, требующие не только закрепления, но и укладки охранных башмаков. Расчет количества башмаков ведется для максимального числа вагонов с целью экономии времени на проход составителя, таким образом, определяется время на первое закрепление вагонов $tzak(1)$. Далее поочередно закрепляются поступающие на путь группы ($tzak(i)$). В конце алгоритма рассчитывается время на уборку всех средств закрепления и соответственно суммарное затрачиваемое время ($tzakf$). Блок-схема алгоритма определения времени на закрепление вагонов с опасными грузами представлена на рисунке 2.16.

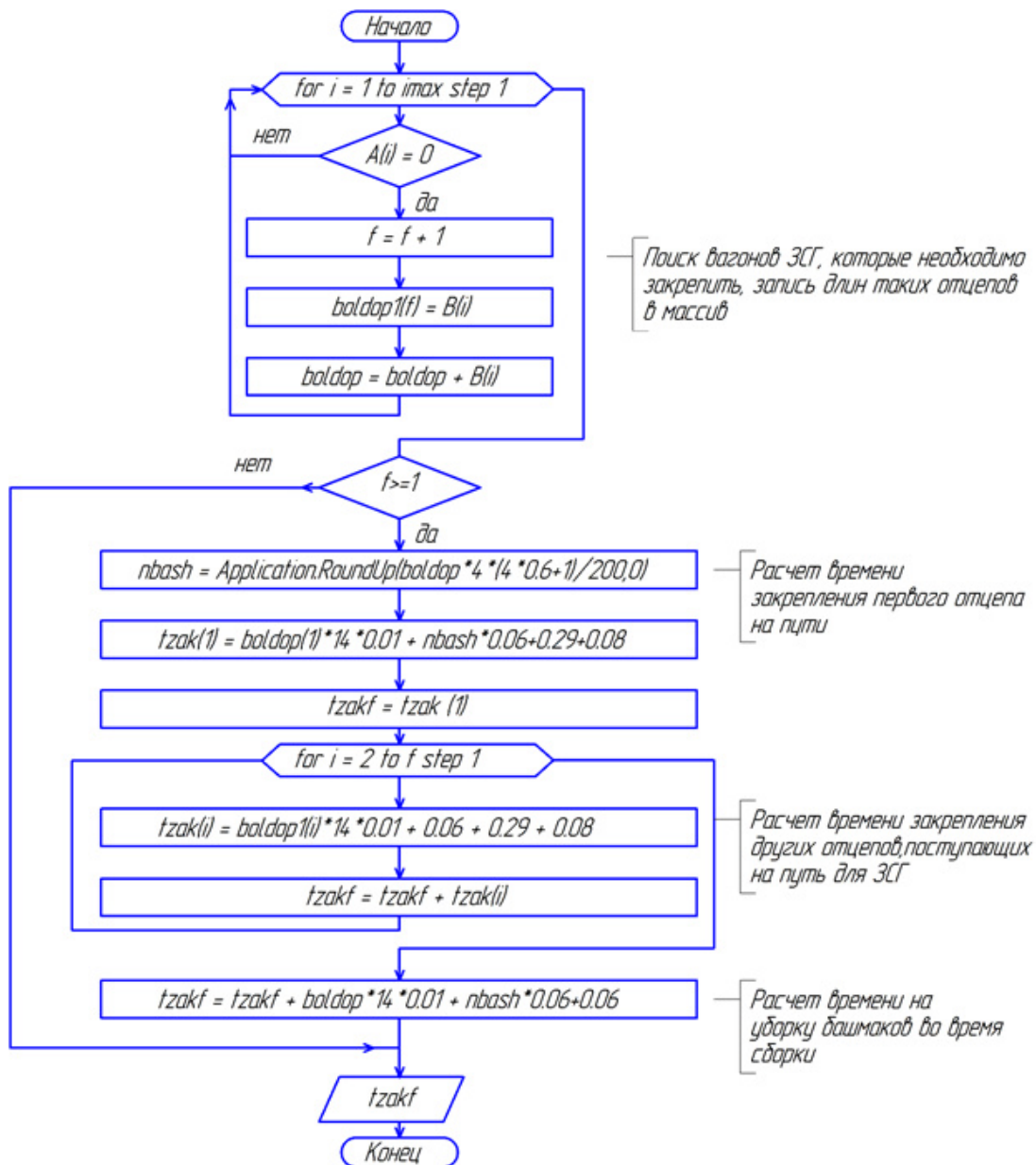


Рисунок 2.16 – Блок-схема алгоритма определения времени на закрепление вагонов с опасными грузами

Таким образом, разработаны и реализованы в рамках единой модели алгоритмы расчета затрат времени на все единичные и повторяющиеся технологические операции, входящие в состав технологического горочного интервала при многогруппной подборке вагонов на ограниченном числе путей.

Величина базового технологического интервала $t_{и(баз)}^r$ в программной реализации модели определяется суммой величин $tros(u)$, $tvit(u)$, $tvit2(i)$, $tvit3(i)$, $tvit4$,

$tdop1(f)$, $tdop2(f)$, $tzakf$, $ttrueosaz1$ (осаживание вагонов для устранения «окон»).

Полный технологический горочный интервал определяется следующим образом:

$$t_{и(полн)}^Г = t_{и(баз)}^Г + t_{пер}, \quad (2.15)$$

где $t_{пер}$ – время, затрачиваемое на полурейсы перестановки исходного состава на специализированное сортировочное устройство для выполнения многогруппной сортировки, а также перестановки готового состава на путь отправления (или выставочный) после завершения подборки вагонов (операции второй группы – см. п. 2.1).

Тогда формула для определения наличной перерабатывающей способности специализированного сортировочного устройства (в вагонах в сутки) для многогруппной сортировки может быть получена путем преобразования стандартной формулы для расчета перерабатывающей способности сортировочных горок [6], и будет иметь следующий вид:

$$N_{пер}^{МГС} = \frac{(\alpha_{гор} 1440 - \sum T_{пост}^{гор})}{t_{и(полн)}^Г (1 + \rho_{гор}) \mu_{повт}^{МГС}}, \quad (2.16)$$

где $\alpha_{гор}$ – коэффициент, учитывающий возможные перерывы в работе горки из-за враждебных передвижений; $\sum T_{пост}^{гор}$ – время занятия горки в течение суток выполнением постоянных операций, таких как технологические перерывы для профилактического осмотра и др.; $\mu_{повт}^{МГС}$ – коэффициент повторной сортировки при многогруппной подборке; $\rho_{гор}$ – коэффициент, учитывающий отказы технических средств и нерасцепы вагонов; $t_{и(полн)}^Г$ – полный технологический горочный интервал; n_c^{cp} – среднее число вагонов в подбираемых составах.

Таким образом, $N_{пер}^{МГС}$ показывает число вагонов, которое может быть подобрано на сортировочном устройстве в течение суток. При этом фактический объем переработки вагонов на устройстве будет значительно выше, т.к. большинство вагонов будет сортироваться многократно. Возможность определения перерабатывающей способности также присутствует в разработанной модели.

2.6 Выводы по разделу

В данном разделе получены следующие результаты:

1) Предложено определять технологический горочный интервал при многогруппной подборке вагонов на ограниченном числе путей с учетом разделения маневровых операций на две группы:

– первая группа: операции, длительность которых напрямую связана с конструкцией сортировочного устройства и технологией сортировки;

– вторая группа: операции, длительность которых не зависит от конструкции устройства и технологии сортировки.

2) Полный технологический горочный интервал сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов предлагается представлять в виде суммы базового ТГИ, включающего в себя затраты времени на операции первой группы, и дополнительных временных затрат на операции второй группы. Использование понятия базового ТГИ позволяет решать оптимизационные задачи по определению рациональных конструктивных и технологических параметров устройства, специализированного для многогруппной сортировки вагонов.

3) Разработана конструкция плана и продольного профиля горки в составе специализированного сортировочного устройства для многогруппной сортировки вагонов, определены ее конструктивные параметры, в частности: один путь надвига, один спускной путь; расчетная высота горки – 1,36 м. Конструкция плана группировочного парка предполагает возможность использования от 3 до 6 путей.

4) Выполнен анализ структуры ТГИ, в результате которого все маневровые операции, входящие в ТГИ, разделены на однократные и повторяющиеся. Разработана методика определения времени на маневровые передвижения различного типа на основе статистической обработки результатов моделирования тяговых расчетов. Получены многофакторные регрессионные модели (зависимости времени от массы переставляемой группы и длины полурейса) для следующих видов маневровых передвижений: вытягивание маневрового состава за горб горки,

вытягивание групп вагонов при сборке, осаживание вагонов на группировочные пути.

5) Разработана математическая модель процесса многогруппной подборки вагонов, использующая в качестве исходных данных подробную структуру вагонопотока, учитывающую количество групп, длину и массу отцепов по сортируемым группам, наличие вагонов ЗСГ. Модель включает в себя:

- алгоритм распределения вагонов по группировочным путям для различных способов интенсивной многогруппной сортировки;
- алгоритм определения необходимой вместимости группировочных путей;
- алгоритм определения технологического горочного интервала и наличной перерабатывающей способности сортировочного устройства при многогруппной сортировке вагонов на ограниченном числе путей.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ВАГОНОПОТОКА НА ВЕЛИЧИНУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГОРОЧНОГО ИНТЕРВАЛА И НЕОБХОДИМУЮ ВМЕСТИМОСТЬ ГРУППИРОВОЧНЫХ ПУТЕЙ ПРИ МНОГОГРУППНОЙ ПОДБОРКЕ ВАГОНОВ

3.1 Постановка задачи

Разработанная в разделе 2 модель процесса многогруппной подборки вагонов обеспечивает комплексный учет трех групп факторов: 1) структуры перерабатываемого вагонопотока; 2) конструктивных параметров горочного сортировочного устройства; 3) используемой технологии интенсивной подборки вагонов.

Анализ схем сортировки вагонов показывает, например, что комбинаторный способ имеет большее количество сортировок по сравнению со степенным, однако количество переставляемых через горку групп сортируемых вагонов значительно меньше, чем у степенного (каждый раз сортируется весь состав). Следовательно, фактор длины и массы групп, участвующих в процессе многогруппной сортировки, может оказывать различное влияние на технологический горочный интервал при разных способах сортировки. Аналогично, в зависимости от способа сортировки, даже при одинаковой структуре вагонопотока может меняться и необходимая полезная длина группировочных путей.

Таким образом, в рамках комплексной модели поиск рациональных конструктивных параметров сортировочного устройства, а также варианта технологии многогруппной сортировки, требует исследования степени и характера влияния на них структуры перерабатываемого вагонопотока и соответствующее обоснование необходимости его учета.

В связи с этим, необходимо решить следующие задачи:

- 1) исследовать влияние структуры перерабатываемого вагонопотока (числа групп, длины и массы вагонов в отцепах, композиции исходного состава по расположению групп) на величину технологического горочного интервала и его вероятностные характеристики в зависимости от способа сортировки;
- 2) определить влияние вагонов, запрещенных к роспуску с горки, на величину технологического горочного интервала при многогруппной сортировке;
- 3) обосновать необходимую вместимость группировочных путей при различной структуре вагонопотока для различных способов многогруппной подборки вагонов с учетом оценки их эксплуатационной надежности.

3.2 Определение вероятностных характеристик технологического горочного интервала при различной структуре вагонопотока

В разделе 2 определено влияние особенностей технологии работы при многогруппной сортировке на структуру технологического горочного интервала. Практический интерес представляет количественный анализ затрат времени по технологическим элементам, входящим в структуру технологического горочного интервала, который позволит оценить влияние на его величину параметров структуры вагонопотока при различных способах многогруппной подборки вагонов. Необходимость исследования этого влияния обусловлена потребностью повышения достоверности определения перерабатывающей способности сортировочного устройства, специализированного для многогруппной сортировки. В разделе рассматривается базовый ТГИ (см. п. 2.1), т.е. ТГИ'.

Для количественного анализа структуры ТГИ' выполнен его расчет с использованием модели, описанной в разделе 2. Результаты показали, что не только структура, но и величина ТГИ' существенно отличается от аналогичной для обычной горочной технологии сортировки.

Так, например, при подборке 9-ти группного состава (приложение Д, таблица Д.2) со средней массой вагона 60 т и средней длиной отцепа 2 вагона комбинаторным способом, величина ТГИ' составила в среднем 74,6 минуты, что в 4-5 раз

превышает величину стандартного ТГИ при обычной (не многогруппной) сортировке вагонов. Для степенного способа (таблица Д.4) величина ТГИ' составила 77 минут. Соотношение элементов в структуре ТГИ' при многогруппной сортировке для рассматриваемых условий представлено на рисунках 3.1. и 3.2. Повторяющиеся операции обозначены знаком «*».



Рисунок 3.1 – Структура ТГИ' при многогруппной сортировке, комбинаторный способ

Из диаграмм, представленных на рисунках 3.1 и 3.2 видно, что значительная часть времени (47 и 43% соответственно) приходится на повторные роспуски групп вагонов. Вторая по величине повторяющаяся операция, на которую затрачивается значительное время (21 и 18% соответственно), – повторные вытягивания вагонов для сортировки.



Рисунок 3.2 – Структура ТГИ' при многогруппной сортировке, степенной способ

Тогда для того, чтобы время на всю сортировку было меньше, масса и длина вытягиваемых, а затем сортируемых групп тоже должна быть меньше. При этом доля времени, приходящаяся на повторяющиеся операции, будет увеличиваться вместе с ростом числа сортировок, т.е., в общем случае, вместе с увеличением числа групп в составе.

Исходя из используемых зависимостей при расчете отдельных элементов ТГИ' (раздел 2), можно предположить, что на величину ТГИ' будут влиять следующие параметры, связанные со структурой состава:

- 1) длина отцепов;
- 2) масса вагонов;
- 3) количество групп;
- 4) порядковое расположение групп и отцепов в составе.

Также на величину ТГИ' будут влиять конструктивные параметры сортировочного устройства и технология сортировки.

В зависимости от структуры состава, величина ТГИ' может принимать различные значения. Например, может сложиться так, что тяжелые отцепы подвергнутся меньшему количеству сортировок, по сравнению с легкими, следовательно, на повторяющиеся маневровые операции будет затрачиваться меньше времени. При этом средняя масса отцепа, количество групп и средняя длина отцепа в таких случаях могут быть сопоставимыми или одинаковыми. Тогда для того, чтобы избежать неточной оценки, ТГИ' должен рассматриваться в качестве случайной величины.

Таким образом, исследуя влияние массы или средней длины отцепа, целесообразно рассматривать структуру каждого состава как случайную, которая может генерироваться, основываясь на математических ожиданиях случайных величин (массы состава и средней длины отцепа), а также на их законах распределения. Основываясь на ранних исследованиях [68, 82, 83], для случайных величин можно принять следующие законы распределения: номер группы – равномерный, масса вагона – нормальный, средняя длина отцепа – показательный.

Параметры отцепа генерируются [84] с использованием метода Монте-Карло [85] в следующем порядке:

1) Розыгрыш номера группы. В исследовании принимаем, что вероятность появления каждой из n групп равновероятна, т.е. номер группы распределен равномерно:

$$n_{\text{гр}} = a + (b - a)\xi, \quad (3.1)$$

где a - минимальный номер группы, равный 1; b - максимальный номер группы, равный n ; ξ - равномерно распределенная случайная величина, принадлежащая интервалу от 0 до 1.

2) Розыгрыш длины отцепа. Закон распределения длины отцепа показательный:

$$l = -l_{\text{ср}}(\ln\xi), \quad (3.2)$$

где $l_{\text{ср}}$ - математическое ожидание длины отцепа (средняя длина отцепа, в условных вагонах).

3) Розыгрыш массы вагона в отцепа, т. Закон распределения массы вагона нормальный:

$$m_{\text{ваг}} = \sigma\sqrt{2}\left(\sum_{i=1}^6 \xi_i - 3\right) + m_{\text{ср}}, \quad (3.3)$$

где $m_{\text{ср}}$ - математическое ожидание массы вагона (средняя масса вагона), т; σ - среднее квадратическое отклонение массы вагона.

Для определения массы отцепа, полученная масса вагона умножается на длину отцепа (в вагонах), т.е.

$$m_{\text{отц}} = m_{\text{ваг}}l, \quad (3.4)$$

При рассмотрении реального вагонопотока, математические ожидания средней длины отцепа и массы вагона будут отличаться для каждой группы. При этом сами номера групп могут иметь распределение, отличное от равномерного.

Исследование влияния структуры вагонопотока на ТГИ' выполнено для заданного варианта конструкции специализированного сортировочного устройства (п. 2.1), для комбинаторного и степенного способов сортировки.

Рассмотрим влияние массы и средней длины отцепа на ТГИ' при различных значениях факторов.

Комбинаторный способ, $l_{\text{ср}} = 2$ вагона, $n_{\text{гр}} = 9$ групп, $m_{\text{ср}} \in [30; 90]$ с шагом 20 т. В соответствии с рекомендациями [82], произведено 50 реализаций. Полученные с помощью модели результаты представлены в таблице 3.1.

Как видно из таблицы 3.1, даже при одинаковой средней массе вагона за счет изменения других параметров, характеризующих структуру, значения ТГИ' могут достаточно сильно отличаться друг от друга, поэтому необходимо оперировать его математическим ожиданием.

Таблица 3.1 – Значения ТГИ' (в минутах) при изменении средней массы вагона, комбинаторный способ сортировки

Номер реализации	Средняя масса вагона $m_{\text{ср}}$, т			
	30	50	70	90
1	72,7	65,7	83,2	78,0
2	73,3	71,9	69,8	81,9
3	73,8	75,4	77,6	81,3
4	70,1	76,0	76,1	73,2
5	64,2	72,2	69,0	79,0
6	64,2	75,1	71,1	80,0
7	69,0	74,8	78,4	72,0
8	74,7	74,8	82,8	85,4
9	72,2	70,9	80,4	81,7
10	72,6	74,1	74,9	82,3
11	68,2	73,3	79,8	71,2
12	70,9	69,0	79,3	83,2
13	73,9	78,3	74,6	81,7
14	72,0	79,7	83,0	82,3
15	65,3	70,9	70,2	76,2
16	65,2	75,9	75,1	75,2
17	73,7	69,0	79,3	82,1
18	69,8	75,5	69,2	84,2
19	71,2	73,2	74,6	80,6
20	71,3	74,4	78,0	79,3
21	71,2	79,5	76,8	78,3
22	69,1	68,9	75,7	77,3
23	74,8	76,8	71,5	78,4
24	71,8	72,1	83,6	83,9
25	66,0	71,7	78,0	77,3
26	70,4	75,0	77,5	78,3
27	69,0	70,2	76,4	74,1
28	70,4	70,9	80,0	79,2
29	71,5	76,4	82,4	80,2
30	71,0	77,1	74,2	76,7
31	67,4	75,2	79,8	76,7
32	53,7	71,0	80,1	81,1

Продолжение таблицы 3.1

Номер реализации	Средняя масса вагона m_{cp} , т			
	30	50	70	90
33	68,5	76,8	70,5	74,8
34	73,2	70,9	71,5	81,1
35	72,7	69,4	76,6	78,9
36	71,3	73,9	74,8	83,0
37	72,1	70,2	76,4	80,7
38	66,9	77,6	79,8	82,9
39	72,3	77,5	74,2	78,9
40	69,8	73,2	77,5	75,5
41	71,3	68,4	77,1	75,4
42	75,2	77,5	84,6	83,0
43	72,5	73,6	79,2	75,5
44	66,1	74,5	76,2	86,6
45	71,3	66,4	73,7	79,9
46	74,6	73,3	73,6	75,1
47	73,5	79,6	71,1	80,8
48	70,2	73,0	67,8	76,1
49	70,6	72,8	75,1	79,0
50	71,5	74,2	75,3	78,9
Выборочное среднее	70,3	73,5	76,4	79,2

Степенной способ, $l_{cp} = 2$ вагона, $n_{гр} = 9$ групп, $m_{cp} \in [30; 90]$ с шагом 20. Зависимость ТГИ' от средней массы вагона при прочих равных условиях для степенного способа сортировки представлена в таблице 3.2. *Комбинаторный способ*, $m_{cp} = 70$ т, $n_{гр} = 9$ групп, $l_{cp} \in [2; 8]$ с шагом 2. Изменение ТГИ' в зависимости от средней длины отцепа представлены в таблице 3.3. *Степенной способ*, $m_{cp} = 70$ т, $n_{гр} = 9$ групп, $l_{cp} \in [2; 8]$ с шагом 2. Изменение ТГИ' в зависимости от средней длины отцепа представлено в таблице 3.4.

Таблица 3.2 – Значения ТГИ' (в минутах) при изменении средней массы вагона, степенной способ сортировки

Номер реализации	Средняя масса вагона m_{cp} , т			
	30	50	70	90
1	72,7	75,9	80,1	84,4
2	72,0	72,9	79,7	83,4
3	72,1	72,0	79,1	80,3
4	71,6	74,9	79,3	82,2
5	74,5	74,3	79,5	82,9
6	71,3	76,1	77,5	82,3
7	70,3	76,4	76,2	80,1
8	69,5	73,9	79,6	83,0
9	70,5	74,6	78,1	82,1
10	69,4	75,5	76,9	82,1
11	72,2	74,7	77,8	83,2
12	70,7	75,5	78,9	82,8

Продолжение таблицы 3.2

Номер реализации	Средняя масса вагона $m_{ср}$, т			
	30	50	70	90
13	74,1	74,8	79,9	82,7
14	72,9	72,4	78,5	81,6
15	70,3	74,1	79,9	79,9
16	73,9	76,0	77,1	79,8
17	73,0	76,9	78,4	84,9
18	71,8	74,7	78,3	82,5
19	71,4	73,8	78,9	80,0
20	73,3	75,3	80,7	83,5
21	70,4	75,3	79,2	81,1
22	72,6	75,6	79,0	82,8
23	72,2	77,0	79,6	82,2
24	71,7	74,1	82,0	83,0
25	71,4	75,8	80,1	79,9
26	72,6	74,4	80,1	81,1
27	75,3	74,3	77,6	84,7
28	71,7	78,1	78,1	81,9
29	71,9	75,2	79,6	82,8
30	72,0	74,7	79,7	82,2
31	72,5	75,2	76,8	79,0
32	71,1	77,2	80,2	83,3
33	71,4	77,6	80,5	79,8
34	70,2	77,7	80,6	83,1
35	69,3	76,1	77,7	82,8
36	70,5	75,3	79,7	82,4
37	73,0	76,5	80,0	81,2
38	73,5	75,4	77,3	83,5
39	69,9	73,5	80,6	81,9
40	71,7	73,8	79,9	80,7
41	73,2	74,4	79,4	82,9
42	72,4	77,6	77,9	80,6
43	72,0	74,4	77,9	79,5
44	69,6	75,1	77,8	79,9
45	72,5	76,2	78,6	81,6
46	72,6	73,9	76,4	82,2
47	72,3	73,1	80,0	80,2
48	69,6	77,2	78,2	81,2
49	70,4	74,1	79,0	81,5
50	72,2	76,1	78,6	80,2
Выборочное среднее	71,8	75,2	78,9	81,9

На основании результатов моделирования, построены графики зависимости ТГИ' от средней массы и средней длины отцепа. Полученные зависимости представлены на рисунках 3.3 и 3.4.

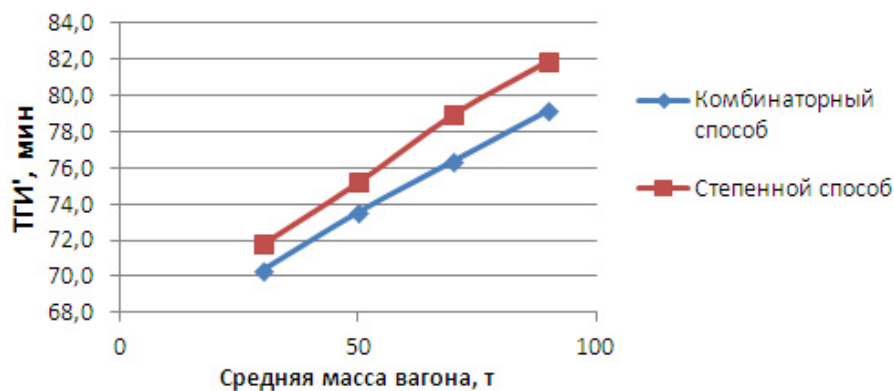


Рисунок 3.3 – График зависимости ТГИ' от средней массы вагона при постоянной длине отцеп

Таблица 3.3 – Значения ТГИ' (в минутах) при изменении средней длины отцепа, комбинаторный способ сортировки

Номер реализации	Средняя длина отцепа l_{cp} , ваг.			
	2	4	6	8
1	77,5	78,5	71,8	51,1
2	77,1	72,0	73,2	65,7
3	76,9	70,6	75,6	67,4
4	73,1	72,8	67,7	66,5
5	76,5	63,1	67,3	58,4
6	79,5	78,1	67,3	68,4
7	69,0	76,5	62,4	66,2
8	67,8	67,5	69,5	66,6
9	78,6	82,6	78,8	69,7
10	74,4	65,2	75,5	61,6
11	81,3	72,9	78,0	79,1
12	76,5	63,1	69,6	68,8
13	79,5	79,4	73,4	70,7
14	79,6	68,2	82,5	76,4
15	75,2	66,1	75,8	64,7
16	80,9	67,8	76,4	70,9
17	81,8	79,4	74,2	70,4
18	82,5	62,9	69,2	73,8
19	83,1	64,3	65,1	71,5
20	77,6	69,6	74,2	76,9
21	73,6	71,1	77,6	62,0
22	75,3	72,2	64,7	66,5
23	65,9	79,3	79,7	70,3
24	80,8	73,4	75,9	78,2
25	79,3	72,7	69,0	69,6
26	73,2	74,6	73,4	58,9
27	80,1	70,5	62,0	78,4
28	63,3	74,2	65,8	66,4
29	74,3	78,0	77,7	82,5
30	76,8	69,1	60,4	68,1
31	74,2	79,9	70,7	75,8
32	78,2	69,3	64,8	80,6
33	78,6	75,0	68,7	72,6
34	80,9	79,6	71,3	71,0
35	66,4	71,3	70,1	68,6
36	76,2	71,2	70,4	73,6

Продолжение таблицы 3.3

Номер реализации	Средняя длина отцепа l_{cp} , ваг.			
	2	4	6	8
37	77,4	67,9	67,8	55,8
38	77,1	68,7	59,7	71,6
39	74,5	68,7	76,4	78,1
40	75,7	65,0	73,7	60,6
41	73,7	77,8	67,6	71,7
42	69,9	70,5	61,4	67,4
43	77,4	59,0	61,1	78,2
44	77,9	75,7	79,9	78,7
45	75,4	65,6	67,6	66,4
46	79,2	74,2	67,7	68,8
47	77,0	78,9	72,7	68,1
48	75,9	71,3	76,0	71,9
49	77,4	71,7	74,2	69,9
50	75,8	72,2	71,1	70,7
Выборочное среднее	76,2	71,8	70,8	70,2

Таблица 3.4 – Значения ТГИ' (в минутах) при изменении средней длины отцепа, степенной способ сортировки

Номер реализации	Средняя длина отцепа l_{cp} , ваг.			
	2	4	6	8
1	79,2	75,7	75,2	69,3
2	79,9	74,2	71,4	71,6
3	77,2	75,8	74,0	72,2
4	81,1	72,9	72,5	73,7
5	78,9	75,0	68,6	68,6
6	80,6	75,3	75,2	78,3
7	76,7	73,4	71,1	71,4
8	79,3	74,2	73,1	71,0
9	79,3	77,3	74,9	71,2
10	79,3	78,6	72,3	75,5
11	81,5	71,8	71,3	74,6
12	80,4	75,2	71,1	75,6
13	81,9	77,0	71,9	72,1
14	79,9	75,4	78,6	73,6
15	81,3	78,1	73,6	70,9
16	78,6	76,0	75,6	72,2
17	79,1	76,3	74,9	74,5
18	81,3	75,5	72,9	71,7
19	76,1	76,7	73,8	71,5
20	78,3	75,8	74,6	73,2
21	79,5	73,7	75,5	71,4
22	78,8	72,2	74,3	73,2
23	77,4	77,0	74,8	80,5
24	78,8	71,7	74,1	69,8
25	80,5	75,0	72,3	72,1
26	78,8	76,4	74,1	70,5
27	79,3	75,7	71,8	71,3
28	78,3	74,9	70,6	69,2
29	79,3	73,2	74,8	67,8
30	80,3	75,1	73,3	67,3
31	78,7	75,8	76,7	73,7

Продолжение таблицы 3.4

Номер реализации	Средняя длина отцепа l_{cp} , ваг.			
	2	4	6	8
32	78,5	74,6	73,6	75,5
33	78,1	74,5	76,3	72,0
34	77,0	77,4	73,9	73,0
35	77,5	78,9	76,4	72,0
36	76,8	73,8	73,4	74,8
37	78,0	76,2	74,4	74,7
38	78,0	77,4	72,6	70,6
39	78,5	76,0	76,9	72,1
40	78,8	74,5	72,4	72,8
41	78,8	74,6	74,3	71,8
42	80,1	76,1	74,4	72,6
43	80,0	73,5	70,2	72,3
44	78,9	75,3	72,8	72,6
45	77,2	75,4	72,9	76,2
46	77,4	73,8	77,4	73,5
47	79,4	74,3	68,5	75,8
48	80,5	77,1	70,1	73,2
49	77,5	74,4	73,1	72,2
50	78,3	75,0	74,1	74,2
Выборочное среднее	79,0	75,3	73,5	72,6

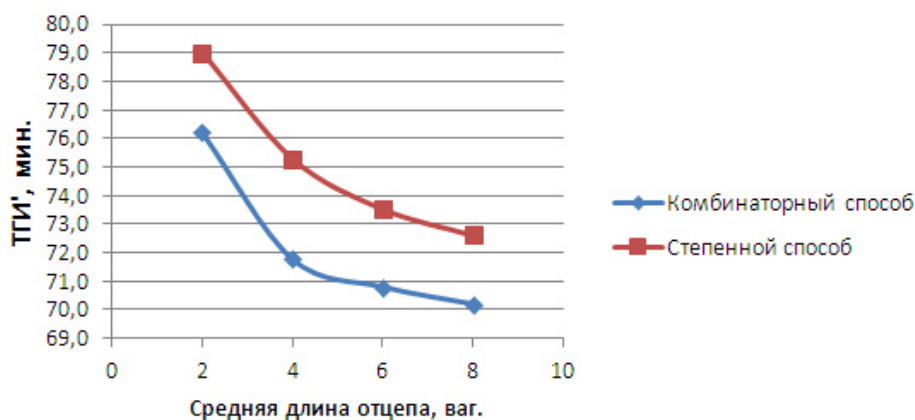


Рисунок 3.4 – График зависимости ТГИ' от средней длины отцепа при постоянной средней массе вагона

Полученные графики подтверждают существенное влияние массы и длины отцепов на величину ТГИ' при многогруппной сортировке. В общем виде, чем больше масса отцепа и меньше его длина, тем больше математическое ожидание ТГИ'. Разница в величине ТГИ' при изменении массы и длины отцепов может быть достаточно существенной. Рассмотрим варианты с изменением, как длины отцепов, так и массы вагонов в них:

1) $l_{\text{ср}} = 2$ вагона, $m_{\text{ср}} = 90$ т, комбинаторный способ сортировки. Математическое ожидание ТГИ': $t_{\text{и(баз)}}^{\Gamma} = 79,2$ мин.

2) $l_{\text{ср}} = 6$ вагонов, $m_{\text{ср}} = 30$ т, комбинаторный способ сортировки. Математическое ожидание ТГИ': $t_{\text{и(баз)}}^{\Gamma} = 70,2$ мин.

Таким образом, разница между максимальным и минимальным значением ТГИ' составляет 23%, что является существенным различием в абсолютном выражении (19 мин).

Рассмотрение структуры перерабатываемого вагонопотока как случайной приводит к тому, что значение ТГИ' для каждой сгенерированной структуры состава оказывается различным. Исходя из этого, возникает задача определения вероятностных характеристик ТГИ'.

Для примера, исследуем ТГИ' при следующих значениях факторов: $l_{\text{ср}} = 2$ вагона, $m_{\text{ср}} = 60$ т, комбинаторный способ, 3 пути, количество реализаций модели – 150. При исследовании полученной выборки значений с помощью программы Statistica [76] определено, что ТГИ' имеет следующие числовые характеристики: математическое ожидание 74,7 минут, среднее квадратическое отклонение 3,6 минут (параметры $k = 0,181$, $\theta = 411,13$). Гистограмма распределения ТГИ' и теоретическое распределение представлены на рисунке 3.5. Предполагаемое теоретическое распределение – гамма-распределение [86]. Критерий Хи-квадрат равен 2,52, соответствующая ему вероятность $p = 0,64$. Это означает, что расхождения между значениями гистограммы, полученной по результатам имитационных экспериментов, и теоретической кривой гамма-распределения с вероятностью 0,64 вызваны случайными причинами.

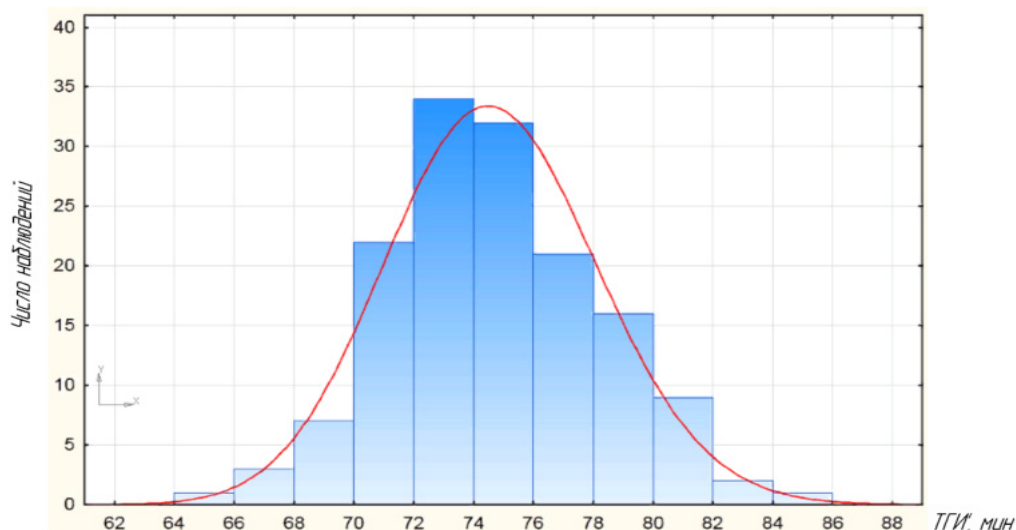


Рисунок 3.5 – Гистограмма распределения ТГИ' и теоретическое распределение (программа Statistica)

Следовательно, можно принять гипотезу о том, что случайная величина (ТГИ') распределена по закону, близкому к гамма-распределению. Ее среднеквадратическое отклонение зависит от степени вариативности исходных данных, т.е. структуры вагонопотока: количества групп, средней массы вагонов, средней длины отцепов, наличия вагонов ЗСГ и их расположения в структуре состава [87].

В Приложении Е представлены математические ожидания базового технологического горочного интервала (ТГИ') для различных способов сортировки и различных значений рассмотренных ранее факторов. Полученные математические ожидания, а также данные о типе закона распределения, могут быть использованы для моделирования величины технологического горочного интервала без использования имитационной модели.

3.3 Исследование влияния наличия вагонов, запрещенных к роспуску с горки, на величину технологического горочного интервала при многогруппной сортировке

Наличие вагонов, запрещенных к спуску с горки, оказывает определенное влияние на длительность выполнения маневровых операций. При включении этих

вагонов в обычные схемы многогруппной сортировки (приложение Д) они будут пропускаться через горку несколько раз, что приведет к ряду негативных факторов: увеличению продолжительности сортировки и соответствующих эксплуатационных расходов; увеличению риска нарушения условий безопасности маневровой работы. В диссертационной работе принята технология работы с такими вагонами (раздел 2), заключающаяся в осаживании их на отдельный путь во время первой сортировки, с последующим включением в готовый состав.

Рассмотрим влияние вагонов ЗСГ на величину технологического горочного интервала. При осаживании вагонов в процессе сортировки, с точки зрения затрат времени на маневровые операции важную роль играет местонахождение вагонов ЗСГ в структуре состава. Состав можно условно разделить на 4 четверти, как представлено на рисунке 3.6.



Рисунок 3.6 – Состав, распускаемый с горки

Осаживание отцепа ЗСГ, который находится в первой четверти, займет значительно больше времени, чем осаживание вагона, находящегося в четвертой четверти. Это связано с тем, что осаживаться будет весь состав (2, 3 и 4 четверти), имеющий значительную длину и массу. В зависимости от варианта расположения вагонов ЗСГ в исходном составе, будет меняться длительность технологического горочного интервала.

Таким образом, при расчете величины технологического горочного интервала при многогруппной сортировке при наличии вагонов ЗСГ, помимо учета доли таких вагонов [39], целесообразно также учитывать расположение этих вагонов по длине состава. При отсутствии статистических данных, определяющих какие-либо закономерности относительно места размещения вагонов ЗСГ в перерабатываемых составах, их положение при исследовании ТГИ' может генерироваться случайным образом, с учетом доли таких отцепов.

Исходя из того, что при наличии вагонов ЗСГ увеличивается ТГИ', можно предположить, что их наличие может повлиять на выбор рациональной технологии многогруппной сортировки.

Рассмотрим, каким образом будет изменяться математическое ожидание ТГИ' в зависимости от отцепов ЗСГ по двум конкурирующим вариантам: комбинаторный способ сортировки на трех путях и степенной способ сортировки на трех путях. Структура вагонопотока: количество групп $n_{гр} = 9$, средняя длина отцепа 2 вагона, средняя масса вагона 60 т (среднее квадратическое отклонение массы вагона 10 т).

Таблица 3.5 – Результаты расчета ТГИ' (мин) в зависимости от доли отцепов ЗСГ в перерабатываемых составах

Доля отцепов ЗСГ	Значение ТГИ' (мин) при способах сортировки	
	комбинаторном	степенном
0	65	68,5
0,1	76,7	88,6
0,2	92,2	104,1
0,3	105	117,2
0,4	118,2	131,9

Графически полученные зависимости представлены на рисунке 3.7.

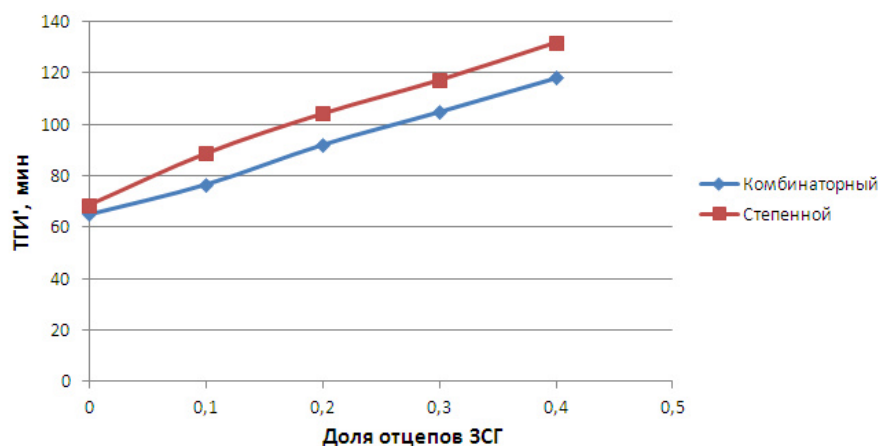


Рисунок 3.7 – Зависимость ТГИ' при многогруппной сортировке от доли отцепов ЗСГ

Из рисунка 3.7 видно, что с увеличением доли отцепов ЗСГ при использовании степенного способа ТГИ' растет в большей степени. Это связано с тем, что исключаемые из состава вагоны ЗСГ не участвуют в последующих сортировках. Комбинаторный способ имеет большее число сортировок по сравнению со степенным. Следовательно, комбинаторный способ при значительной доле отцепов ЗСГ оказывается более эффективным, поскольку обеспечивает бóльшую экономию затрат времени на маневровую работу с вагонами ЗСГ за счет исключения их из повторных сортировок.

Выполненные расчеты показывают, что наличие вагонов ЗСГ в подбираемых группах является значимым фактором, оказывающим существенное влияние на длительность маневровых операций и всего процесса многогруппной подборки вагонов, что должно учитываться при моделировании структуры перерабатываемого вагонопотока.

3.4 Обоснование вместимости группировочных путей при различной структуре вагонопотока с учетом оценки их эксплуатационной надежности

Исследование технологического горочного интервала показало, что его величина значительным образом зависит от случайных факторов, связанных со структурой вагонопотока. Основным фактором при этом является число подбираемых групп, от которого зависит число роспусков и размеры переставляемых групп вагонов в процессе сортировки. Это связано с изменением схемы сортировки и распределения вагонов по группировочным путям. В связи с этим, схемы сортировки могут отличаться друг от друга не только временем, затрачиваемым на сортировку, но еще и необходимой вместимостью группировочных путей при реализации той или иной схемы сортировки.

Правила и нормы проектирования предлагают для всех случаев принимать суммарную полезную длину путей группировочного парка в диапазоне от $2,2l_{\text{сост}}$ до $2,5l_{\text{сост}}$ [28]. Такой подход обоснован тем, что вне зависимости от числа групп при одном и том же способе сортировки на путях группировочного парка после

каждого роспуска будет располагаться одинаковое число вагонов, соответствующее длине состава. Однако, в нормах [28] предполагается использование только одного способа многогруппной сортировки вагонов – последовательного выделения групп, технология которого отличается от других способов, например, от комбинаторного. Это принципиально меняет схему сортировки, а значит, влияет на необходимую вместимость группировочных путей. Таким образом, необходимая и достаточная вместимость группировочных путей должна определяться с учетом особенностей различных способов сортировки. Для решения этой задачи нужно рассмотреть следующие факторы, определяющие распределение вагонов по путям:

- 1) число подбираемых групп;
- 2) способ сортировки;
- 3) структура перерабатываемого вагонопотока, которая может быть описана распределением вероятностей появления отцепов различных групп в сортируемом составе и средней длиной отцепов в каждой группе.

С точки зрения эксплуатационной надежности сортировочной работы, основным конструктивным параметром сортировочного устройства для многогруппной сортировки, который зависит от перечисленных выше факторов, является вместимость группировочных путей.

Для количественной оценки потребной вместимости группировочных путей выполнено исследование процесса многогруппной сортировки вагонов с использованием модели (раздел 2). Полезная длина путей, соответствующая необходимой вместимости, получается перемножением вместимости на длину условного вагона (14 м).

Оценка влияния технологии подборки вагонов и структуры перерабатываемого вагонопотока на необходимую вместимость группировочных путей производилась с условным делением на две задачи:

1. Определение влияния способа сортировки и числа сортируемых групп на суммарную полезную длину группировочных путей (СПД).

Исходные данные, характеризующие структуру вагонопотока для моделирования: $l_{\text{ср}} = 3$ вагона, $l_{\text{сост}} = 71$ вагон, номера групп распределены по равномерному

закону. Имитационные эксперименты сгруппированы по 5 сериям, общий объем составил 375 опытов. Необходимая суммарная полезная длина (СПД) путей обозначена как $L_{\Pi}^{\text{СУММ}}$. Математическое ожидание случайной величины $L_{\Pi}^{\text{СУММ}}$ обозначено как $M[L_{\Pi}^{\text{СУММ}}]$, м.

Комбинаторный способ сортировки.

Рассмотрим схемы сортировки от 8 до 13 групп на трех путях и от 14 до 24 групп на трех путях (таблицы Д.2 и Д.3). Результаты моделирования представлены в таблицах 3.6 – 3.9.

Таблица 3.6 – Суммарная полезная длина путей, 9 групп

Номер серии	Полезная длина пути, м			$L_{\Pi}^{\text{СУММ}}$, м
	№1	№2	№3	
1	770	966	770	2506
2	798	988	882	2668
3	756	896	910	2562
4	854	896	826	2576
5	896	910	896	2702
$M[L_{\Pi}^{\text{СУММ}}]$, м				2603

Таблица 3.7 – Суммарная полезная длина путей, 13 групп

Номер серии	Полезная длина пути, м			$L_{\Pi}^{\text{СУММ}}$, м
	№1	№2	№3	
1	882	952	840	2674
2	938	954	882	2774
3	854	868	826	2548
4	868	980	840	2688
5	882	882	910	2674
$M[L_{\Pi}^{\text{СУММ}}]$, м				2671

Таблица 3.8 – Суммарная полезная длина путей, 15 групп

Номер серии	Полезная длина пути, м			$L_{\Pi}^{\text{сумм}}$, м
	№1	№2	№3	
1	868	812	868	2548
2	896	868	868	2632
3	952	910	896	2758
4	924	812	882	2618
5	910	910	840	2660
$M[L_{\Pi}^{\text{сумм}}]$, м				2643

Таблица 3.9 – Суммарная полезная длина путей, 24 группы

Номер серии	Полезная длина пути, м			$L_{\Pi}^{\text{сумм}}$, м
	№1	№2	№3	
1	910	882	966	2758
2	952	882	938	2772
3	938	924	924	2786
4	938	826	868	2632
5	910	938	826	2674
$M[L_{\Pi}^{\text{сумм}}]$, м				2724

Степенной способ сортировки.

Рассмотрим схему сортировки от 10 до 16 групп на 4-х путях. Результаты расчетов представлены в таблицах 3.10 – 3.12.

Таблица 3.10 – Суммарная полезная длина путей, 10 групп

Номер серии	Полезная длина пути, м				$L_{\Pi}^{\text{сумм}}$, м
	№1	№2	№3	№4	
1	756	742	504	532	2534
2	714	854	546	448	2562
3	686	896	490	532	2562
4	770	854	532	476	2632
5	756	854	518	588	2716
$M[L_{\Pi}^{\text{сумм}}]$, м					2610

Таблица 3.11 – Суммарная полезная длина путей, 13 групп

Номер серии	Полезная длина пути, м				$L_{\Pi}^{\text{сумм}}$, м
	№1	№2	№3	№4	
1	630	644	714	490	2478
2	644	686	644	574	2548
3	602	686	672	490	2450
4	630	658	728	672	2688
5	686	812	630	504	2632
$M[L_{\Pi}^{\text{сумм}}]$, м					2559

Таблица 3.12 – Суммарная полезная длина путей, 16 групп

Номер серии	Полезная длина пути, м				$L_{\Pi}^{\text{сумм}}$, м
	№1	№2	№3	№4	
1	574	574	630	532	2310
2	546	644	546	518	2254
3	490	602	672	504	2268
4	630	658	602	574	2464
5	476	574	686	560	2296
$M[L_{\Pi}^{\text{сумм}}]$, м					2318

Основные результаты моделирования представлены в виде диаграммы на рисунке 3.8.

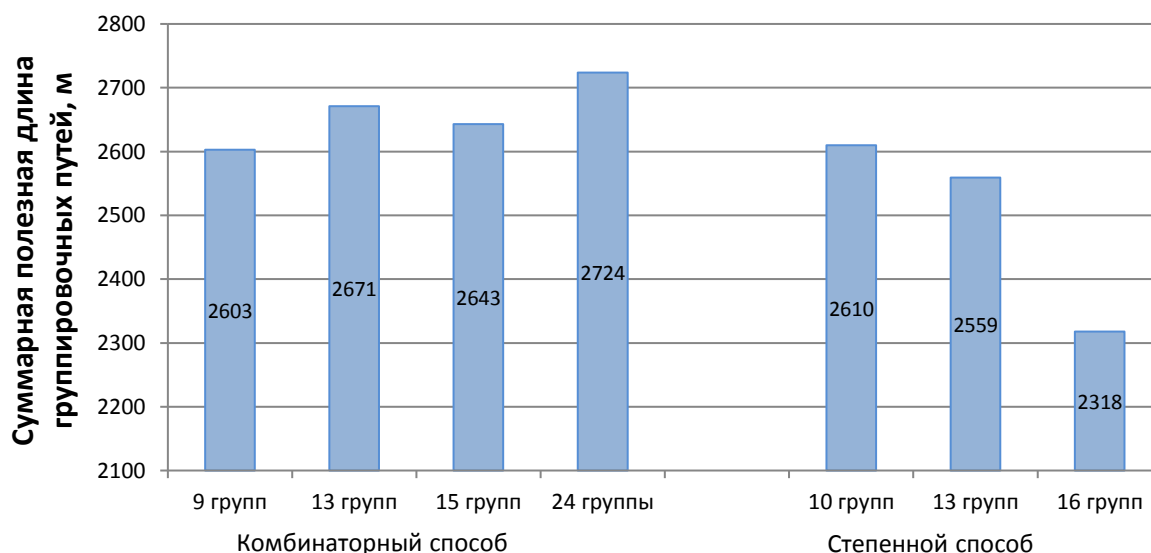


Рисунок 3.8 – Максимальные значения суммарной полезной длины группировочных путей (м) для различных условий сортировки

Как видно из приведенных таблиц и рисунка 3.8, $L_{\Pi}^{\text{сумм}}$ зависит как от числа групп, так и от используемого способа сортировки. При комбинаторном способе сортировки СПД при использовании одинакового количества группировочных путей изменяется незначительно и в пределах одной схемы сортировки, и при различном числе групп. Суммарная полезная длина группировочных путей при различном числе групп при использовании комбинаторного способа находится в интервале от $2,6 l_{\text{сост}}$ до $2,75 l_{\text{сост}}$.

СПД при степенном способе в большей степени зависит от числа групп в составе. Так, суммарная полезная длина путей находится в интервале от $2,3 l_{\text{сост}}$ до $2,65 l_{\text{сост}}$, при этом большое влияние на нее оказывает «заполненность» схемы сортировки. Это связано с особенностями степенного способа сортировки. Под «заполненностью» понимается отношение фактически сортируемого числа групп к максимально возможному по используемой схеме сортировки.

Например, для схемы сортировки при подборке вагонов на 16 групп (приложение Д, таблица Д.5) для групп 1-4 ситуация следующая: после первой сортировки все они попадают на один сортировочный путь, а после второй – каждая группа на свой путь (с первого по четвертый). Если групп в составе окажется меньше 16-ти, на каждую группу приходится большее число условных вагонов, следовательно, после первой сортировки на те пути, на которых располагается по 4 группы, попадает значительное число вагонов. Если же сортируется 16 групп (максимальное заполнение схемы сортировки) распределение вагонов по путям достаточно равномерное, что приводит к уменьшению СПД.

Таким образом, расчеты подтверждают гипотезу о том, что способ сортировки и количество групп оказывают влияние на СПД. При этом распределение полезной длины по отдельным группировочным путям существенным образом зависит от схемы сортировки и от структуры состава.

2. Определение влияния вероятностей появления различных групп в составе на СПД.

Таблицы 3.6-3.12 демонстрируют, что число групп и способ сортировки оказывают влияние на СПД, а также на ее распределение между группировочными

путями. Однако, помимо этого, значимым фактором может являться наличие и расположение отцепов, относящихся к различным группам, в исходном составе. Моделировать расположение отцепов можно посредством задания функции распределения вероятностей появления групп различных номеров в составе.

При исследовании влияния числа групп на СПД, вероятности появления различных групп были распределены по равномерному закону, однако такая ситуация является частным случаем – появление в составе различных групп не всегда является равновероятным. В связи с этим, в модели реализована возможность непосредственного задания произвольного закона распределения, что позволяет исследовать влияние функции распределения на полезную длину группировочных путей [88]. Форма задания исходных данных по вагонопотоку представлена на рисунке 3.9.

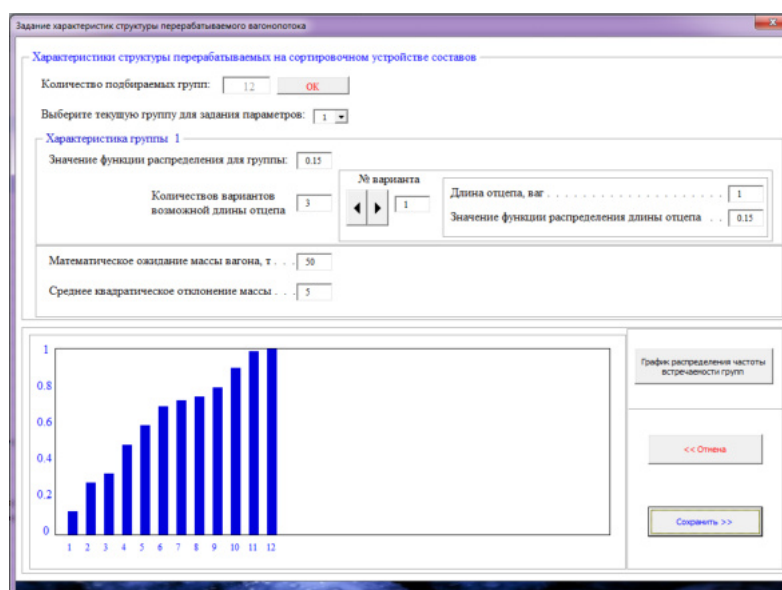


Рисунок 3.9 – Окно задания характеристик структуры перерабатываемого вагонопотока программы «МГС-Аналитика»

Исходные данные о структуре вагонопотока для моделирования: $l_{\text{ср}} = 3$ вагона, $l_{\text{сост}} = 71$ вагон, схема подборки вагонов – комбинаторный способ сортировки 8-13 групп на 3-х путях. Схема проведения экспериментов аналогична описанной выше. Для определения факта влияния функции распределения на полезную длину

группировочных путей, рассмотрим несколько вариантов, когда одни группы появляются более часто, чем другие:

1) Сортировка 9-ти групп, вероятность появления группы 1 равна 0,3, вероятности появления остальных групп распределены равномерно. Результаты моделирования представлены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Полезная длина путей, 9 групп

Номер группы	Полезная длина пути, м			$L_{п}^{сумм}$, м
	№1	№2	№3	
1	896	840	714	2450
2	924	868	672	2464
3	938	840	616	2394
4	896	826	644	2366
5	896	826	700	2422
$M[L_{п}^{сумм}]$, м				2419

Сравним полученные результаты с вариантом, когда распределение групп равномерно (таблица 3.6): средняя СПД оказалась значительно меньше – на 184 м. Причина этого состоит в следующем: группа 1, в соответствии со схемой сортировки (приложение Д, таблица Д.2), остается на одном пути и при этом имеет наибольшую долю в составе. Также другие группы, занимающие меньшую долю в составе и перемещающиеся между путями, влияют на полезную длину меньше по сравнению с вариантом, когда доля всех групп распределена равномерно.

2) Сортировка 9-ти групп, вероятность появления группы 2 равна 0,3, вероятности появления остальных групп распределены равномерно. Результаты расчетов представлены в таблице 3.14. Группа 2, в отличие от группы 1, меняет свое местоположение в процессе сортировки. Она попадает как на путь №1, так и на путь №2. В связи с этим, СПД увеличилась по сравнению с предыдущим вариантом, однако она меньше, чем для условий равномерного распределения вероятностей появления групп в составе.

Таблица 3.14 – Полезная длина путей, 9 групп

Номер сери	Полезная длина пути, м			$L_{\Pi}^{\text{сумм}}$, м
	№1	№2	№3	
1	910	966	714	2590
2	910	952	672	2534
3	812	938	784	2534
4	770	994	588	2352
5	840	910	630	2380
$M[L_{\Pi}^{\text{сумм}}]$, м				2478

3) Сортировка 13-ти групп, вероятность появления группы 11 равна 0,3, группы 13 также 0,3, вероятности появления остальных групп распределены равномерно. Результаты расчетов представлены в таблице 3.15. В процессе сортировки группы 11 и 13 попадают на каждый из трех путей.

Таблица 3.15 – Полезная длина путей, 13 групп

Номер сери	Полезная длина пути, м			$L_{\Pi}^{\text{сумм}}$, м
	№1	№2	№3	
1	966	966	994	2926
2	952	952	994	2898
3	980	966	980	2926
4	980	952	994	2926
5	980	994	966	2940
$M[L_{\Pi}^{\text{сумм}}]$, м				2923

Как видно из таблицы 3.15, СПД сопоставима с величиной трех длин состава. Крупные группы, такие как группа 11 и 13, несколько раз перемещаются в процессе сортировки с одного пути на другой, что приводит к увеличению необходимой вместимости этих путей.

На рисунке 3.10 представлены зависимости необходимой полезной длины группировочных путей от вариантов функций распределения групп в составе. Рассмотрены следующие варианты:

1) 9 групп, вероятность появления группы 1 равна 0,3, вероятности появления остальных групп распределены равномерно.

2) 9 групп, вероятность появления группы 2 равна 0,3, вероятности появления остальных групп распределены равномерно.

3) 13 групп, вероятность появления группы 11 равна 0,3, группы 13 равна 0,3, вероятности появления остальных групп распределены равномерно.

4) 13 групп, вероятности появления групп распределены равномерно.

Из результатов видно, что вероятности появления различных групп в составе оказывают существенное влияние на СПД. Это обусловлено тем, что большая вероятность появления той или иной группы в составе означает и большую долю этих вагонов в составе. Соответственно, для размещения этой доли вагонов на группировочном пути требуется достаточная вместимость. Также группы меняют свое местоположение в процессе сортировки. Если свое местоположение меняет крупная группа, это приведет к увеличению СПД, а если небольшая, то наоборот к уменьшению СПД.

Полученные для разных условий результаты показывают, что необходимая вместимость группировочных путей может рассматриваться как случайная величина, зависящая от структуры перерабатываемого вагонопотока и способа многогруппной подборки вагонов. Для определения необходимой и достаточной вместимости при этих условиях предлагается выполнять оценку эксплуатационной надежности группировочных путей.

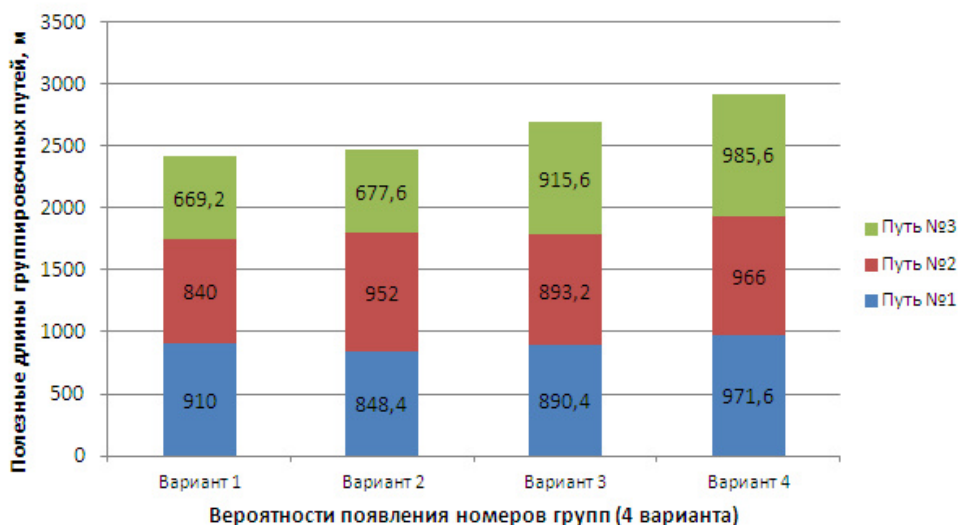


Рисунок 3.10 – Необходимая полезная длина группировочных путей (м) в зависимости от функции распределения

Максимальные значения полезной длины, рассмотренные ранее, демонстрируют их зависимость от количества групп в формируемом составе, схемы сортировки и распределения вероятностей появления групп в составе. Однако использование этих значений может быть недостаточно обоснованным, поскольку вероятность появления таких условий может оказаться незначительной, а значит, использование таких «максимальных» длин путей приведет к созданию избыточных в большинстве случаев полезных длин и, следовательно, к излишним капитальным затратам. Для определения вместимости путей предлагается использовать подходы теории надежности применительно к эксплуатационной надежности транспортных систем [89, 90].

Максимальная полезная длина группировочного пути для сортировки состава рассматривается как случайная величина $l_{пз}$. Для получения достоверной информации о функции распределения задано следующее условие: выборочное среднее не должно отличаться от математического ожидания генеральной совокупности более чем на 1 вагон, т.е. $M(l_{пз}) - d \leq \bar{l}_{пз} \leq M(l_{пз}) + d$. Иными словами, половина длины доверительного интервала $d = 1$ вагон. Тогда количество экспериментов n , в соответствии с [40], можно определить по формуле:

$$n = \frac{(\sigma(l_{пз})Z_{\alpha/2})^2}{d^2}, \quad (3.5)$$

где $\sigma(l_{пз})$ – среднее квадратическое отклонение случайной величины $l_{пз}$; $Z_{\alpha/2}$ – верхняя критическая точка для стандартной нормально распределенной случайной величины.

Однако, в связи с тем, что распределение $l_{пз}$ может оказаться не симметричным, более предпочтительно использовать критерий $t_{\alpha/2}$ (критическая точка для t -распределения, при большом количестве измерений сходящегося к нормальному распределению), обладающий большей площадью покрытия, более близкой к желательному уровню доверия $1 - \alpha$ [85]. В связи с тем, что в формуле (3.5) присутствует $\sigma(l_{пз})$, необходимо получить ориентировочное значение среднего квадратического отклонения, проведя предварительную серию экспериментов.

Рассмотрим в качестве случайной величины полезную длину первого группировочного пути $l_{пз}^1$ при сортировке 9 групп с вероятностью появления группы 1, равной 0,3. Сортировка производится комбинаторным способом на 3-х путях (8-13 групп). Для 100 значений $\sigma(l_{пз}) = 8,2$ вагона. При уровне доверия 0,95 $Z_{\alpha/2} = 1,96$ [86]. Отсюда определим необходимое число экспериментов n :

$$n = \frac{(8,2 \cdot 1,96)^2}{1^2} = 259 \text{ измерений.}$$

Таким образом, можно считать, что 259 измерений будет достаточно для того, чтобы функция распределения приняла достаточно стабильную форму. Рассмотрим функции распределения полезной длины первого группировочного пути (рисунок 3.11) для следующих вариантов:

- 1) Сортировка 9-ти групп, вероятность появления группы 1 равна 0,3, вероятности появления остальных групп распределены равномерно.
- 2) Сортировка 9-ти групп, вероятность появления группы 2 равна 0,3, вероятности появления остальных групп распределены равномерно.
- 3) Сортировка 13-ти групп, вероятность появления группы 11 равна 0,3, группы 13 равна 0,3, вероятности появления остальных групп распределены равномерно.
- 4) Сортировка 13-ти групп, вероятности появления групп распределены равномерно.

Из рисунка видно, что полученные функции распределения вероятностей отличаются точками, в которых начинается и заканчивается интенсивное возрастание и скоростью этого возрастания. Под «надежной длиной» группировочного пути следует понимается такая длина, которой будет достаточно для гарантированного с определенной вероятностью размещения на данном пути всех вагонов, направляемых на него в процессе многогруппной сортировки составов. Надежность – вероятность того, что вагоны в процессе сортировочной работы вместятся на путь [89].

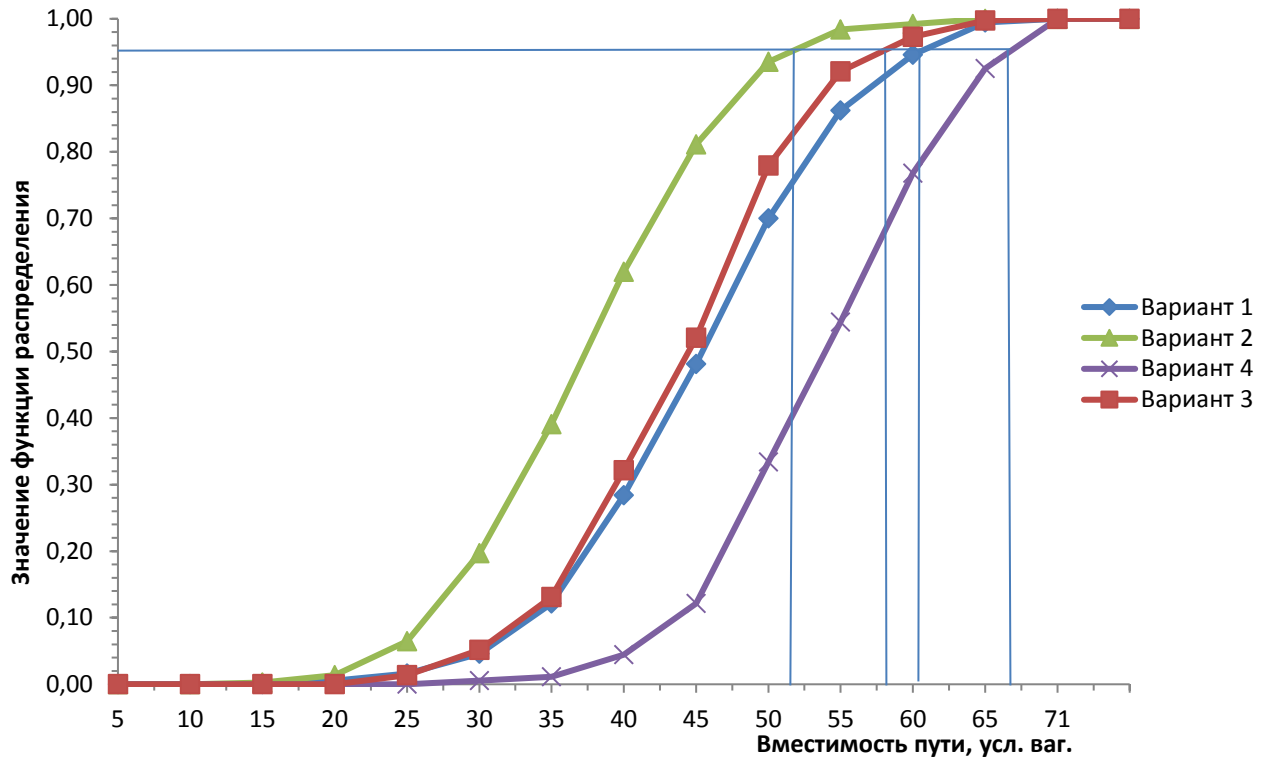


Рисунок 3.11 – Функции распределения вместимости группировочного пути для различной структуры вагонопотока

Функция распределения необходимой полезной длины пути, в свою очередь, показывает вероятность того, что случайная величина $l_{пз}$ окажется меньше определенного значения. Это значение можно интерпретировать как надежную длину, а соответствующую ему вероятность – как надежность. Таким образом, при одинаковом уровне надежности, для разных вариантов структуры вагонопотока (в связи с различным видом функций распределения длины пути – рисунок 3.11), надежная длина при различной структуре перерабатываемых составов может значительно отличаться.

Рассмотрим функцию распределения длины пути при ее значении (уровне надежности) равном 0,95. Значения переменных, соответствующих заданному значению функции – 61 (вариант 1), 52 (вариант 2), 56 (вариант 3), 67 (вариант 4) условных вагонов (соответственно порядковому номеру функций по рисунку 3.10). Наибольшая полезная длина соответствует варианту с большими значениями вероятности появления в составе 11-ой и 13-ой группы (функция 3). Это связано с тем,

что обе крупные группы попадают в процессе сортировки на первый путь вместе с небольшими группами (1, 3, 5, 7, 9), тем самым смещая функцию распределения в сторону больших значений длины. Наименьшее значение соответствует варианту с большой вероятностью появления группы 2 (функция 2). Несмотря на то, что группа является достаточно большой, она попадает на путь вместе с одной комбинацией небольших групп - 1, 3, 4, 5, 6, 7. То же самое можно сказать и о варианте с большой вероятностью появления группы 1 (функция 1), однако, в процессе нескольких сортировок, вместе с ней на путь попадают две различные комбинации оставшихся групп – 3, 5, 7, 9, 11, 13 и 2, 3, 4, 5, 6, 7. В связи с этим, вместе с первой группой может оказаться больше вагонов в сравнении с функцией 2.

Таким образом, результаты расчетов подтверждают гипотезу зависимости эксплуатационной надежности вместимости группировочных путей от структуры перерабатываемого вагонопотока.

Для практического применения необходимо разработать метод определения эксплуатационной надежности вместимости группировочных путей при многогруппной сортировке. В модели реализована возможность статистического определения надежности $P_{\text{над}}$:

$$P_{\text{над}} = \frac{n_{\text{сорт}}}{N_{\text{сорт}}}, \quad (3.6)$$

где $N_{\text{сорт}}$ – общее количество сортировок; $n_{\text{сорт}}$ – количество сортировок, при которых длина группы, попадающей на группировочный путь, оказалась меньше либо равна длине пути. В программе «МГС-Аналитика» реализован расчет надежности всех группировочных путей, окно программы представлено на рисунке 3.12.

Результаты моделирования

Показатели конструктивно-технологического варианта организации многогруппной сортировки:

Технологический горочный интервал, мин: 76.8

Наличная перерабатывающая способность сортировочного устройства, ваг/сут: 1332

Характеристики эксплуатационной надежности

Номер группировочного пути: 1, 2, 3, 4, 5, 6

Необходимая полезная длина, м: 686

Фактическая полезная длина, м: 650

Номер пути: 3

Вероятность размещения необходимого количества вагонов: 0.983

<< Отмена

Сохранить >>

Рисунок 3.12 – Окно расчета ТГИ, перерабатывающей способности и эксплуатационной надежности группировочных путей в программе «МГС-Аналитика»

Малая надежность соответствует большой вероятности отказов в работе группировочного парка, т.е. невозможности гарантировано разместить необходимое количество вагонов в процессе сортировки на данном группировочном пути. Как следствие, появится дополнительная маневровая работа, которая приведет к увеличению продолжительности подборки вагонов. Отказы будут нести тем большее негативное влияние на работу сортировочного комплекса, чем больше ее загрузка [91]. В связи с этим, можно сказать о том, что условная стоимость отказа при большой загрузке будет значительно выше, чем при низкой.

Принимаемый уровень надежности $P_{над}$ должен определяться с учетом оценки дополнительных капитальных затрат на более длинные группировочные пути, обеспечивающие большее значение $P_{над}$; эксплуатационных расходов, связанных с дополнительной маневровой работой; загрузки сортировочного устройства; допустимого увеличения затрат времени на многогруппную подборку вагонов. Например, при низкой загрузке устройства возникающие в редких случаях затраты на дополнительную маневровую работу с вагонами, не вмещающимися в пределы полезной длины группировочных путей, может оказаться не столь значимой, как экономия капитальных затрат за счет проектирования группировочных

путей меньшей длины. Точное определение экономии капитальных затрат и потенциального увеличения эксплуатационных расходов из-за нехватки вместимости группировочных путей, возникающей с некоторой вероятностью, зависит от множества факторов, определяемых местными условиями размещения, конструкции и технологии работы специализированного сортировочного устройства. Для среднесетевых условий величину $P_{\text{над}}$ можно принять по аналогии с доверительной вероятностью на уровне 0,95.

Таким образом, структура вагонопотока оказывает влияние не только на длительность выполняемых операций, но и на возможные варианты конструктивных решений, влияя как на суммарную полезную длину, так и на надежность работы отдельных группировочных путей. Подробный учет структуры вагонопотока может позволить не только избежать затруднений в работе устройства, но и достичь экономии капитальных вложений [92].

3.5 Выводы по разделу

В данном разделе получены следующие основные результаты:

1. 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 средней длиной отцепов. При одном и том же числе групп разница между максимальным и минимальным значением ТГИ' достигает 23%. Наличие вагонов ЗСГ приводит к увеличению ТГИ, которое зависит не только от доли таких вагонов, но и от их расположения по длине состава. Результаты обосновывают необходимость учета структуры вагонопотока при определении технологического горочного интервала при многогруппной подборке вагонов.

2. Установлено, что технологический горочный интервал при многогруппной сортировке вагонов на ограниченном числе путей является случайной величиной, распределенной по закону, близкому к гамма-распределению. Математиче-

ское ожидание ТГИ варьируется в зависимости от структуры вагонопотока и используемого способа сортировки от 63 до 134 минут. Для каждого способа интенсивной сортировки, соответствующего ему числа путей и числа подбираемых групп определено математическое ожидание.

3. Установлено наличие зависимости между необходимой вместимостью группировочных путей специализированного сортировочного устройства и структурой перерабатываемого вагонопотока, способами сортировки. В частности, суммарная полезная длина группировочных путей при комбинаторном способе находится в интервале от $2,6 l_{\text{сост}}$ до $2,75 l_{\text{сост}}$ при различном числе групп. При степенном способе суммарная вместимость в значительной степени зависит от числа подбираемых групп и находится в интервале от $2,3 l_{\text{сост}}$ до $2,65 l_{\text{сост}}$. Результаты подтверждают необходимость учета структуры вагонопотока при определении необходимой вместимости группировочных путей.

4. Разработан способ определения необходимой и достаточной вместимости группировочных путей при многогруппной сортировке с учетом структуры вагонопотока на основе функций распределения вместимости с использованием задаваемого уровня эксплуатационной надежности группировочных путей.

4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОРТИРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА

4.1 Постановка задачи

Исследования, проведенные в разделе 3, показали, что эксплуатационные параметры устройства зависят от трех основных факторов: структуры вагонопотока, используемой технологии интенсивной сортировки и конструкции сортировочного устройства. Следовательно, при проектировании специализированного сортировочного устройства под определенный вагонопоток, возникает значительное количество вариантов технологий и конструкции, позволяющих его переработать. Эти варианты можно определить как «конструктивно-технологические варианты» (КТВ). Для определения рационального КТВ необходимо перейти к модели работы специализированного сортировочного устройства, обеспечивающей, помимо совместного учета перечисленных выше факторов, оценку их влияния на показатели эффективности процесса многогруппной сортировки, такие как время ожидания составами многогруппной подборки, количество ожидающих составов и т.п. Помимо этого, при проектировании специализированного сортировочного устройства, должны учитываться местные условия, в частности – схема станции, наличие необходимой площадки.

Таким образом, для разработки методики определения рациональных конструктивных и технологических параметров специализированного сортировочного устройства требуется решить следующие задачи:

– Разработать комплексную модель работы специализированного сортировочного устройства, учитывающую структуру поступающего вагонопотока, его интенсивность и неравномерность, а также технологию многогруппной сортировки и конструкцию сортировочного устройства, с расчетом показателей процесса подборки вагонов;

– разработать метод выбора рационального конструктивно-технологического варианта сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов, по критерию минимума интегральных дисконтированных затрат на сооружение и эксплуатацию;

– предложить варианты конструкции группировочного парка и его связи со станцией.

– разработать методику определения рациональных конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов.

4.2 Разработка комплексной модели работы сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов, на основе теории массового обслуживания

Наличная перерабатывающая способность сортировочного устройства должна соответствовать потребной с некоторым резервом, обеспечивающим устойчивость переработки вагонопотока с учетом неравномерности его поступления и затрат времени на технологические операции. В ином случае появляются дополнительные капитальные вложения и эксплуатационные издержки.

При недостаточной наличной перерабатывающей способности возникают задержки в переработке вагонопотоков, которые можно рассматривать в виде очередей [94, 95]. Под системой массового обслуживания в данном случае подразумевается специализированное сортировочное устройство, занимающееся обслуживанием требований (т.е. подборкой вагонов). Требования – составы, поступающие на сортировочное устройство для подборки.

Однако возможность использования стандартных аналитических методов теории массового обслуживания ограничена: для достоверного определения длины очереди, помимо типа распределения времени обслуживания (т.е. ТГИ' – см. п. 3.2), необходимо знать тип распределения интервалов времени между поступающими

требованиями (т.е. входящего потока поступающих для подборки вагонов составов). Данное ограничение связано с тем, что в систему (на сортировочное устройство) могут поступать требования (составы, требующие многогруппной сортировки) не только случайным образом, но и в определенной мере упорядоченно, например, по какому-либо расписанию подвода. Таким образом, применение для решения рассматриваемой задачи классических аналитических методов теории массового обслуживания приведет к существенному искажению реального процесса и большой погрешности расчетов для случаев, когда типы распределений потоков не являются простейшими [96].

Задача расчета показателей процесса многогруппной сортировки вагонов может быть решена с использованием имитационного моделирования работы сортировочного устройства, с возможностью задания произвольных параметров входящего потока. Результатом работы такой модели будут являться: время нахождения всех требований в очереди и под обслуживанием, длина очереди, а также загрузка системы.

Исходными данными, определяющими параметры работы сортировочного устройства как системы массового обслуживания, являются:

1) *Входящий поток*. Входящий поток требований может описываться интенсивностью λ (требований/час), коэффициентом неравномерности ν , типом распределения и средним интервалом поступления требований, либо распределением, задаваемым в форме функции распределения произвольного вида. Для каждого требования (состава) необходимо задавать его структуру: количество групп, количество отцепов, их массу.

2) *Параметры системы*. Временем обслуживания требования будет являться ТГИ (t_r^n , ч – см. п. 2.4). При этом ТГИ' (величина, соответствующая интенсивности времени обслуживания $t_{обсл}$) будет зависеть от параметров вагонопотока, а также от конструктивных параметров устройства и технологии подборки вагонов.

Схематически работа системы представлена на рисунке 4.1.

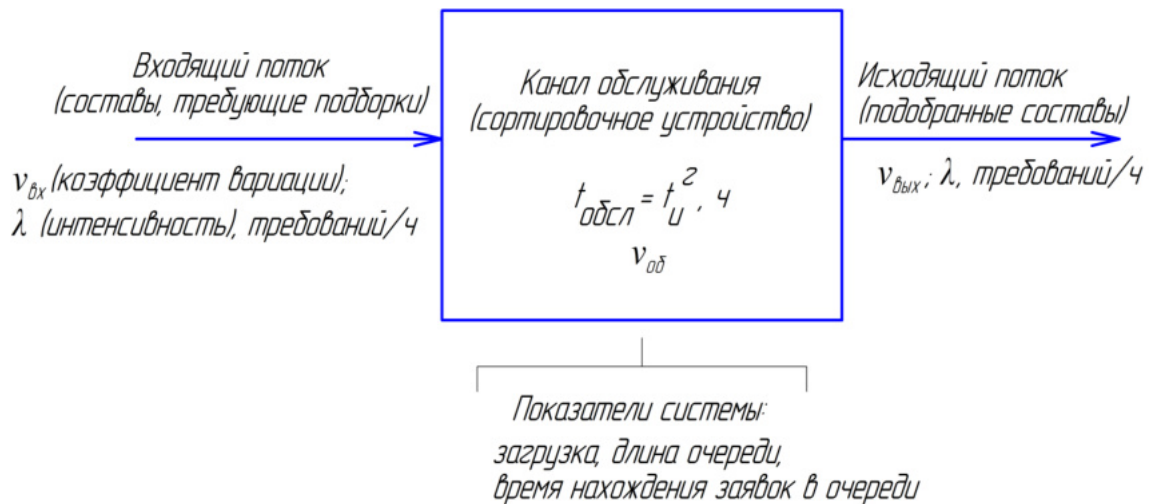


Рисунок 4.1 – Схема работы СМО и ее параметры

Исходными данными для работы модели будут являться:

1) Данные, необходимые для расчета ТГИ (см. п. 2) (данные о структуре вагонопотока, схемы сортировки, конструктивные параметры устройства).

2) $t_{преб}(i)$ – массив, содержащий в себя времена поступления требований в систему, i – порядковый номер прибывающего требования. Эти времена могут указываться в явном виде либо посредством задания распределения интервалов между прибытием требований; $i1$ – количество поступающих требований за сутки, $intens$ – интервалы времени между требованиями.

3) $sposob$ – переменная, содержащая номер способа сортировки: 1 – комбинаторный способ, 2 – степенной способ, 3 – ступенчатый дублирующий способ, 4 – ступенчатый максимальный способ, 5 – способ последовательного выделения групп.

4) $npt1$ – количество группировочных путей, используемых при определенном способе сортировки.

Алгоритм модели представлен на рисунке 4.2.

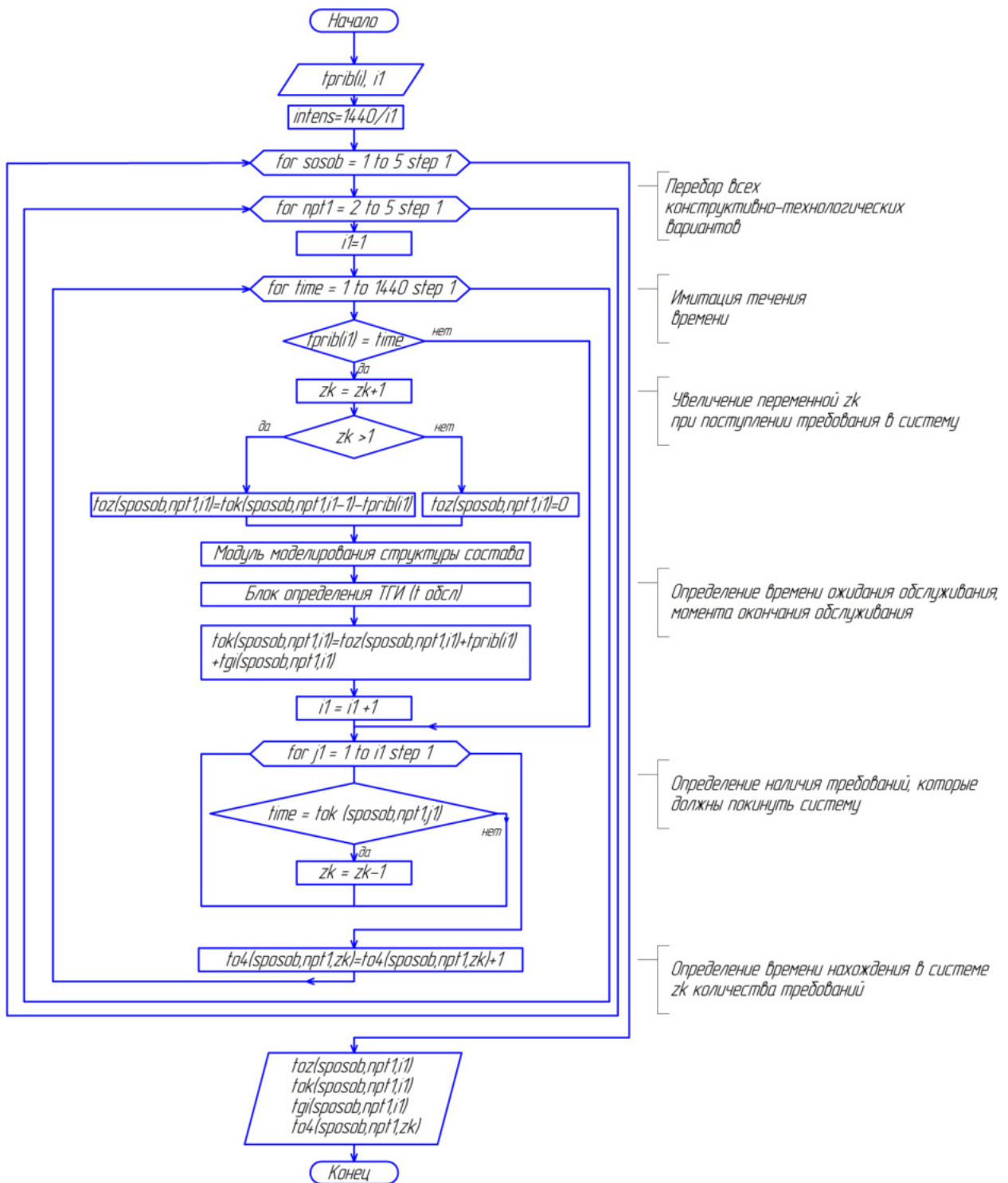


Рисунок 4.2 – Блок-схема имитации процесса работы системы массового обслуживания

Общая логика процесса имитации заключается в следующем: в первую очередь моделируются времена прибытия требований в систему. Далее определяются интервалы времени *intens* между поступающими требованиями. Затем начинается

перебор конструктивно-технологических вариантов, которые заключаются в комбинации способа сортировки (переменная $sposob$) и количества путей, используемых в процессе многогруппной подборки вагонов (переменная $npt1$). Для каждого такого варианта производится сеанс имитационного моделирования, при этом все получаемые значения записываются в трехмерные массивы, первыми двумя параметрами которых являются $sposob$ и $npt1$.

Далее начинается процесс имитации: переменная $time$ играет роль счетчика времени, увеличиваясь в цикле на единицу. Основная информация о каждом требовании находится в следующих переменных: $toz(sposob, npt1, il)$ – время ожидания обслуживания требованием; $tgi(sposob, npt1, il)$ – время обслуживания каждого требования; $tok(sposob, npt1, il)$ – момент, когда требование покидает систему, т.е. окончание его обслуживания. Каждую минуту текущее время $time$ сравнивается со временем прибытия предстоящего требования $tprib(il)$. Как только они становятся равны, переменная zk , в которой содержится количество требований на данный момент времени, увеличивается на единицу. Если $zk = 1$, это значит, что в момент поступления этого требования система была свободна, следовательно, время ожидания обслуживания будет равняться нулю. Если zk больше единицы, то время ожидания определяется как момент окончания обслуживания предыдущего требования минус момент прибытия текущего.

После того, как требование готово к обслуживанию, моделируется структура состава и рассчитывается ТГИ, т.е. определяется время обслуживания поступившего требования. Как итог, рассчитывается момент окончания обслуживания требования, как сумма времени ожидания, времени обслуживания и момента его прибытия в систему.

Далее необходимо определить, должно ли какое-либо требование покинуть систему в момент времени $time$. Для этого перебираются предыдущие требования, и если время окончания их обслуживания равно текущему счетчику времени, от переменной zk отнимается единица. Затем определяется $to4(sposob, npt1, zk)$ – время нахождения количества требований zk в системе. Т.к. переменная zk всегда имеет какое-то значение и показывает текущее количество требований в системе,

можно определить соответствующее время нахождения этого числа требований, прибавляя к переменной $to4(sposob, npt1, zk)$ единицу каждый шаг цикла $time$. Таким образом, выходными данными блока имитации являются следующие переменные: $toz(sposob, npt1, i1)$, $tok(sposob, npt1, i1)$, $tgi(sposob, npt1, i1)$, $to4(sposob, npt1, zk)$.

4.3 Метод выбора рационального конструктивно-технологического варианта организации многогруппной подборки вагонов

Описанная в п. 4.2 модель позволяет определять показатели эффективности различных КТВ. Общее число возможных конструктивно-технологических вариантов для рассматриваемых условий равно 20 (5 способов сортировки, от 2 до 5 группировочных путей). При использовании различных критериев оценки КТВ могут получаться разные результаты. Например, КТВ может выигрывать по критерию максимума перерабатывающей способности, но проигрывать по критерию минимума капитальных затрат. Можно предположить, что при низкой интенсивности поступления требований рациональным окажется вариант с меньшими капиталовложениями, но с более высокими эксплуатационными расходами, зависящими от объемов работы; при высокой интенсивности – вариант с более высокими капитальными вложениями, но меньшими эксплуатационными расходами.

Для принятия обоснованного решения при определении сравнительной эффективности проектных и технологических решений по многогруппной сортировке с учетом многокритериальности рассматриваемой задачи предлагается использовать следующий критерий – интегральные дисконтированные затраты [97-102].

$$Z = K + \sum_{m=1}^n \Delta_m \alpha_m \quad (4.1)$$

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.

Для целей сравнения вариантов могут рассматриваться различающиеся элементы затрат. Для определения годового экономического эффекта одного варианта по отношению к другому, этот эффект принимается равным разности величин Z для соответствующих вариантов.

При использовании предлагаемого критерия наиболее рациональным будет являться КТВ с наименьшими интегральными дисконтированными затратами, в состав которых входят:

1) Капитальные вложения (K). В связи с тем, что задачей является сравнение вариантов, а не определение сметной стоимости строительства устройства, в расчет капитальных расходов будут включаться только различающиеся элементы. Так, например, строительство горба горки и скоростного элемента и работы по устройству земляного полотна в расчет включаться не будут. К различающимся элементам можно отнести количество стрелок, путей, замедлителей, длину кривых и прямых участков путей в горочной горловине, а также длину группировочных путей. Варианты путевого развития (2-5 группировочных путей) приведены на рисунках 2.1 – 2.4.

2) Эксплуатационные расходы \mathcal{E} . В эксплуатационные расходы будут входить затраты, связанные с:

– работой маневровых локомотивов ($\mathcal{E}_{л-ч}$). Могут определяться посредством расчета локомотиво-часов работы маневровых локомотивов. Если рассматривать многогруппную сортировку, затраты маневровых локомотиво-часов напрямую зависят от величины технологического горочного интервала;

– длительностью нахождения вагонов в процессе сортировки ($\mathcal{E}_{в-ч}$). В настоящее время эксплуатационные расходы, связанные с вагоно-часами, для ОАО «РЖД» потеряли свое значение, поскольку соответствующие затраты несет владелец подвижного состава. Однако в общем случае, расходы по данному измерителю могут быть учтены при оценке эффективности процесса многогруппной подборки вагонов (например, при проектировании специализированного сортировочного устройства на предприятиях промышленного транспорта для подборки собственных вагонов);

– занятостью станционных путей ($\mathcal{E}_{\text{зан}}$). При оценке процесса многогруппной сортировки занятость определяется параметрами очереди. Зависит от времени ожидания составом подборки вагонов и от количества ожидающих составов;

– текущим содержанием пути, постоянных устройств и сооружений ($\mathcal{E}_{\text{ТС}}$). Величина соответствующих расходов будет определяться, прежде всего, конструкцией сортировочного устройства.

С учетом вышеизложенного, капитальные затраты, связанные с выполнением многогруппной подборки вагонов можно определить по формуле:

$$K = K_{\text{п}} + K_{\text{стр}} + K_{\text{з}}, \quad (4.2)$$

где $K_{\text{п}}$ – капитальные затраты на строительство путей; $K_{\text{стр}}$ – капитальные затраты на стрелочные переводы, в том числе включение их в электрическую централизацию; $K_{\text{з}}$ – стоимость оборудования горки замедлителями.

Среднесуточные эксплуатационные расходы на многогруппную сортировку вагонов:

$$\mathcal{E}_{\text{сут}} = \mathcal{E}_{\text{л-ч}} + \mathcal{E}_{\text{в-ч}} + \mathcal{E}_{\text{зан}} + \mathcal{E}_{\text{ТС}}, \quad (4.3)$$

где $\mathcal{E}_{\text{л-ч}}$ – эксплуатационные затраты, связанные с локомотиво-часами работы; $\mathcal{E}_{\text{в-ч}}$ – эксплуатационные затраты, связанные с вагоно-часами; $\mathcal{E}_{\text{зан}}$ – эксплуатационные затраты, связанные с занятием путей; $\mathcal{E}_{\text{ТС}}$ – эксплуатационные затраты на текущее содержание устройств и сооружений.

Расчет экономической эффективности предлагается выполнять в рамках комплексной модели (разделы 2, 4). Основные элементы эксплуатационных расходов будут определяться на основании результатов моделирования процесса многогруппной подборки вагонов. Расходы, связанные с затратами локомотиво-часов:

$$\mathcal{E}_{\text{л-ч}} = t_{\text{л-ч}} C_{\text{л-ч}}, \quad (4.4)$$

где $t_{\text{л-ч}}$ – суммарное количество локомотиво-часов, затрачиваемых в процессе подборки вагонов; $C_{\text{л-ч}}$ – стоимость одного локомотиво-часа.

При работе на сортировочном устройстве одного локомотива затраты локомотиво-часов соответствуют суммарному времени, затрачиваемому на подборку всех составов, прибывающих за сутки, следовательно:

$$t_{л-ч} = \frac{\sum_{i=1}^{i1} t_{ги}^i}{60}, \quad (4.5)$$

где $t_{ги}^i$ - время на подборку каждого состава, ч; в модели – $tgi(sposob, npt1, i)$.

Аналогично рассчитываются затраты, связанные с вагоно-часами:

$$\mathcal{E}_{в-ч} = t_{в-ч} C_{в-ч}, \quad (4.6)$$

где $t_{в-ч}$ - суммарное количество вагоно-часов в процессе многогруппной сортировки; $C_{л-ч}$ – принятая стоимость одного вагоно-часа.

Время нахождения вагонов в системе, т.е. вагоно-часы, состоит из двух элементов: время ожидания обслуживания (начала процесса подбора вагонов) и время под обслуживанием. Первый элемент также связан с технологическим горочным интервалом.

$$t_{в-ч} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{i1} t_{ги}^i + \sum_{i=1}^{i1} t_{ож}^i}{60} \right) \cdot m_c, \quad (4.7)$$

где m_c – число вагонов в составе, ваг; $t_{ож}$ – время ожидания обслуживания для каждого требования, мин (в модели – $toz(sposob, npt1, i)$).

$$\mathcal{E}_{зан} = \sum_{i=1}^{i1} t_{ож}^i C_{зан}, \quad (4.8)$$

где $C_{зан}$ – стоимость одного часа занятия 1 км станционных путей.

$$\mathcal{E}_{тс} = l_{пол} C_{тс}, \quad (4.9)$$

где $l_{пол}$ – суммарная полезная длина по определенному конструктивно-технологическому варианту, в модели определена как $lpolsum(sposob, npt1)$; $C_{тс}$ – расходы по текущему содержанию 1 км пути в год. $lpolsum(sposob, npt1)$ также используется при расчете капитальных затрат на строительство сортировочного устройства.

Годовые эксплуатационные расходы, связанные с многогруппной подборкой вагонов:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{сут} \cdot 365. \quad (4.10)$$

Итоговым результатом работы модели являются следующие данные по каждому конструктивно-технологическому варианту:

- общее время, затраченное на подборку составов за период моделирования ($\sum_{i=1}^{i1} t_{ги}^i$), ч;
- среднее число требований в очереди, требований;

- среднее количество требований в системе, требований;
- максимальное число требований в системе за период моделирования, требований (L_{max});
- суммарный простой в ожидании обслуживания ($\sum_{i=1}^{i1} t_{ож}^i$), ч;
- вагоно-часы в сутки ($t_{в-ч}$), ч;
- локомотиво-часы в сутки ($t_{л-ч}$), ч;
- суммарная полезная длина путей, км;
- эксплуатационные расходы (Ξ), тыс.р./год;
- капитальные вложения (K), тыс. р.;
- интегральные дисконтированные затраты (Z), тыс.р./год;
- загрузка системы ($\Psi_{системы}$);
- перерабатывающая способность специализированного сортировочного устройства ($N_{пер}$), ваг./сут;
- базовый ТГИ ($t_{и(баз)}^Г$), мин.

4.4 Варианты конструкции группировочного парка и его связи со станцией

Модель, разработанная в разделах 2 и 4, позволяет выбрать рациональный конструктивно-технологический вариант организации многогруппной сортировки. При этом основные конструктивные параметры самого сортировочного устройства, такие как количество и вместимость группировочных путей, напрямую не зависят от схемы станции, на которой оно размещается. Однако местные условия могут выступать в качестве ограничений, обусловленных недостаточными размерами имеющейся площадки; объемом и стоимостью переустройства станции при сооружении специализированного сортировочного устройства; особенностями существующей технологии работы станции. В связи с этим, будет необходима итоговая корректировка выбранного варианта схемы сортировочного устройства для его интеграции с существующим путевым развитием станции.

Ниже рассматриваются возможные варианты конструкции группировочного парка специализированного сортировочного устройства.

Вариант 1. Все группировочные пути тупиковые, примыкание к станции осуществляется с угловым заездом через вытяжной путь.

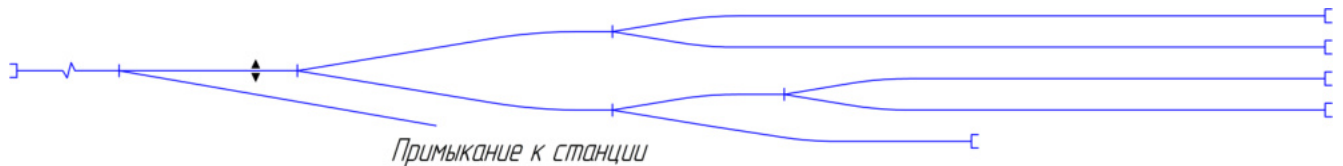


Рисунок 4.3 – Первый вариант конструкции парка

Достоинства:

- эффективное использование полезной длины группировочных путей тупикового типа;
- минимизация капитальных вложений в сооружение парка из-за сокращения количества стрелочных переводов;
- тупиковые пути исключают возможность ухода вагонов из группировочного парка.

Недостатки:

- уменьшение маневренности в связи с отсутствием выходной горловины группировочного парка;
- потребность выполнения всех операций через одну горловину, с заездом на горку, что увеличивает длительность полурейсов;
- увеличение затрат времени на уборку готового многогруппного состава в другой парк (на пути отправления) при угловой схеме перестановки.

Из-за указанных недостатков использование такой схемы будет ограничивать перерабатывающую способность устройства, однако при прочих равных условиях обеспечивает минимизацию капитальных затрат. Рекомендуемая сфера применения – промежуточные, грузовые или участковые станции, станции путей необщего пользования с небольшим объемом сортировочной работы по многогруппной подборке вагонов.

Вариант 2. Все группировочные пути, кроме одного, тупиковые, связь со станцией не только через горочный вытяжной путь, но и с противоположной стороны парка, через сквозной группировочный путь.

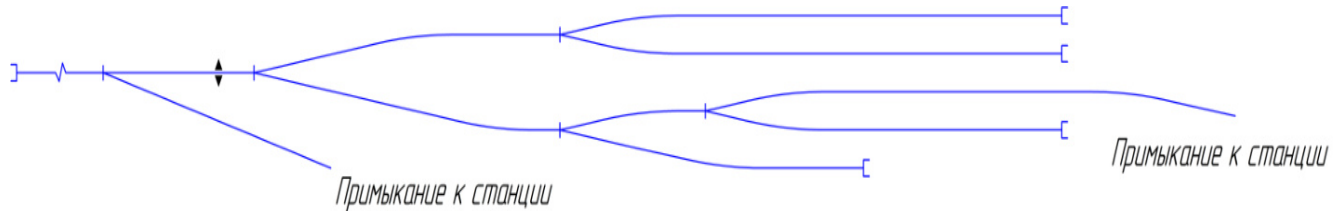


Рисунок 4.4 –Второй вариант конструкции парка

Достоинства и недостатки варианта по большей части аналогичны предыдущему. Дополнительно появляется возможность перестановки готового состава без занятия горочной горловины. Целесообразность укладки сквозного группировочного пути определяется общей технологией работы станции и сортировочного устройства. Соединять со станцией следует путь, на котором с большей вероятностью будет располагаться заключительная группа в составе, что позволит сократить время на сборку и перестановку готового состава. Возможная сфера применения – промежуточные, участковые и грузовые станции с небольшим объемом сортировочной работы, а также пути необщего пользования, для которых возможен вариант последовательного расположения устройства между станцией и сетью путей необщего пользования (рисунок 4.5). Также необходимо предусматривать обводной путь вокруг специализированного сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов. Путь необходим для следования одиночного локомотива, а также перестановки маршрутов или групп вагонов, не требующих подборки, со станции на пути необщего пользования и в обратном направлении.

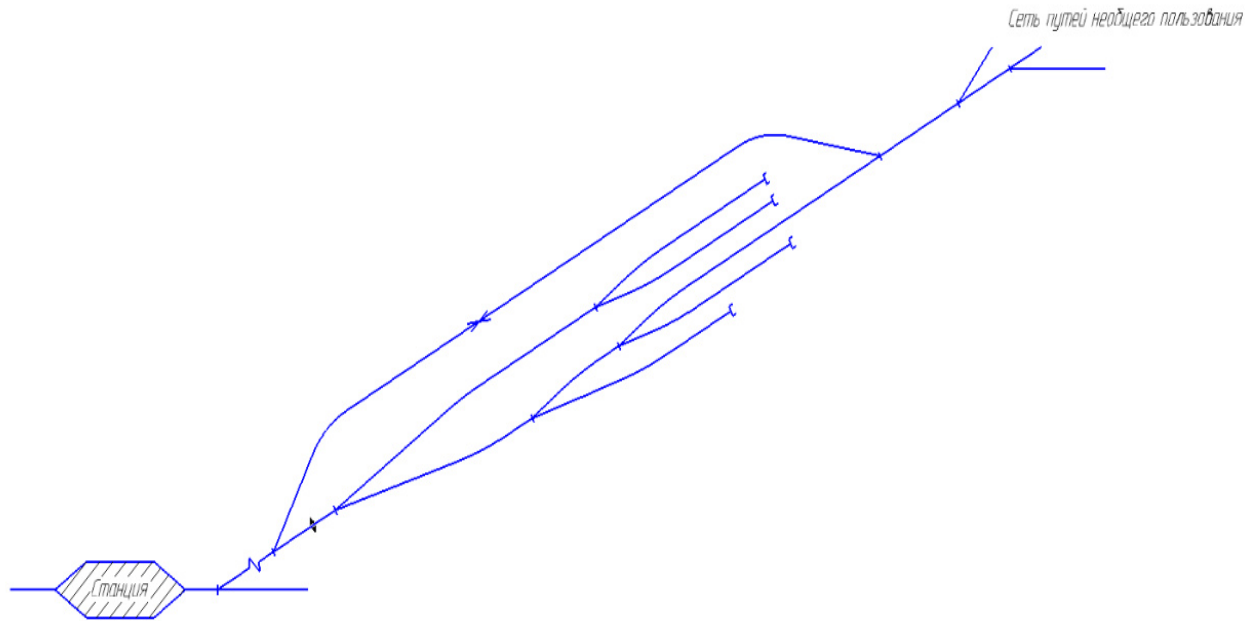


Рисунок 4.5 – Возможная схема размещения сортировочного устройства по второму варианту

Вариант 3. Группировочный парк имеет второе примыкание к станции через горловину, противоположную горке.

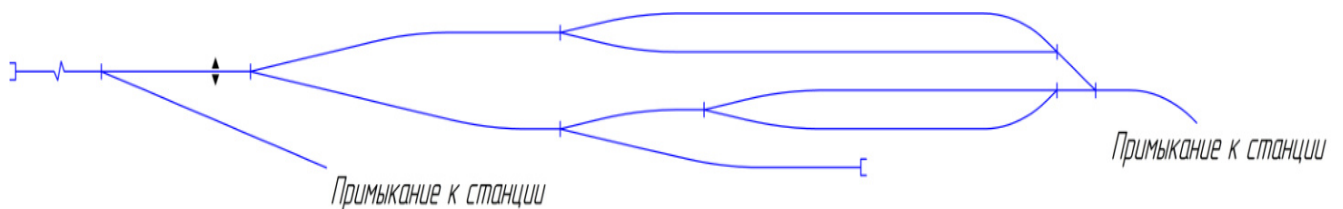


Рисунок 4.6 – Третий вариант конструкции парка

Достоинства:

- возможность сборки вагонов с использованием выходной горловины группировочного парка;
- большая маневренность;
- удобство перестановки готового состава в другой парк (на пути отправления);

Недостатки:

– увеличение строительной стоимости объекта из-за укладки большого количества стрелочных переводов и появления излишков полезной длины части путей, обусловленных конструктивными особенностями стрелочной улицы;

– необходимость исключения ухода вагонов через выходную горловину.

Возможная сфера применения – промежуточные, участковые и грузовые станции общей сети, а также станции путей необщего пользования. В последнем случае возможно сокращение объема маневровой работы за счет непосредственной подачи отдельных подобранных групп вагонов с каждого группировочного пути на грузовые фронты без необходимости сборки всего состава.

Рассмотренные варианты будут различаться наличной перерабатывающей способностью. Для первого варианта она минимальная, а для третьего – максимальная. Это связано с повышением маневренности группировочного парка с каждым последующим вариантом. Например, при использовании дополнительного локомотива во втором варианте можно параллельно осуществлять операции перестановки подобранных вагонов и подачи неподбранных вагонов, а в третьем – выполнять параллельную сборку подобранных вагонов и подачу неподбранных вагонов.

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

Обобщенная методика включает в себя элементы расчетов, разработанные в разделах 2, 3 и 4. В общем виде методику можно представить в виде последовательности нескольких этапов расчета (таблица 4.1). Каждому этапу соответствует содержание, описывающее действия, которые необходимо произвести в соответствии с методикой.

Таблица 4.1 - Методика комплексного обоснования рациональных конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов

Наименование этапа расчета	Содержание этапа
1. Подготовка данных о вагонопотоке	<p>Определение:</p> <ul style="list-style-type: none"> – интенсивности поступления составов для подборки на сортировочное устройство (количество составов, перерабатываемых за сутки) – λ, сост./сут. – распределения интервалов времени между поступлениями составов на устройство одним из способов: <ul style="list-style-type: none"> а) в виде расписания, t_i, мин; б) в виде одного из законов распределения (показательный и др.), $F(t)$. – числовых и вероятностных характеристик параметров вагонопотока: <ul style="list-style-type: none"> а) функции распределения вероятностей появления групп в составе – $F(n_{гр})$; б) математического ожидания ($M[m_i]$) и среднего квадратического отклонения массы ($\sigma[m_i]$) вагона в отцепе для i-ой группы; в) математического ожидания ($M[l_i]$) и среднего квадратического отклонения ($\sigma[l_i]$) длины отцепа i-ой группы
2. Расчет показателей работы для различных вариантов организации многогруппной подборки вагонов	<p>Расчет по модели для каждого возможного конструктивно-технологического варианта следующих показателей:</p> <ul style="list-style-type: none"> – базового технологического горочного интервала (ТГИ'), мин; – наличной перерабатывающей способности сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов ($N_{пер}^{МГС}$); – необходимой суммарной полезной длины группировочных путей ($L_{п}^{сумм}$), м; – необходимой вместимости каждого из группировочных путей ($l_{пз}^j$), ваг.

Продолжение таблицы 4.1

Наименование этапа расчета	Содержание этапа
3. Выбор рационального варианта сочетания конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства (КТВ)	<p>Расчет интегральных дисконтированных затрат для каждого из конструктивно-технологических вариантов организации многогруппной подборки вагонов:</p> $Z = K + \sum_{m=1}^n \Delta_m \alpha_m, \text{ тыс. р.}$ <p>Минимальное значение интегральных дисконтированных затрат соответствует рациональному варианту конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства:</p> <ul style="list-style-type: none"> – способа сортировки (комбинаторный, степенной и др.); – количества группировочных путей; – вместимости группировочных путей;
4. Проработка конструктивных и технологических параметров в соответствии с местными условиями	<p>Проверка возможности реализации полученных конструктивных и технологических параметров с учетом местных условий рассматриваемой станции. Ограничениями могут являться:</p> <ul style="list-style-type: none"> а) имеющиеся размеры площадки для сооружения сортировочного устройства; б) объем и стоимость переустройства станции при сооружении специализированного сортировочного устройства; в) особенности существующей технологии работы станции

4.6 Выводы по разделу

1) Разработана комплексная модель работы специализированного сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов, представленная в виде системы массового обслуживания, позволяющая определить длину очереди, время ожидания обслуживания и другие эксплуатационные показатели, такие как вагоно-часы, локомотиво-часы, технологический горочный интервал при подборке вагонов на ограниченном числе путей с использованием способов интенсивной сортировки. Модель реализована в виде программного продукта «МГС-Аналитика».

2) Разработан метод выбора конструктивно-технологических вариантов специализированного сортировочного устройства по критерию минимума интегральных дисконтированных затрат. Определены основные измерители, включаемые в расчет интегральных дисконтированных затрат.

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

4) Разработана методика комплексного обоснования конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов на ограниченном числе путей. Методика позволяет учитывать структуру вагонотока, технологию работы, конструкцию сортировочного устройства, а также местные условия.

5 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СОРТИРОВОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ МНОГОГРУППНОЙ ПОДБОРКЕ ВАГОНОВ НА ОГРАНИЧЕННОМ ЧИСЛЕ ПУТЕЙ

5.1 Постановка задачи

Методика, разработанная в разделе 4, может быть применена для обоснования рациональных конструктивных и технологических параметров сортировочных устройств при многогруппной подборке вагонов на ограниченном числе путей. Методика включает в себя расчет по разработанной модели, который обеспечивает наиболее полный учет всех влияющих факторов, в том числе местных условий. При этом для принятия принципиальных решений о внедрении многогруппной подборки вагонов с проектированием нового или использованием существующего на станции сортировочного устройства полезно иметь рекомендации относительно сферы рационального применения различных вариантов технологии сортировки и конструкции группировочного парка. Эти рекомендации должны расширить и уточнить положения действующих правил и норм проектирования сортировочных устройств [28] в части выбора способа сортировки вагонов и конструктивных параметров группировочного парка.

Помимо этого, применение методики в полном объеме позволяет обосновать конструктивные и технологические параметры сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов, с подробным учетом местных условий конкретной станции.

С целью оценки практической применимости разработанных в диссертации решений выполнены исследования по определению перечисленных выше параметров для различных вариантов глубины переработки вагонопотока на станции Новокузнецк-Восточный. Станция находится в крупном железнодорожном и промышленном узле Западной Сибири, является многопарковой горочной грузовой

станцией с большим объемом сортировочной работы, расположение парков комбинированное. Специфической особенностью станции является значительный объем повторной сортировки вагонов, обусловленный потребностью формирования многогруппных, в том числе, сборных поездов в условиях недостаточного количества сортировочных путей. Таким образом, станция представляет собой объект, для которого разработка технических и технологических решений по совершенствованию процесса многогруппной подборки вагонов является актуальной.

В разделе необходимо решить следующие задачи:

1) разработать рекомендации по применению различных вариантов технологии многогруппной подборки вагонов и конструкции группировочного парка, в зависимости от числа групп и интенсивности поступления составов;

2) выполнить анализ технического оснащения и технологии работы станции Новокузнецк-Восточный, плана формирования поездов, структуры вагонопотоков для сборных и передаточных поездов, определить варианты детализации подборки вагонов;

3) определить рациональные конструктивные и технологические параметры сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов при различных вариантах детализации вагонопотока;

4) на основе анализа схемы путевого развития, существующего технического оснащения и технологии работы станции предложить вариант размещения сортировочного устройства и конструкции группировочного парка, соответствующий полученным конструктивным и технологическим параметрам.

5.2 Разработка рекомендаций по применению различных вариантов технологии многогруппной подборки вагонов и конструкции группировочного парка

В разделах 2 и 4 была разработана комплексная модель работы специализированного сортировочного устройства, а также методика выбора рациональных конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства для

многогруппной подборки вагонов по критерию интегральных дисконтированных затрат. Полученные результаты характеризуют каждый конструктивно-технологический вариант в зависимости от:

- способа сортировки (1 – комбинаторный, 2 – степенной, 3 – ступенчатый дублирующий, 4 – ступенчатый максимальный, 5 – последовательного выделения групп);
- количества группировочных путей (от 2 до 5).

Рассмотрим пример расчета со следующими исходными данными:

1) Интенсивность поступления составов $\lambda = 10$ сост./сут. Интервалы поступления составов моделируется по распределению Эрланга 4-го порядка [82].

2) Структура вагонопотока: количество групп $n_{гр} = 9$, средняя длина отцепы 3 вагона, средняя масса вагона 60 т (среднее квадратическое отклонение массы вагона 10 т).

Результаты расчета представлены в таблице 5.1. Те варианты, для которых значения в строчках равны нулю, не в состоянии обеспечить при рассматриваемых условиях переработку заданного вагонопотока.

Как видно из полученных значений, наиболее рациональным вариантом с точки зрения интегральных дисконтированных затрат, является степенной способ сортировки вагонов на трех путях (обозначен рамкой). При этом, если рассматривать только эксплуатационные расходы, данный способ нельзя назвать самым эффективным: например, при подборке вагонов с использованием комбинаторного способа на трех путях имеется преимущество в локомотиво-часах, а значит и в экономии эксплуатационных расходов.

Однако помимо эксплуатационных расходов существенную роль в определении эффективности КТВ играют капитальные вложения. При одинаковых параметрах горки основными влияющими на них факторами будут суммарная длина группировочных путей и их количество. Благодаря особенностям схемы сортировки степенным способом, максимальная необходимая полезная длина путей составляет 1,932 км, а у комбинаторного – 2,548 км. Таким образом, при условии использования степенного способа сокращается строительная стоимость устройства. Отличия

между КТВ заключаются в разнице, как эксплуатационных расходов, так и капитальных затрат. Таким образом, использование разных способов сортировки при одинаковом числе подбираемых групп соответствует различной стоимости устройства и эксплуатационным расходам.

Результаты расчета при увеличении объема сортировочной работы до 16 составов в сутки приведены в таблице 5.2. Как видно из таблицы, наиболее рациональным оказался ступенчатый максимальный способ подборки вагонов на трех путях. Несмотря на то, что капитальные вложения значительно выше, в связи с разностью в полезной длине путей, большие объемы переработки вагонов при использовании способа с меньшим ТГИ позволяют больше экономить на эксплуатационных расходах за счет сокращения суммарных затрат локомотиво-часов, а также меньшего времени занятия станционных путей. Таким образом, выбор рационального варианта технологии также зависит от объема переработки.

При неизменном количестве подбираемых групп использование для многогруппной подборки вагонов большего числа путей может быть целесообразно, если это обеспечивает ускорение процесса сортировки, которое, как показано выше, приводит к существенному сокращению эксплуатационных расходов. Однако из таблицы 5.2 видно, что увеличение количества путей может и не обеспечивать сокращения ТГИ, поскольку при сортировке того же числа групп возможности схемы, ориентированной на использование большего числа путей, не будут использоваться. При использовании КТВ с неполным заполнением схемы сортировки при данном числе группировочных путей (т.е. групп в составах меньше, чем предполагает схема сортировки для такого числа путей) дополнительные капиталовложения в увеличение числа путей не будут компенсироваться сокращением эксплуатационных расходов. Показатели КТВ при подборке 10 составов в сутки и числе групп, равном 13 групп, представлены в таблице 5.3. Результаты сравнительного расчета эффективности КТВ при меньшей интенсивности поступления составов, равной 3 состава в сутки, приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.1 – Расчет показателей конструктивно-технологических вариантов для условий подборки вагонов на 9 групп, объем работы 10 составов в сутки

Способ сортировки	Кол-во путей	Сумм. ТГИ, мин $\sum_{i=1}^{i1} t_{ГН}^i$	Среднее кол-во заявок в системе	Простой в ожидании обсл-ия, мин $\sum_{i=1}^{i1} t_{ож}^i$	Вагоно-часы в сутки	Локомотиво-часы в сутки	Среднее число заявок в очереди	Эксплуатационные расходы (Э, тыс.р/год)	Суммарная полезная длина путей, км	Капитальные вложения К, тыс. р	Интегральные дисконтированные затраты, тыс. р	$N_{пер}$, ваг./сут	$\Psi_{сист}$	L_{max} , требований	ТГИ (среднее), мин
1	2	5279	0,8	447	1355	17,6	0,1	14493	1,988	30945	134491	930	0,76	2	110
1	3	3453	0,5	38	826	11,5	0,0	10334	2,450	40543	114375	1421	0,50	2	72
1	4	3380	0,5	47	811	11,3	0,0	10667	2,968	51169	127380	1452	0,49	2	70
1	5	3351	0,5	58	807	11,2	0,0	10916	2,856	54892	132882	1465	0,48	2	70
2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	3584	0,5	58	862	11,9	0,0	10560	2,100	36713	112160	1369	0,52	2	75
2	4	3909	0,5	90	946	13,0	0,0	11939	2,758	48872	134171	1255	0,57	2	81
2	5	3610	0,5	58	868	12,0	0,0	11577	2,884	55198	137911	1360	0,52	2	75
3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	4039	0,6	90	977	13,5	0,0	11883	2,674	42994	127893	1215	0,58	2	84
3	4	3646	0,5	61	877	12,2	0,0	11228	2,604	47187	127406	1346	0,53	2	76
3	5	3548	0,5	54	852	11,8	0,0	11528	3,234	59028	141391	1383	0,51	2	74
4	2	0	0	0	0	0	0,0	0	0,000	0	0	0	0	0	0
4	3	3490	0,5	37	835	11,6	0,0	10466	2,576	41921	116696	1406	0,50	2	73
4	4	3302	0,5	46	792	11,0	0,0	10445	2,884	50250	124875	1486	0,48	2	69
4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5	3106	0,4	33	743	10,4	0	10347	3,010	56577	130502	1580	0,45	2	65

Таблица 5.2 – Расчет показателей конструктивно-технологических вариантов для условий подборки вагонов на 9 групп, объем работы 18 составов в сутки

Способ сортировки	Кол-во путей	Сумм. ТГИ, мин $\sum_{i=1}^{i1} t_{ГТ}^i$	Среднее кол-во заявок в системе	Простой в ожидании обсл-ия, мин $\sum_{i=1}^{i1} t_{ож}^i$	Вагоно-часы в сутки	Локомотиво-часы в сутки	Среднее число заявок в очереди	Эксплуатационные расходы (Э, тыс.р/год)	Суммарная полезная длина путей, км	Капитальные вложения К, тыс. р	Интегральные дисконтированные затраты, тыс. р	$N_{пер}$, ваг./сут	$\Psi_{сист}$	L_{max} , требований	ТГИ (среднее), мин
1	2	7876	10,0	71626	23519	32,8	12,4	30694	1,974	30792	250087	922	1,39	20	111
1	3	5199	1,2	2150	2174	21,7	0,4	18211	2,674	42994	173104	1396	0,92	3	73
1	4	4939	1,1	1529	1914	20,6	0,3	17878	3,220	53926	181657	1470	0,87	3	70
1	5	4925	1,1	1718	1965	20,5	0,3	18100	2,884	55198	184515	1474	0,87	3	69
2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	5331	1,3	2493	2315	22,2	0,4	18486	2,128	37020	170494	1362	0,94	4	75
2	4	5790	2,0	6227	3555	24,1	1,1	20738	2,800	49331	197495	1254	1,02	4	82
2	5	5336	1,3	2544	2331	22,2	0,4	19471	2,954	55964	195076	1360	0,94	4	75
3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	5907	2,2	7533	3976	24,6	1,3	20802	2,688	43147	191768	1229	1,04	5	83
3	4	5342	1,3	2392	2288	22,3	0,4	19095	2,870	50097	186523	1359	0,94	4	75
3	5	5255	1,3	2227	2213	21,9	0,4	19281	3,248	59181	196935	1381	0,93	3	74
4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	5160	1,2	1980	2112	21,5	0,3	18036	2,534	41462	170321	1407	0,91	3	73
4	4	4859	1,1	1556	1898	20,2	0,3	17528	2,898	50403	175633	1494	0,86	3	68
4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5	4650	1	1183	1725	19,4	0	17249	3,052	57037	180274	1561	0,82	3	65

Из таблицы 5.4 видно, что наиболее рациональным вариантом является комбинаторный способ сортировки на двух путях. При малой интенсивности (1-4 поезда в сутки) наиболее рациональным может являться не самый быстрый вариант, но самый дешевый с точки зрения строительной стоимости. При более высокой интенсивности (10 составов, таблица 5.3) наиболее рациональным является также комбинаторный способ, однако с использованием трех путей, что связано с необходимостью ускорения подборки вагонов.

Приведенные выше результаты расчетов указывают на наличие и количественно характеризуют в системе рассматриваемых показателей связь между структурой вагонопотока, интенсивностью поступления вагонопотока в переработку, конструкцией специализированного сортировочного устройства и технологией подборки вагонов (см. таблицы 5.1-5.4), причем каждый из этих параметров, как и предполагалось, оказывает влияние на выбор рационального конструктивно-технологического варианта.

В связи с разнообразием возможных вагонопотоков и принимаемых решений, любое конструктивно-технологическое решение требует детального расчета применительно к конкретному сортировочному устройству. При этом существующие нормы [28] не обеспечивают учета таких факторов, как структура вагонопотока, его интенсивность, а также возможность использования различных вариантов технологии многогруппной подборки вагонов (помимо способа последовательного выделения групп). Предлагаемая методика устраняет данный недостаток.

Данные, представленные в таблице 5.5, характеризуют основные результаты, которые могут быть получены при помощи предлагаемого метода обоснования рациональных конструктивных и технологических параметров вариантов организации многогруппной сортировки, основанного на имитационном моделировании процесса подборки вагонов.

Модель может использоваться для решения как прямой (выбор экономически эффективного способа многогруппной сортировки при известных параметрах существующего сортировочного устройства), так и обратной (определение рациональных параметров проектируемого группировочного парка при заданном варианте технологии многогруппной сортировки) задач. При этом критерием решения обратной задачи, помимо приведенных затрат, может являться эксплуатационная надежность группировочного парка, под которой в данном случае понимается вероятность неперевышения наличной вместимости задействованных группировочных путей, определяемая статистическим методом на основе моделирования сортировки по программе «МГС-Аналитика» (Приложение Ж) [88].

Помимо решения обозначенных выше практических задач, модель может быть использована для обоснования сферы применения тех или иных способов сортировки в зависимости от числа подбираемых групп и потребных объемов переработки. Наиболее значимыми характеристиками при этом будут являться ТГИ и суммарная полезная длина группировочных путей.

На основе методики, изложенной в разделе 3, определен необходимый объем экспериментов для исследования каждого из 16-ти КТВ – 259 составов в каждой серии [40]. Результаты моделирования и выбора рационального КТВ для различного числа групп и интенсивности поступления составов на сортировочное устройство приведены в таблице 5.5. КТВ представлен в виде двух символов: первый указывает на способ сортировки (К – комбинаторный, С – степенной, М – ступенчатый максимальный), второй – на количество используемых группировочных путей. В ситуациях, когда несколько КТВ близки друг к другу по приведенным затратам, в ячейках таблицы указано несколько вариантов.

Таблица 5.5 – Рациональные конструктивно-технологические варианты для различных объемов сортировочной работы и детализации переработки вагонопотока

Число групп	Интенсивность поступления составов, сост/сут				
	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15
≤ 4	<i>C2</i>	<i>C2</i>	<i>C2</i>	<i>C2</i>	<i>C2</i>
5	<i>K2</i>	<i>K2</i>	<i>K2</i>	<i>K2</i>	<i>K2</i>
6-7	<i>K2</i>	<i>K2</i>	<i>K3, M3</i>	<i>K3, M3</i>	<i>K3, M3</i>
8	<i>K2</i>	<i>K2</i>	<i>K2</i>	<i>K3</i>	<i>K3</i>
9	<i>C3, K2</i>	<i>C3</i>	<i>C3</i>	<i>C3</i>	<i>C3, K3, M3</i>
10-13	<i>K2</i>	<i>K2, K3</i>	<i>K3, K4</i>	<i>K3, K4</i>	<i>K4</i>
14-15	<i>K2</i>	<i>K3, M3</i>	<i>K3, M3</i>	<i>K4</i>	<i>K4</i>
16	<i>C4, M3, K3</i>	<i>C4, M3, K3</i>	<i>M3, K3, C4</i>	<i>M3, K3, C4</i>	<i>M3, K3, C4</i>
17-24	<i>K2</i>	<i>K3</i>	<i>K3</i>	<i>K3</i>	<i>K3</i>
25	<i>C5</i>	<i>C5, K4, M4</i>	<i>K4, C5, M4</i>	<i>K4, C5, M4</i>	<i>K4</i>

Курсивом выделены КТВ, которые имеют незначительное преимущество при наличии нескольких конкурирующих вариантов. При изменении функции распределения номеров групп в составе, а также структуры отцепопотока, для некоторых комбинаций числа групп и интенсивности поступления составов требуется уточняющий расчет по модели [103].

Основываясь на полученных результатах, можно сделать следующие выводы относительно сферы рационального применения способов многогруппной сортировки:

1) Степенной способ сортировки вагонов наиболее эффективен при большой «заполняемости» схемы сортировки, т.е. при подборке 4, 9, 16, 25 групп. Помимо этого, степенной способ позволяет достигнуть наименьшей потребной суммарной полезной длины сортировочно-группировочных путей и сократить соответствующие капитальные вложения в инфраструктуру. При этом способ уступает другим в перерабатывающей способности. Применение способа эффективно при переработке от 4 до 10 составов в сутки.

2) Комбинаторный способ сортировки вагонов имеет большое количество схем сортировки, что обеспечивает возможность выбора внутри способа, в зависимости от числа подбираемых групп, схемы с хорошей заполняемостью. Однако, способ требует большей полезной длины группировочных путей, но при этом обес-

печивает бóльшую перерабатывающую способность. В связи с этим, использование способа эффективно при больших объемах переработки (до 10-15 составов в сутки). Также в связи с возможностью подборки вагонов на двух путях может быть эффективен при малых объемах многогруппной сортировки (1-3 состава в сутки).

3) Ступенчатый способ сортировки является «промежуточным» как по потребной суммарной полезной длине, так и по перерабатывающей способности. Является более эффективным при большой неравномерности структуры вагонопотока (числе групп, длине отцепов и т.д.). Помимо этого, как и степенной способ, наибольшую эффективность демонстрирует при большой заполняемости схемы сортировки.

5.3 Анализ технического оснащения и технологии работы станции, структуры вагонопотока многогруппных поездов и разработка вариантов его детализации

Станция Новокузнецк-Восточный по характеру работы является грузовой, по объему и сложности выполняемой работы отнесена к внеклассной. Схема расположения основных устройств показана на рисунке 5.1. Общая технология работы станции соответствует типовой технологии работы сортировочных станций: разборочные поезда прибывают в парк «Б» (5 путей), расформировываются на сортировочной горке; в парке «С» (15 путей) происходит накопление вагонов; накопленные составы переставляются в парк отправления «А» (10 путей); парк «Г» (8 путей) является транзитным. Специализация путей сортировочного парка приведена в таблице 5.6. 4 пути предназначены для накопления сборных поездов, один путь – для многогруппного назначения на станцию Обнорская. Схема расположения основных устройств приведена на рисунке 5.1.

дится на одном пути. Это приводит к тому, что вагоны различных назначений оказываются неупорядочены и, соответственно, требуют повторной переработки с целью расстановки вагонов в составе в соответствии со станциями назначения сборного поезда. Из-за отсутствия специализированной технологической линии, повторной сортировкой вагонов занимается основная сортировочная горка. Так, за 2016 год расформирование вагонов в сутки составило 1933 вагона, из них 582 вагона (30%) сортировались повторно.

Для определения рациональных конструктивных и технологических параметров специализированного сортировочного устройства использована программа «МГС-Аналитика». Исходные данные включают в себя: интенсивность поступления составов на специализированное сортировочное устройство, функции распределения номеров групп в различных поездах (сборных, передаточных), средние массы и длины отцепов для каждой группы в различных поездах. Мощность и другие параметры назначений плана формирования для сборных и других многогруппных поездов представлены в таблице 5.7 (за 2016 год).

Таблица 5.7 – Существующие параметры формируемых назначений

Поезда	Назначение поезда	Назначение групп	Количество вагонов в сутки
Вывозной	Обнорская	4 группы (по кодам грузополучателей)	60
		Белово	44
		Бочаты	20
		Трудоармейская	65
		Красный Камень	6
		Черкасов Камень	42
		Прокопьевск	20
		Тырган	19
		Углерод	26
		Терентьевская	46
		Бардино	11
		Ерунаково	40
		Междуреченск	42
		Кийзак	39
		Мыски	13
		Томусинская	25
		Абагур-Лесной	8
		Мундыбаш	57
		Малиновка	49
		Сарбала	29
		Калтан	7

Для определения средней массы вагонов по каждому назначению использовались натурные листы по отправлению сборных поездов. Для определения средней длины отцепов по каждому сборному поезду использовались сортировочные листки. После их обработки получены статистические данные, необходимые для моделирования вагонопотока и представленные в таблице 5.8, в частности, фактические функции распределения номеров групп в сборных поездах. Функции распределения $F(i)$ и $F_i(j)$ необходимы для моделирования появления того или иного сборного состава и назначений внутри каждого из сборных. $M[l_i]$ – математическое ожидание длины отцепа в i -м поезде, ваг; $M[m_{ij}]$ – математическое ожидание массы вагона в i -м поезде в j -й группе, т; $\sigma[m_{ij}]$ – среднее квадратическое отклонение массы вагона в i -м поезде в j -й группе, т.

Таблица 5.8 – Исходные данные для моделирования вагонопотока

№ состава, i	Назначение i -го состава	$F(i)$	№ группы, j	Назначение группы	$F_i(j)$	$M[l_i]$, ваг	$M[m_{ij}]$, т	$\sigma[m_{ij}]$, т
			1	Белово	0,22		Порожний	0
			2	Бочаты	0,32		Порожний	0
			3	Трудоармейская	0,65		Порожний	0
			4	Красный камень	0,68		69	2
			5	Черкасов камень	0,89		30	2
			6	Прокопьевск	1		27	2
			1	Белово	0,13		37	5
			2	Углерод	0,31		Порожний	0
			3	Терентьевская	0,63		Порожний	0
			4	Бардино	0,71		51	5
			5	Ерунаково	1		35	3
			1	Междуреченск	0,33		Порожний	0
			2	Кийзак	0,64		Порожний	0
			3	Мыски	0,74		Порожний	0
			4	Томусинская	0,94		Порожний	0
			5	Абагур-Лесной	1		68	2

Продолжение таблицы 5.8

№ состава, i	Назначение i -го состава	F(i)	№ группы, j	Назначение группы	$F_i(j)$	$M[l_i]$, ваг	$M[m_{ij}]$, т	$\sigma[m_{ij}]$, т
			1	Мундыбаш	0,40		60	10
			2	Малиновка	0,75		Порожний	0
			3	Сарбала	0,95		Порожний	0
			4	Калтан	1		73	2
			1	ГП 1	0,25		51	26
			2	ГП 2	0,5		51	26
			3	ГП 3	0,75		51	26
			4	ГП 4	1		51	26

При переносе работы со сборными и другими многогруппными поездами на специализированное сортировочное устройство появляется возможность увеличения детальности подборки вагонов в формируемых поездах без увеличения капитальных вложений. Для подтверждения этого разработано 7 вариантов различной детальности подборки представленного вагонопотока: от подборки на 4-6 групп до 16-ти групп.

5.4 Определение рациональных конструктивных и технологических параметров сортировочного устройства при различных вариантах детализации вагонопотока

Для каждого варианта детализации подборки составов с помощью программы «МГС-Аналитика» определены следующие параметры:

- 1) Технологический горочный интервал работы специализированного сортировочного устройства, необходимый для определения перерабатывающей способности (определение описано в разделе 2).
- 2) Необходимая вместимость группировочных путей с учетом их эксплуатационной надежности (методика определения описана в разделе 3).
- 3) Рациональный конструктивно-технологический вариант сортировочного устройства (методика описана в разделе 4).

Результаты расчетов представлены в таблицах 5.9 – 5.15.

Таблица 5.9 – Конструктивные и технологические параметры работы специализированного сортировочного устройства по варианту №1 (4-6 групп)

Рациональный КТВ	ТГИ', мин	№ пути	Необходимая полезная длина, м
		1	994
		2	728
		3	658
Суммарная полезная длина группировочных путей, м			2380

Таблица 5.10 – Конструктивные и технологические параметры работы специализированного сортировочного устройства по варианту № 2 (6-8 групп)

Рациональный КТВ	ТГИ', мин	№ пути	Необходимая полезная длина, м
		1	868
		2	770
		3	756
Суммарная полезная длина группировочных путей, м			2394

Таблица 5.11 – Конструктивные и технологические параметры работы специализированного сортировочного устройства по варианту № 3 (8-9 групп)

Рациональный КТВ	ТГИ', мин	№ пути	Необходимая полезная длина, м
		1	630
		2	630
		3	504
Суммарная полезная длина группировочных путей, м			1764

Таблица 5.12 – Конструктивные и технологические параметры работы специализированного сортировочного устройства по варианту № 4 (9-11 групп)

Рациональный КТВ	ТГИ', мин	№ пути	Необходимая полезная длина, м
		1	868
		2	784
		3	756
Суммарная полезная длина группировочных путей, м			2408

Таблица 5.13 – Конструктивные и технологические параметры работы специализированного сортировочного устройства по варианту № 5 (11-13 групп)

Рациональный КТВ	ТГИ', мин	№ пути	Необходимая полезная длина, м
		1	868
		2	756
		3	784
Суммарная полезная длина группировочных путей, м			2408

Таблица 5.14 – Конструктивные и технологические параметры работы специализированного сортировочного устройства по варианту № 6 (13-15 групп)

Рациональный КТВ	ТГИ', мин	№ пути	Необходимая полезная длина, м
		1	532
		2	742
		3	728
		4	714
Суммарная полезная длина группировочных путей, м			2716

Таблица 5.15 – Конструктивные и технологические параметры работы специализированного сортировочного устройства по варианту № 7 (15-16 групп)

Рациональный КТВ	ТГИ', мин	№ пути	Необходимая полезная длина, м
		1	546
		2	546
		3	588
		4	518
Суммарная полезная длина группировочных путей, м			2198

Определим сравнительную эффективность полученных рациональных конструктивно-технологических решений и варианта, предлагаемого действующими правилами и нормами проектирования сортировочных устройств [28]. Рассмотрим подборку 4-6 групп. Сравнимые варианты:

1) Рациональный конструктивно-технологический вариант (таблица 5.9). Подборка комбинаторным способом на 3-х путях.

2) Нормативный вариант. Подборка способом последовательного выделения групп на 4-х путях.

Сравнительная эффективность двух вариантов проектных решений определяется следующим образом [96]:

$$T = \frac{K_2 - K_1}{\Delta_1 - \Delta_2}, \quad (5.1)$$

где T – расчетный срок окупаемости, лет; K_1 и K_2 – капитальные вложения по вариантам 1 и 2 соответственно, тыс. р; Δ_1 и Δ_2 – ежегодные эксплуатационные расходы по этим же вариантам, тыс. р/год.

Значения K_1 , K_2 , Δ_1 , Δ_2 определяются по результатам моделирования процесса многогруппной подборки вагонов (аналогично значениям, представленным в таблицах 5.1-5.4). Порядок определения значений описан в подразделе 4.3.

Полученное значение T сравнивается с нормативным сроком окупаемости T_n (определяется инвестором, принят равным 8,33 лет). Если срок окупаемости T больше нормативного, то экономически эффективным следует считать вариант с меньшими капитальными вложениями.

$$T = \frac{42854 - 40083}{7909 - 7631} = 9,97 \text{ лет.}$$

Значение $T > T_n$, следовательно, вариант, предлагаемый действующими нормами, проигрывает варианту, полученному при помощи разработанной методики. Следует принимать проектное решение с меньшими капитальными вложениями, т.е. первый (рекомендуемый КТВ – комбинаторный способ сортировки). Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что предлагаемые решения при определенных условиях могут быть эффективнее предложенных в действующих нормативах.

5.5 Разработка схемы размещения и примыкания сортировочного устройства, специализированного для многогруппной подборки вагонов

Одним из вариантов сокращения повторной сортировки является перенос работы по формированию сборных и других многогруппных поездов на специализированное (вспомогательное) сортировочное устройство.

На основе анализа конструктивных особенностей путевого развития и технологии работы станции предлагается разместить специализированное сортировочное устройство параллельно основному сортировочному устройству.

Схема горочной горловины станции и возможная схема примыкания специализированного сортировочного устройства приведена на рисунках 5.2 и 5.3 соответственно. Горку малой мощности предлагается примкнуть к соединительному пути №20 в обход основной горки. Путь №20а является обводным, связанным со специализированным сортировочным устройством стрелками Г5 и Г4. В качестве пути надвига предлагается использовать путь №20б (соединяющийся с путем №1), который уложен в обход съездов 81-83, 85-89, используемых для надвига транзитных поездов с переработкой.

Предполагаемая технология работы состоит в следующем: сборные поезда накапливаются в верхнем пучке основного сортировочного парка (пути №21, 22, 23, 24, 25, 26), имеющим связь со специализированным сортировочным устройством. Накопленные для формирования сборных поездов вагоны переставляются

через обводной путь №20а на путь №20б через стрелки Г5, Г4, Г3, Г2, Г1. Далее осуществляется подборка вагонов в сборном поезде по назначениям с использованием горки малой мощности и проектируемого группировочного парка.

Разработанная конструкция горочной горловины позволяет выполнять эту работу, не занимая основное горочное устройство. При вытягивании накопленного сортировочного состава через обводной путь №20а также есть возможность не останавливать роспуск транзитных поездов с переработкой с направлением вагонов в нижнюю часть сортировочного парка. Помимо конструктивных мероприятий, для реализации предлагаемой технологии работы необходимо переспециализировать часть путей сортировочного парка.

Таким образом, разработанная конструкция специализированного сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов позволяет изолировать работу по формированию сборных поездов от работы основной горки и создать параллельную технологическую линию. Разработанная схема размещения и примыкания позволяет реализовать конструктивные и технологические параметры работы устройства, рассчитанные в подразделе 5.4, удовлетворяя им как по числу группировочных путей, так и по их необходимой вместимости.

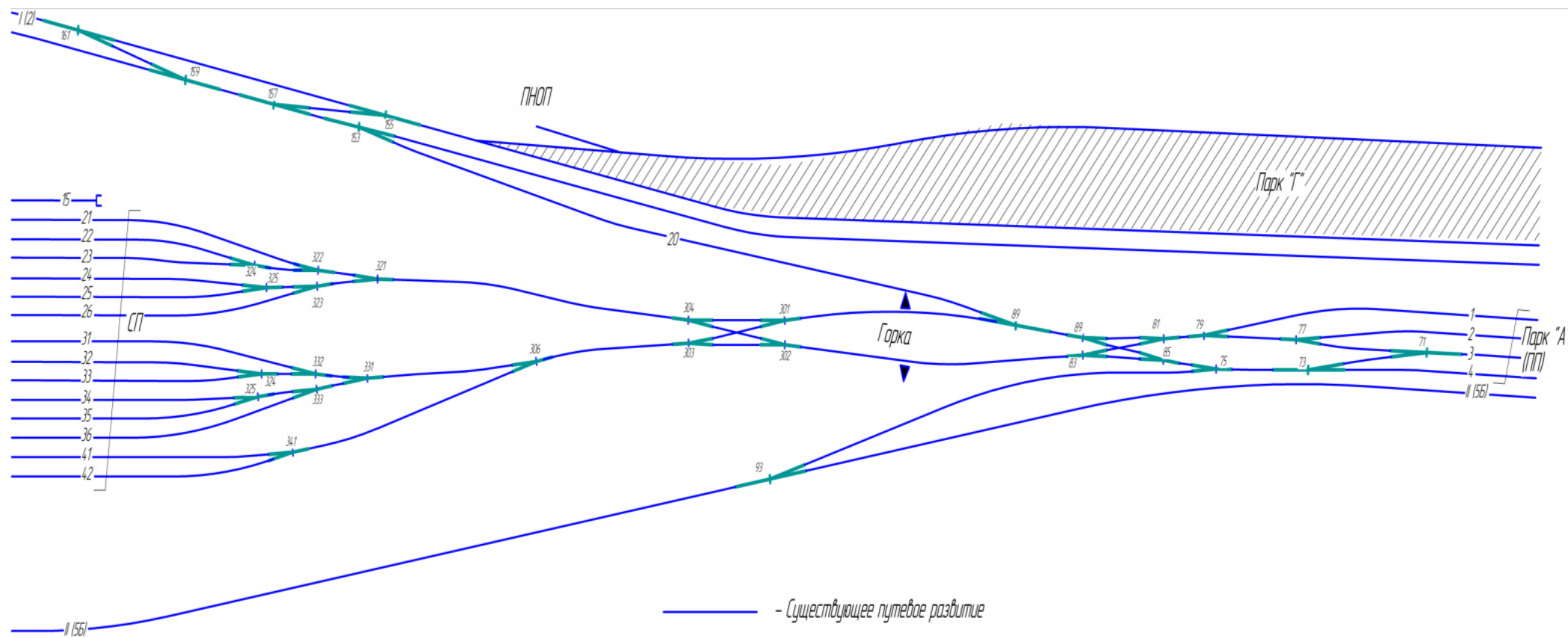


Рисунок 5.2 – Существующая схема горочной горловины (основная горка) и смежных элементов станции Новокузнецк-Восточный

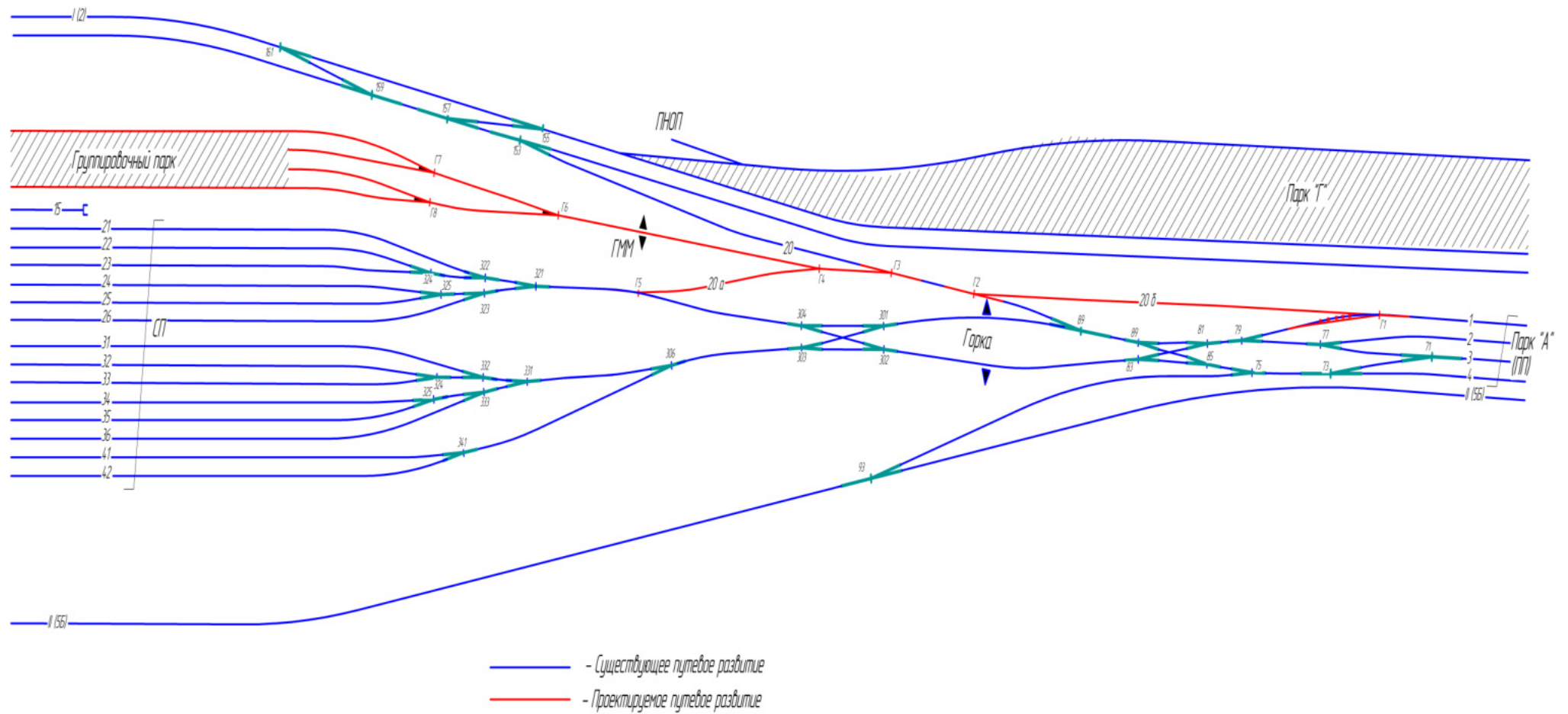


Рисунок 5.3 – Схема путевого развития станции с учетом проектирования специализированного сортировочного устройства

5.6 Выводы по разделу

В данном разделе получены следующие результаты:

1) Разработаны рекомендации по применению различных вариантов технологии многогруппной подборки вагонов и конструкции группировочного парка, в зависимости от числа групп и интенсивности поступления составов. Степенной способ сортировки вагонов наиболее эффективен при большой заполняемости схемы сортировки, т.е. при подборке 4, 9, 16, 25 групп. Применение способа эффективно при переработке от 4 до 10 составов в сутки. Комбинаторный способ целесообразно использовать при больших объемах переработки (до 10-15 составов в сутки). Также в связи с возможностью подборки вагонов на двух путях может быть эффективен при малых объемах многогруппной сортировки (1-3 состава в сутки). Ступенчатый способ сортировки является промежуточным как по потребной суммарной полезной длине, так и по перерабатывающей способности.

2. Для пилотного объекта – грузовой станции с большим объемом сортировочной работы Новокузнецк-Восточный Западно-Сибирской железной дороги на основе анализа структуры перерабатываемого вагонопотока в сборных и других многогруппных поездах получены функции распределения количества формируемых поездов различных назначений, а также вероятностей появления различных групп в них. Разработаны варианты детализации подборки групп в поездах – от существующего (4-6 групп) до потенциально возможного (16 групп).

3. При помощи разработанной в разделе 4 методики определены рациональные конструктивные и технологические параметры специализированного сортировочного устройства, разработаны проектные решения по его размещению на станции Новокузнецк-Восточный с учетом местных условий, обеспечивающие создание параллельной технологической линии для многогруппной подборки вагонов. Для существующего вагонопотока (формирование многогруппных поездов с подборкой вагонов на 4-6 групп) рациональные конструктивные и технологические параметры следующие: способ сортировки – комбинаторный; число группировочных

путей – 3; необходимая полезная длина путей – 994, 728 и 658 м. Средние затраты времени на подборку вагонов одного состава 57,4 мин.

4. Разработанные в диссертации предложения по проектированию на станции Новокузнецк-Восточный специализированного сортировочного устройства для многогруппной подборки вагонов с рассчитанными параметрами подтверждены актом внедрения Западно-Сибирской дирекции управления движением – филиала Центральной дирекции управления движением ОАО «РЖД».

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 многофакторные регрессионные модели для расчета затрат времени на маневровые передвижения в зависимости от массы переставляемой группы и длины полурейса.

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 описать 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 усовершенствованного 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 Новокузнецк-Восточный Западно-Сибирской железной дороги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сотников, Е. А. История развития системы управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте (отечественный и зарубежный опыт) / Е. А. Сотников, Д. Ю. Левин, Г. А. Алексеев. – М. : Техинформ, 2007. – 237 с.
2. Бородин, А. Ф. Схема размещения и развития сортировочных станций ОАО «РЖД» до 2015 года / А. Ф. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 1. – С. 48–54.
3. Бородин, А. Ф. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учетом увеличения доли частных вагонов / А. Ф. Бородин, Е. А. Сотников // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 3. – С. 8–19.
4. Грунтов, П. С. Теоретические основы технологии и развития сортировочных станций как основных элементов транспортных систем : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.08 / Грунтов Петр Степанович. – М., 1977. – 39 с.
5. Правдин, Н. В. Проектирование железнодорожных станций и узлов / Н. В. Правдин, Т. С. Банек. – Минск : Вышэйшая школа, 1975. – 512 с.
6. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог : утв. ОАО «РЖД» 10.11.2010. – М. : Техинформ, 2011. – 289 с.
7. Правила и технические нормы проектирования станций и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм : ЦД 858 : утв. М-вом путей сообщения Рос. Федерации 28.07.2000. – М., 2001. – 255 с.
8. Железные дороги колеи 1 520 мм : СТН Ц-01-95 : утв. М-вом путей сообщения Рос. Федерации 25.09.95. – М., 1995. – 86 с. (Строительно-технические нормы Министерства путей сообщения Российской Федерации).
9. Рыбин, П.К. К вопросу целесообразности корректировки прогноза объемов вагонопотоков, поступающих в адрес морского порта, в условиях неустойчивой экономической ситуации / П. К. Рыбин, А. А. Кузменков // Вестник РГУПС. – 2011. – № 1. – С. 130–136.

10. Здорова, А. Ч. Обзор методов прогнозирования объемов грузовых перевозок / А. Ч. Здорова // Проектирование развития региональной сети железных дорог. – 2017. – № 5. – С. 126–133.
11. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения) [Электронный ресурс] // Российские железные дороги : офиц. сайт. – Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396.
12. Елисеев, С. Ю. Взаимодействие железнодорожных станций с грузовыми терминалами на местах необщего пользования / С. Ю. Елисеев, С. Г. Волкова // Мир транспорта. – 2016. – № 4 (65). – С. 188–200.
13. Долженко, А. М. Исторические аспекты и современные проблемы модернизации ж/д горок : монография / А. М. Долженко, Е. Г. Бутрина, Н. В. Пушкаренко. – Saarbrücken : LAP LAMBERT, 2014. – 94 с.
14. Музыкина, С. И. Влияние распределения работы по обслуживанию морского порта в узле на показатели работы грузовой станции / С. И. Музыкина, Г. И. Переста, И. Л. Журавель, В. В. Журавель // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2010. – № 35. – С. 57–61.
15. Аустнязова, Б. И. Методика расчета показателей, характеризующих варианты организации переработки местных вагонопотоков в железнодорожном узле / Б. И. Аустнязова // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им М. Тынышпаева. – 2010. – № 5 (66). – С. 54–59.
16. Boysen, N. The basic train makeup problem in shunting yards / Nils Boysen, Simon Emde, Malte Fliender // M. OR Spectrum. – 2016. – № 38. – P. 207-233.
17. Мачерет, Д. А. Долгосрочная оптимизация эксплуатационных затрат: анализ опыта железных дорог США / Д. А. Мачерет, Н. А. Валеев // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2017. – Т. 76, № 2. – С. 94–100.
18. Kumar, S. Handbook of transportation engineering / Sudhir Kumar. – McGraw-Hill Handbooks, 2004. – 937 с.

19. Развитие и реконструкция станций и узлов / К. Ю. Скалов, И. Е. Савченко, Е. А. Ветухов, Г. А. Литвиновский, Е. И. Нечаева. – М. : Транспорт, 1972. – 286 с.
20. Курбатов, Ф. С. Железнодорожный транспорт в России и США в условиях либерализации экономики (сопоставительный анализ) : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05, 08.00.14 / Курбатов Федор Сергеевич. – М., 2011. – 25 с.
21. Месарош, П. Способы многогруппной сортировки вагонов на вытяжках / Пал Месарош // Железнодорожный транспорт. – 1963. – № 11. – С. 85–88.
22. Технология работы станции формирования поездов / Ф. Флодр и др. – М. : Транспорт, 1989. – 134 с.
23. Кекиш, Н. А. Интенсификация использования путевого развития сортировочных парков станций при формировании групповых поездов / Н. А. Кекиш // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – 2005. – № 1 (10). – С. 23–28.
24. Бобровский, В. И. Двустороннее сортировочное устройство для интенсификации процесса формирования многогруппных составов / В. И. Бобровский, И. Я. Сковрон // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2013. – № 2 (23). – С. 7–12.
25. Ivic, M. Effects of the application of conventional methods in the process of forming the pick-up trains / M. Ivic, M. Markovic, A. Markovic // Yugoslav Journal of Operation Research. – 2007. – № 17. – P. 245–256.
26. Ivic, M. Conditions for simultaneous formation of multigroup freight trains / M. Ivic, I. Belosevic, M. Kosijer // Gradjevinar. – 2012. – № 64. – P. 553–563.
27. Сивицкий, Д. А. Комплекс предварительной сортировки вагонов для повышения эффективности параллельного роспуска на основной сортировочной станции / Д. А. Сивицкий // Прогрессивные технологии и процессы : сб. науч. ст. междунар. молодежной науч.-практ. конф. : в 2 т. – Курск, 2014. – Т. 2. – С. 182–187.

28. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм : утв. М-вом путей сообщения Рос. Федерации 10.10.2003. – М. : Техинформ, 2003. – 168 с.
29. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю. А. Муха, Л. Б. Тишков, В. П. Шейкин и др. – М. : Транспорт, 1994. – 220 с.
30. Григорьев, В. В. Интенсификация сортировочной работы с местными вагонами при использовании вспомогательных сортировочных устройств : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Григорьев Валентин Владимирович. – М., 1987. – 24 с.
31. Пособие по проектированию промышленных железнодорожных станций (к СНиП 2.05.07-85) : утв. Приказом Союзпромтрансипроекта 14.09.86 № 200. – М. : Стройиздат, 1990. – 198 с.
32. Макаров, В. М. Ускоренное формирование многогруппных составов на ограниченном числе сортировочных путей / В. М. Макаров // Организация движения и пассажирские перевозки : экспресс-информ. ЦНИИТЭИ МПС. – М., 1986. – Вып. 1. – С. 37.
33. Сивицкий, Д. А. Метод динамического программирования как основа алгоритма решения задачи распределения сортировочной работы на полигоне и в железнодорожном узле / Д. А. Сивицкий // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – № 4. – С. 21–24.
34. Тишкин, Е. М. Метод комбинаторной сортировки вагонов – основа интенсивной технологии местной работы / Е. М. Тишкин // Вестник ВНИИЖТ. – 1987. – № 2. – С. 1-6.
35. Уманский, В. И. Управление местной работой в интеллектуальных станционных системах / В. И. Уманский, В. М. Макаров, С. И. Долганюк // Вестник ВНИИЖТ. – 2013. – № 5. – С. 16–21.
36. Краснощек, А. А. Единый комплексный технологический процесс Усть-Лужского транспортного узла / А. А. Краснощек, А. Ф. Бородин, П. К. Рыбин // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 4. – С. 34–41.

37. Зимин, В. Н. Усть-Лужский узел – полигон внедрения информационных технологий / В. Н. Зимин // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 5. – С. 26–27.
38. Числов, Н. Н. Проблемы развития станций, морских портов и подходов к ним в Азово-Черноморском бассейне / Н. Н. Числов, О. Н. Числов, В. Л. Люц // Вестник РГУПС. – 2008. – № 1. – С. 101–108.
39. Нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожных станциях ОАО «РЖД», нормативы численности бригад маневровых локомотивов / ОАО «РЖД». – М., 2007. – 101 с.
40. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон ; пер. с англ. – М. : МИР, 1978. – 411 с.
41. Козлов, П. А. Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, В. И. Сорокин // Транспорт Урала. – 2016. – № 3 (50). – С. 3–8.
42. Козлов, П. А. О результирующей пропускной способности последовательно расположенных устройств / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, Н. А. Тушин // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 1 (33). – С. 53–61.
43. Сорочкина, И. С. Методы системного анализа и имитационного моделирования в работе предприятий промышленного железнодорожного транспорта / И. С. Сорочкина, О. Н. Числов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 2. – С. 115–120.
44. Сковрон, И. Я. Оптимизация выбора схемы формирования многогруппных составов / И. Я. Сковрон // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 1/3 (55). – С. 20–26.
45. Сковрон, И. Я. Совершенствование методики оценки продолжительности формирования многогруппных составов / И. Я. Сковрон // Транспортні системи та технології перевезень. – 2014. – Вып. 8. – С. 134–138.
46. Multistage Methods for Freight Train Classification / Riko Jacob, Peter Marton, Jens Maue, Marc Nunkesser // NETWORKS. – 2011. – Vol. 57 – P. 88–105.

47. Briskorn, D. A Note on «Multistage Methods for Freight Train Classification» / Dirk Briskorn, Florian Jaehn // NETWORKS. – 2013. – Vol. 62 – P. 80–81.
48. The train marshalling by a single shunting engine problem / Jan-Alexander Adlbrecht, Benno Huttler, Jan Zazgornik, Manfred Gronalt // Transportation Research. – 2015. – Pt. C (58). – P. 56–72.
49. Гренкевич, О. О. Разработка методики выбора оптимального способа формирования многогруппных составов по критерию эксплуатационных расходов на маневровую работу : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Гренкевич Ольга Олеговна. – Новосибирск, 2004. – 24 с.
50. Карасев, С. В. Разработка модели выбора в оперативных условиях оптимального способа сортировки вагонов при формировании многогруппных составов / С. В. Карасев, О. О. Гренкевич // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог : сб. науч. тр. – Новосибирск, 2004. – С. 26-33.
51. Карасев, С. В. Компактное сортировочное устройство с многосекционным путевым развитием для многогруппной сортировки с применением средств квазинепрерывного регулирования скоростей вагонов / С. В. Карасев // Совершенствование работы железнодорожного транспорта : сб. науч. тр. – Новосибирск, 2009. – 66–75 с.
52. Карасев, С. В. Программа автоматизации выбора оптимального способа сортировки вагонов при формировании многогруппных составов «Сортировка ГС» / С. В. Карасев, О. О. Гренкевич // Инновации в науке и образовании. – 2008. – № 11 (46). – С. 1.
53. Макаров, В. М. Применение ЭВМ в управлении процессом формирования многогруппных составов / В. М. Макаров // Автоматизированные системы управления : экспресс-информ. ЦНИИТЭИ МПС. – М., 1988. – Вып. 2. – 20 с.
54. Шабалин, Н. Н. Выбор технологии формирования поездов / Н. Н. Шабалин // Вопрос эксплуатации железных дорог. – М., 1959. – С. 8–22.
55. Абрамов, А. А. Оптимизация путевого развития местных сортировочных парков / А. А. Абрамов, Е. Н. Кирьянова // Вопросы увеличения пропускной способности железных дорог. – Ростов-на-Дону, 1985. – С. 155–160.

56. Гусев, Ю. Н. Определение оптимальных схем формирования МНГ составов на сортировочной горке / Ю. Н. Гусев // Интенсификация перевозок грузов на железнодорожном транспорте. – М., 1989. – С. 71–77.
57. Брехов, Н. И. Оценка продолжительности формирования многогруппного состава при комбинаторном способе сортировки / Н. И. Брехов // Повышение эффективности эксплуатационной работы железных дорог. – Новосибирск, 1987. – С. 94–102.
58. Вериго, А. С. Нормирование маневров при комбинаторном способе сортировки вагонов / А. С. Вериго, П. Р. Потапов // Совершенствование управления перевозками на железных дорогах Урала и Сибири. – Новосибирск, 1986. – С. 61–68.
59. Зверев, В. И. Оптимизация формирования местных поездов на технических станциях и их работы на участке : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Зверев Виталий Игоревич. – М., 2001. – 24 с.
60. Чернов, В. Н. Автоматизация формирования многогруппных поездов в хвостовых горловинах сортировочных парков / В. Н. Чернов // Актуальные проблемы железнодорожного транспорта. – Ростов-на-Дону, 1995. – С. 109–111.
61. Бакумов, Э. В. Рациональные сферы применения вспомогательных сортировочных устройств на сортировочной станции : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Бакумов Эдуард Викторович. – М., 1986. – 24 с.
62. 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.
63. Карасев, С. В. Основы методики технико-экономической оценки вариантов технических и технологических решений по оптимизации сортировочной работы с опасными грузами на станциях / С. В. Карасев // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог : сб. науч. ст. – Новосибирск, 2007. – 334 с.
64. Сотников, И. Б. Эксплуатация железных дорог: в примерах и задачах / И. Б. Сотников. – М. : Транспорт, 1990. – 232 с.

65. Типовые нормы времени на маневровые работы, выполняемые на железнодорожном транспорте / ОАО «РЖД». – М. : Транспорт, 1987. – 96 с.
66. Шмулевич М.И., Стариков А.Е. Продолжительность маневровых операций при имитационном моделировании работы железнодорожных станций // Транспорт: наука, техника, управление. 2016. № 10. С. 21-25.
67. Козлов, П. А. Имитационная экспертиза проектов развития инфраструктуры / П. А. Козлов, Н. А. Тушин // Мир транспорта. – 2011. – Т. 9, № 2 (35). – С. 22–25.
68. Федотов, Н. И. Исследование процессов работы и проектирования транспортных систем при колебаниях транспортных потоков : дис. ... д-ра техн. наук : 05.434 / Федотов Николай Иванович. – Новосибирск, 1971. – 470 с.
69. Карасев, С. В. Программа для расчета параметров сортировочных горок «Спуск-2» / С. В. Карасев, Д. В. Осипов // Телеграф отраслевого фонда алгоритмов и программ «Инновации в науке и образовании». – М. : Гос-КоорЦентр. – 2007. – № 3(26). – С. 2.
70. Гребенюк, П. Т. Тяговые расчеты : справочник / П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, А. И. Скворцова ; под ред. П. Т. Гребенюка. – М. : Транспорт, 1987. – 271 с.
71. Фадеев, Г.М. Методика тяговых расчетов для маневровой работы / Г. М. Фадеев. – М. : МПС, 1988. – 132 с.
72. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. М-вом путей сообщения Рос. Федерации 21.12.2010 : введ. 22.09.2011. – М. : Омега-Л, 2012. – 173 с.
73. Бурдяк, П. С. Программа для расчета показателей маневровых полу рейсов методом имитационного моделирования с элементами виртуального управления «Маневры-2» : свидетельство о регистрации электронного ресурса 16407 от 22.11.2010 / П. С. Бурдяк, С. В. Карасев. – Инв. номер ВНТИЦ № 50201050175 от 22.11.2010.
74. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ : в 2 кн. / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М. : Финансы и статистика, 1986–1987.

75. Ермаков, С. М. Математическая теория планирования эксперимента / С. М. Ермаков. – М. : Наука, 1983. – 392 с.
76. Боровиков, В. П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере / В. П. Боровиков. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2003. – 688 с.
77. 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.
78. 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.
79. Синяков, А. И. Анализ модульного подхода и его применение в различных языках программирования / А. И. Синяков // Методы и инструменты конструирования и оптимизации программ. Сер. «Конструирование и оптимизация программ» / Сибирское отделение Российской академии наук, Институт систем информатики им. А. П. Ершова ; ред. В. Н. Касьянов. – Новосибирск, 2005. – С. 197–228.
80. 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.
81. Сивицкий Д. А. Разработка алгоритма распределения вагонов по группировочным путям в рамках блочно-модульной модели процесса многогруппной сортировки / Д. А. Сивицкий // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. – 2016. – Т. 1. – С. 363-367.
82. Акулиничев, В. М. Математические методы в эксплуатации железных дорог : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. М. Акулиничев, В. А. Кудрявцев, А. Н. Корешков. – М. : Транспорт, 1981. – 223 с.
83. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей : учеб. для вузов / Е. С. Вентцель. – 6-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 1999. – 576 с.

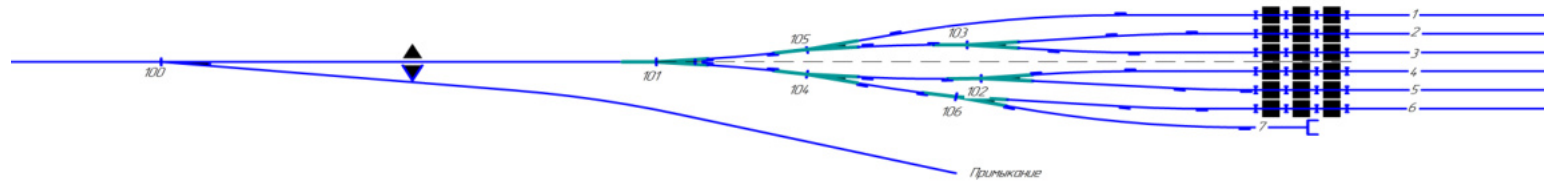
84. Левин, Д. Ю. Расчет и использование пропускной способности железных дорог / Д. Ю. Левин, В. Л. Павлов. – М. : УМЦ ЖДТ, 2011. – 364 с.
85. Соболев, И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболев. – М. : Наука, 1968. – 64 с.
86. Кельтон, В. Имитационное моделирование. Классика CS / В. Кельтон, А. Лоу. – 3-е изд. – СПб. : Питер ; Киев : ВНУ, 2004. – 847 с.
87. Сивицкий, Д. А. Моделирование работы специализированного сортировочного устройства и определение горочного технологического интервала / Д. А. Сивицкий // Транспорт Урала. – 2016. – № 3 (50). – С. 100–105.
88. Сивицкий, Д. А. МГС-Аналитика / Д. А. Сивицкий // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и Образование. – 2016. – № 12 (91). – С. 46.
89. Грунтов, П. С. Эксплуатационная надежность станций / П. С. Грунтов. – М. : Транспорт, 1986. – 247 с.
90. Тишков, Л. Б. Теоретические и методологические основы корректировки алгоритмов расчета высоты, продольного профиля сортировочных горок и систем управления расформированием составов / Л. Б. Тишков // Вестник ВНИИЖТа. – 1996. – № 6. – С. 22–25.
91. Сотников, Е. А. Интенсификация работы сортировочных станций / Евгений Александрович Сотников. – М. : Транспорт, 1979. – 239 с.
92. 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.
93. 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.
94. Кофман, А. Массовое обслуживание, теория и практика применения / А. Кофман, Р. Крюон. – М. : Мир, 1965. – 302 с.

95. Левин, Д. Ю. Очереди на железной дороге / Д. Ю. Левин // Мир транспорта. – 2014. – № 2. – С. 132–141.
96. Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. – 2-е изд., стер. – М. : Наука, 1988. – 208 с.
97. Методические указания по сравнению вариантов проектных решений железнодорожных линий, узлов и станций / ВПТИТРАНССТРОЙ. – М., 1988. – 235 с.
98. Журавель, А. И. Себестоимость железнодорожных перевозок / А. И. Журавель. – Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2000. – 304 с.
99. Издержки и себестоимость железнодорожных перевозок : учеб. пособие / Н. Г. Смехова и др. ; под ред. Н. Г. Смеховой и Ю. Н. Кожевникова. – М. : УМЦ ЖДТ, 2015. – 472 с.
100. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте : утв. указанием М-ва путей сообщения Рос. Федерации № В-1024у от 31.08.1998. – М., 1998. – 118 с.
101. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (третья редакция). – М., 2008. – 260 с.
102. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов : утв. М-вом экономики Рос. Федерации, М-вом финансов Рос. Федерации, Госстроем Рос. Федерации 21.06.1999 № ВК 477. – М. : Экономика, 2010. – 423 с.
103. 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.

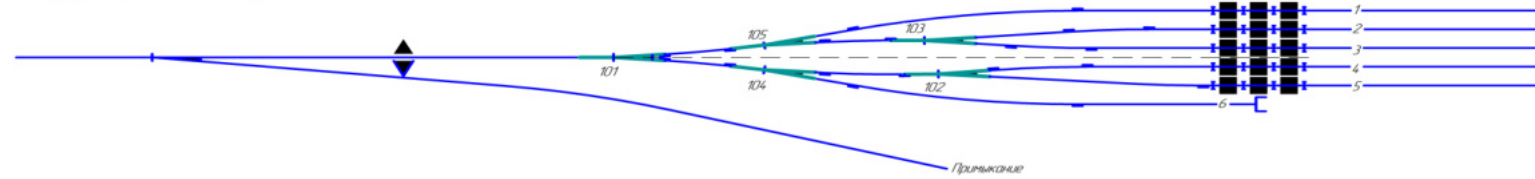
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Масштабный план специализированного сортировочного устройства по вариантам путевого развития

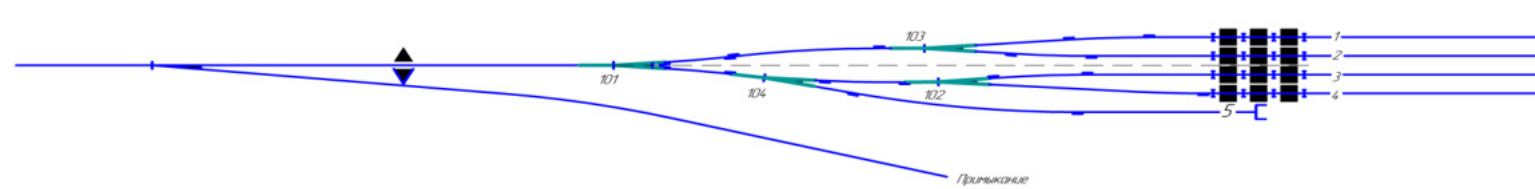
6 группировочных путей



5 группировочных путей



4 группировочных пути



3 группировочных пути

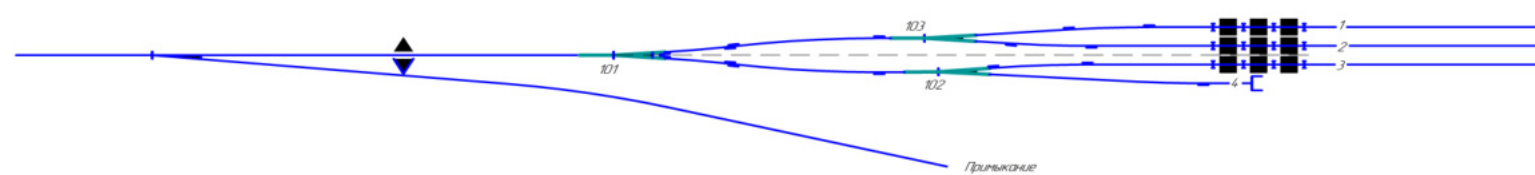


Рисунок А. 1 - Масштабный план специализированного сортировочного устройства по вариантам путевого развития

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Обоснование конструктивных параметров плана и продольного профиля специализированного сортировочного устройства

Определение характеристик плана горочной горловины. Характеристика плана путей, полученная на основе разработанного масштабного плана, представлена в таблицах Б1 – Б7.

Таблица Б.1 – План пути №1

Номер эл-та	Наименование элемента	Длина, м	Угол поворота, °	Мощность тормозной позиции, м.э.в.
1	Условная площадка	9,25	-	-
2	Прямая	44	-	-
3	Стрелочный перевод	17,52	-4,73	-
4	Кривая	13,52	-3,87	-
5	Стрелочный перевод	17,52	-4,73	-
6	Прямая	8,32	-	-
7	Кривая	46,54	13,33	-
8	Прямая	27,87	-	-
9	Тормозная позиция	18,75	-	0,9
10	Прямая	50	-	-
Итого		252,29	0	

Таблица Б.2 – План пути №2

Номер эл-та	Наименование элемента	Длина, м	Угол поворота, °	Мощность тормозной позиции, м.э.в.
1	Условная площадка	9,25	-	-
2	Прямая	44	-	-
3	Стрелочный перевод	17,52	-4,73	-
4	Кривая	13,52	-3,87	-
5	Стрелочный перевод	17,52	4,73	-
6	Прямая	1,98	-	-
7	Кривая	13,52	3,87	-
8	Стрелочный перевод	17,52	-4,73	-
9	Прямая	19,27	-	-
10	Кривая	16,51	4,73	-
11	Прямая	13,17	-	-
12	Тормозная позиция	18,75	-	0,9
13	Прямая	50	-	-
		252,53	0	

Таблица Б.3 – План пути №3

Номер эл-та	Наименование элемента	Длина, м	Угол поворота, °	Мощность тормозной позиции, м.э.в.
1	Условная площадка	9,25	-	-
2	Прямая	44	-	-
3	Стрелочный перевод	17,52	-4,73	-
4	Кривая	13,52	-3,87	-
5	Стрелочный перевод	17,52	4,73	-
6	Прямая	1,98	-	-
7	Кривая	13,52	3,87	-
8	Стрелочный перевод	17,52	4,73	-
9	Прямая	7,36	-	-
10	Кривая	16,51	-4,73	-
11	Прямая	25,04	-	-
12	Тормозная позиция	18,75	-	0,9
13	Прямая	50	-	-
		252,49	0	

Таблица Б.4 – План пути №4

Номер эл-та	Наименование элемента	Длина, м	Угол поворота, °	Мощность тормозной позиции, м.э.в.
1	Условная площадка	9,25	-	-
2	Прямая	44	-	-
3	Стрелочный перевод	17,52	4,73	-
4	Кривая	13,52	3,87	-
5	Стрелочный перевод	17,52	-4,73	-
6	Прямая	1,98	-	-
7	Кривая	16,38	-4,68	-
8	Стрелочный перевод	17,52	4,73	-
9	Прямая	0,8	-	-
10	Кривая	19,37	5,55	-
11	Прямая	25,85	-	-
12	Тормозная позиция	18,75	-	0,9
13	Прямая	50	-	-
		252,47	0	

Таблица Б.5 – План пути №5

Номер эл-та	Наименование элемента	Длина, м	Угол поворота, °	Мощность тормозной позиции, м.э.в.
1	Условная площадка	9,25	-	-
2	Прямая	44	-	-
3	Стрелочный перевод	17,52	4,73	-
4	Кривая	13,52	3,87	-
5	Стрелочный перевод	17,52	-4,73	-
6	Прямая	1,98	-	-
7	Кривая	16,38	-4,68	-
8	Стрелочный перевод	17,52	4,73	-
9	Прямая	30,43	-	-
10	Кривая	13,65	-3,92	-
11	Прямая	2,00	-	-
12	Тормозная позиция	18,75	-	0,9
13	Прямая	50	-	-
		252,52	0	

Таблица Б.6 – План пути №6

Номер эл-та	Наименование элемента	Длина, м	Угол поворота, °	Мощность тормозной позиции, м.э.в.
1	Условная площадка	9,25	-	-
2	Прямая	44	-	-
3	Стрелочный перевод	17,52	4,73	-
4	Кривая	13,52	3,87	-
5	Стрелочный перевод	17,52	4,73	-
6	Прямая	1,21	-	-
7	Кривая	12,61	-4,07	-
8	Стрелочный перевод	17,52	-4,73	-
9	Прямая	24,33	-	-
10	Кривая	15,83	-4,53	-
11	Прямая	11,10	-	-
12	Тормозная позиция	18,75	-	0,9
13	Прямая	50	-	-
		253,16	0	

Таблица Б.7 – Продольные профили путей №1-6.

Номер эл-та	Наименование эл-та	Длина, м	Уклон, ‰
Путь №1			
1	Условная площадка	3,3125	0
2	Скоростной элемент	41,9375	26,5
3	Стрелочная зона	152,04	1,5
4	Сортировочный путь	48	0,6
Всего		244,29	
Путь №2			
1	Условная площадка	3,3125	0
2	Скоростной элемент	41,9375	26,5
3	Стрелочная зона	151,28	1,5
4	Сортировочный путь	48	0,6
		244,53	
Путь №3			
1	Условная площадка	3,3125	0
2	Скоростной элемент	41,9375	26,5
3	Стрелочная зона	151,24	1,5
4	Сортировочный путь	48	0,6
		244,49	
Путь №4			
1	Условная площадка	3,3125	0
2	Скоростной элемент	41,9375	26,5
3	Стрелочная зона	151,22	1,5
4	Сортировочный путь	48	0,6
		244,47	
Путь №5			
1	Условная площадка	3,3125	0
2	Скоростной элемент	41,9375	26,5
3	Стрелочная зона	151,27	1,5
4	Сортировочный путь	48	0,6
		244,52	
Путь №6			
1	Условная площадка	3,3125	0
2	Скоростной элемент	41,9375	26,5
3	Стрелочная зона	151,97	1,5
4	Сортировочный путь	48	0,6
		245,16	

Определение характеристик продольного профиля сортировочного устройства. В связи с особенностями конструкции горки малой мощности (отсутствие тормозной позиции на спускной части горки, 3 элемента профиля) высота горки будет зависеть от длины и уклона скоростного элемента, а также от длины стрелочной зоны. Важно заметить, что стрелочная зона для каждого пути имеет фиксированное значение. Следовательно, для корректировки высоты горки варьировать можно только длину и уклон скоростного элемента, т.к. он общий для всех путей сортировочного модуля.

Проверка высоты и расчет конструктивных параметров продольного профиля сортировочного модуля выполнялся методом имитационного моделирования с помощью программы СПУСК-2.3 [69]. Для определения легкого и трудного пути составлено развернутое описание плана и продольного профиля для каждого пути (представлены на рисунке Б.1). Первоначальный уклон скоростного элемента выбран из условия максимальной разности уклонов между элементами. В ходе осуществления проверок сочетаний бегунов уклоны и высота горки могут быть скорректированы. Для первоначального расчета выбора легкого и трудного пути длина скоростного элемента составляет 45,25 м, уклон – 26,5 %.

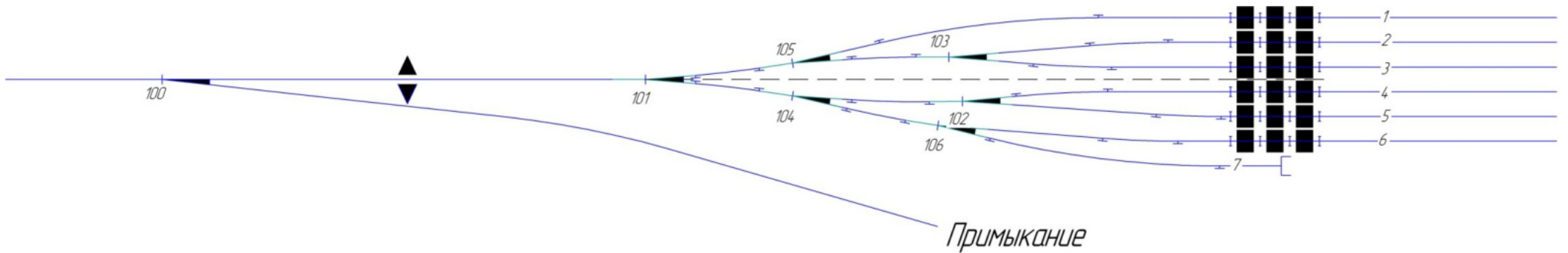
Общие исходные данные, необходимые для расчета высоты горки, представлены в таблице Б.8. На основании представленных исходных данных осуществляется расчет высоты горки. Также определяется скорость прохода бегуном П расчетной точки (РТ) с целью определения легкого и трудного пути. Данные по каждому из путей представлены в таблице Б.9

Таблица Б.8 – Общие данные

Наименование элементов исходных данных	Значение
Радиус вертикальной кривой со стороны путей надвига, м	350
Радиус вертикальной кривой со стороны сортировочного парка, м	250
Уклон со стороны путей надвига, ‰	8
Расчетная зимняя температура, °С	-14,33
Скорость роспуска в неблагоприятных условиях, м/с	0,8
Скорость встречного ветра, м/с	3,4
Угол обдувания на горбе горки встречным ветром, град	29
Расчетная летняя температура, °С	14,8
Скорость роспуска в благоприятных условиях, м/с	0,8
Скорость попутного ветра, м/с	3,9
Угол обдувания на горбе горки попутным ветром, град	16
Тип подшипников	Роликовый
Количество тормозных позиций, включая парковые	1

Таблица Б.9 – Данные расчета для путей №1 - 6

Номер пути	Скорость входа на РТ, м/с	Высота горки, м
1	0,86	1,36
2	0,82	1,36
3	0,85	1,36
4	0,83	1,36
5	0,84	1,36
6	0,85	1,36



Путь №1	Профиль	45.25	26.5	152.04	15	48	0.6
	План	[Plan view of Path 1 showing track layout, curves, and structures]					
Путь №2	Профиль	45.25	26.5	151.28	15	48	0.6
	План	[Plan view of Path 2 showing track layout, curves, and structures]					
Путь №3	Профиль	45.25	26.5	151.24	15	48	0.6
	План	[Plan view of Path 3 showing track layout, curves, and structures]					
Путь №4	Профиль	45.25	26.5	151.22	15	48	0.6
	План	[Plan view of Path 4 showing track layout, curves, and structures]					
Путь №5	Профиль	45.25	26.5	151.27	15	48	0.6
	План	[Plan view of Path 5 showing track layout, curves, and structures]					
Путь №6	Профиль	45.25	26.5	151.97	15	48	0.6
	План	[Plan view of Path 6 showing track layout, curves, and structures]					

Рисунок Б.1 – Конструктивная схема горочной горловины сортировочного устройства, развернутые планы и продольные профили путей по маршруту скатывания

Путь №1 – легкий (самая высокая скорость прохода на РТ), путь №2 – трудный (самая низкая скорость прохода на РТ). Следовательно, для этих путей необходимо осуществить проверки интервалов между расчетными бегунами, при необходимости корректируя длину скоростного элемента. Методом подбора определена минимальная длина скоростного элемента – 43 м. При такой длине скорость входа на расчетную точку составила 0,43 м/с, что соответствует условию.

Выбранные замедлители (РНЗ-2М (3 шт.)) осуществляют остановку хорошего бегуна на легком пути. Менее мощный вариант невозможен, что было подтверждено подбором в программе СПУСК.

Далее проверено расчетное сочетание бегунов П-Х-П. Осуществлены две проверки интервалов между расчетными бегунами: по стрелочным переводам, а также по предельному столбику. Графики зависимости времени от расстояния представлены на рисунке Б.2.

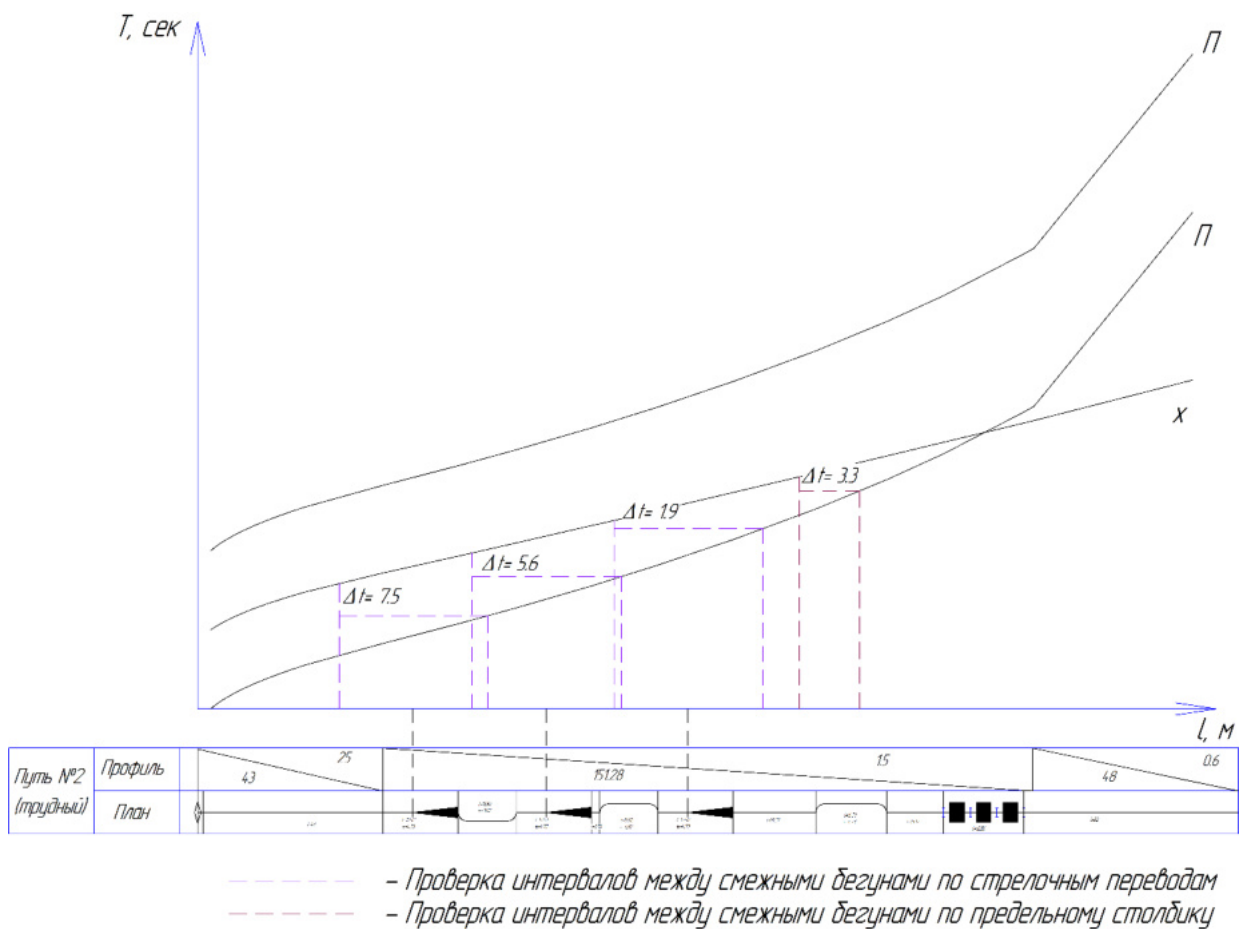


Рисунок Б.2 – Проверка интервалов между расчетными бегунами

Таким образом, определены длины основных элементов плана и профиля. Длина скоростного элемента – 43 м (уклон 26,5 ‰), длина стрелочной зоны для различных путей не отличается друг от друга более чем на 1 м, средняя длина стрелочной зоны – 151,5 м (уклон 1,5 ‰), длина пути до расчетной точки – 48 м (уклон 0,6 ‰).

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Расчет продолжительности операций по вытягиванию группы вагонов при сборке.

Затраты времени на вытягивание (Элемент 7.1, п. 2.3) определялись с учетом того, что последний вагон вытягиваемой группы преодолевает вершину горки. Однако, осуществляя сборку, вагоны будут вытягиваться только до необходимой стрелки, т.е. не проделывая весь путь, который по умолчанию заложен в условия регрессионной модели для определения затрат времени элемента 7.1. Помимо этого, начальное расположение локомотива также будет отличаться: в элементе 7.1 локомотив всегда находился на расстоянии 242,5 м. от горба горки, в то время как в операции 7.2. его местоположение будет случайным, зависящим от длины группы вагонов, которая могла быть к нему прицеплена в процессе сборки. Все это говорит о том, что время перемещения для таких полурейсов будет отличаться от полученного по регрессионной модели. С целью определения этой разницы рассмотрим некоторые возможные варианты позиций локомотива в процессе сборки (полурейс будет осуществляться до стрелки 103 (рисунок 2.1), $l_{1стр} = 133$ м.):

1) Локомотив с вагонами находится за расчетной точкой (I элемент), полурейс до первой стрелки $L_{п-р} = L_{сост} + l_{1стр}$ (рисунок В.1).

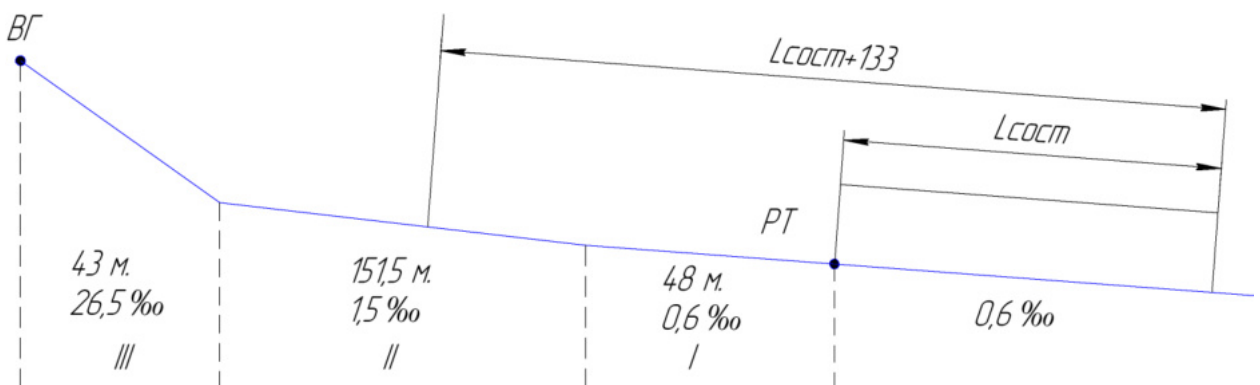


Рисунок В.1 – Схема передвижения по первому варианту

2) Локомотив с вагонами находится в середине II элемента, т.е. за первой стрелкой. Длина полурейса для такой схемы будет равняться сумме части состава, находящейся за расчетной точкой и $l_{1стр}$: $L_{п-р} = L_{гр} + l_{1стр}$ (рисунок В.2).

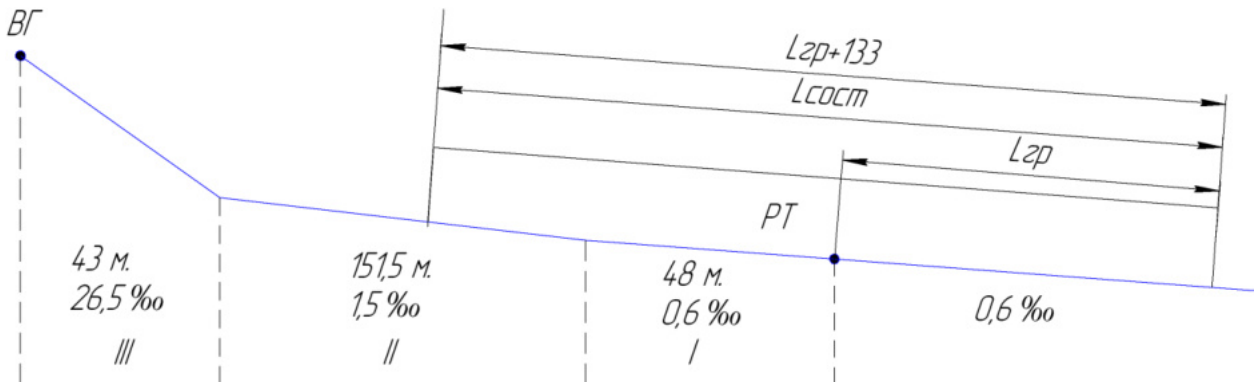


Рисунок В.2 – Схема передвижения по второму варианту

3) Локомотив с вагонами находится на III элементе, т.е. на скоростном элементе. Длина полурейса определяется таким же образом: $L_{п-р} = L_{гр} + l_{1стр}$ (рисунок В.3).

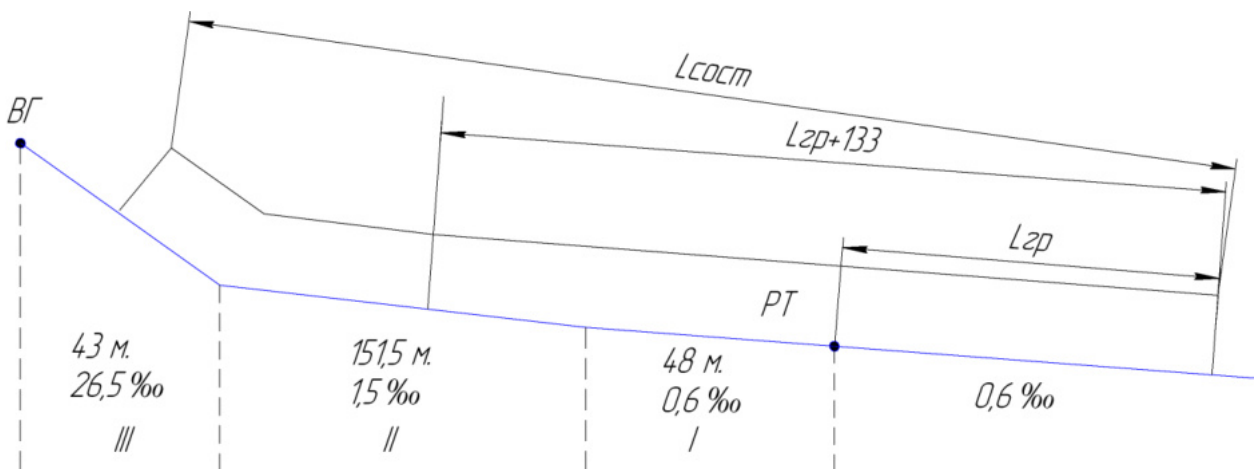


Рисунок В.3 – Схема передвижения по третьему варианту

По каждому варианту были осуществлены сеансы моделирования с помощью программы «Маневры-2» для различного числа вагонов и массы. Осуществлено сравнение полученных данных с регрессионной моделью. Для оценки разницы между полученными значениями рассчитан коэффициент k_p , показывающий отношение между этими временами. Значения представлены в таблице В.1.

Таблица В.1 – Сравнение значений времени на полурейс по вариантам

Номер варианта	Значения факторов		Максимальная скорость, км/ч	Отклик Т, мин	Время по модели Т _р , мин	k _p =Т _р / Т
	l _{п-р} , М	q _{гр} , Т				
	430 (20 ваг.)	1320	10,31	2,94	3,25	1,11
	570 (30 ваг.)	1920	11,62	3,52	3,96	1,13
	710 (40 ваг.)	2520	12,86	4,63	4,67	1,01
	297 (20 ваг.)	1320	9,00	2,48	3,00	1,21
	437 (30 ваг.)	1920	10,37	3,33	3,72	1,11
	577 (40 ваг.)	2520	11,68	4,09	4,42	1,08
	717 (50 ваг.)	3120	12,92	5,06	5,13	1,01
	356 (30 ваг.)	1920	9,58	2,9	3,48	1,2
	496 (40 ваг.)	2520	10,93	3,75	4,19	1,11
	636 (50 ваг.)	3120	12,3	4,62	4,90	1,06
Среднее значение отношения:						1,1

Как видно из таблицы В.1, значение k_p изменяется в интервале от 1,01 до 1,21, в зависимости от следующих условий: варианта исходной позиции локомотива, длины полурейса и массы. При этом чем выше масса состава и длина полурейса, тем меньше коэффициент k_p. В процессе сборки возможно множество различных комбинаций этих условий, которые будут чередоваться друг с другом. В связи с тем, что полученный коэффициент достаточно мал, а его среднее квадратическое отклонение невысоко (0,06), можно ограничиться математическим ожиданием этого коэффициента – k_p = 1,1. Тогда регрессионная модель определения времени на вытягивание вагонов при сборке будет выглядеть следующим образом:

$$T = (1,47282 + 0,002849l_{п-р} + 0,000519q_{гр})/1,10. \quad (B.1)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Расчет продолжительности операций по осаживанию группы вагонов при сборке

Особенностью данного передвижения является достаточно крутой спуск при движении в подгорочный парк, позволяющий легко набирать скорость, но создающий сложные условия для торможения. В связи с этим, фаза торможения будет значительно дольше, чем при обычных передвижениях по небольшим уклонам, что не позволяет использовать нормы времени на маневровые операции для расчета. Таким образом, для определения времени на осаживание в парк необходимо использовать методику, используемую для элемента 7.1 (п. 2.3).

В первую очередь, необходимо сравнить 2 метода расчетов: типовых норм времени на маневровую работу и тяговых расчетов с использованием программы «Маневры-2». Этим методам соответствует 2 варианта расчетов: с использованием норм времени на маневровую работу и с использованием тяговых расчетов. Рассматриваемый профиль представлен на рисунке Г.1.

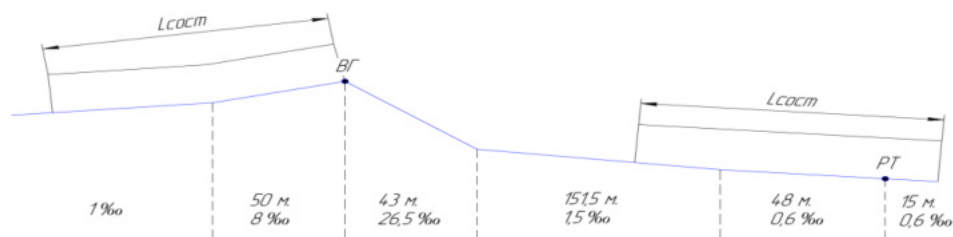


Рисунок Г.1 – Профиль горки малой мощности для рассматриваемого передвижения

Исходные данные для расчетов задаются по аналогии с операцией 7.1. Отличием является то, что передвижение осуществляется от вершины горки до расчетной точки с заездом на полезную длину группировочного пути на 15 метров. Помимо этого, длина полурейса будет всегда одинакова, т.к. при осаживании одного вагона длина состава не влияет на расстояние самого полурейса. Результаты расчетов приведены в таблице Г.1.

Таблица Г.1 – Результаты расчетов затрат времени на полурейс различными методами

m , ваг	$q_{гр}$, Т	$l_{п-р}$, М	v , км/ч	Затраты времени, мин		t_2/t_1
				t_1	t_2	
10	720	257,5	8,5	1,95	2,23	1,15
20	1320	257,5	8,5	2,04	2,62	1,29
30	1920	257,5	8,5	2,13	2,75	1,29
40	2520	257,5	8,5	2,22	2,85	1,28
50	3120	257,5	8,5	2,32	2,89	1,25
60	3720	257,5	8,5	2,41	3,02	1,25
70	4320	257,5	8,5	2,50	3,41	1,36

Результаты расчетов длительности полурейса, полученные разными методами, представлены на рисунке Г.2 в виде графических зависимостей затрат времени на полурейс от массы и длины маневрового состава.

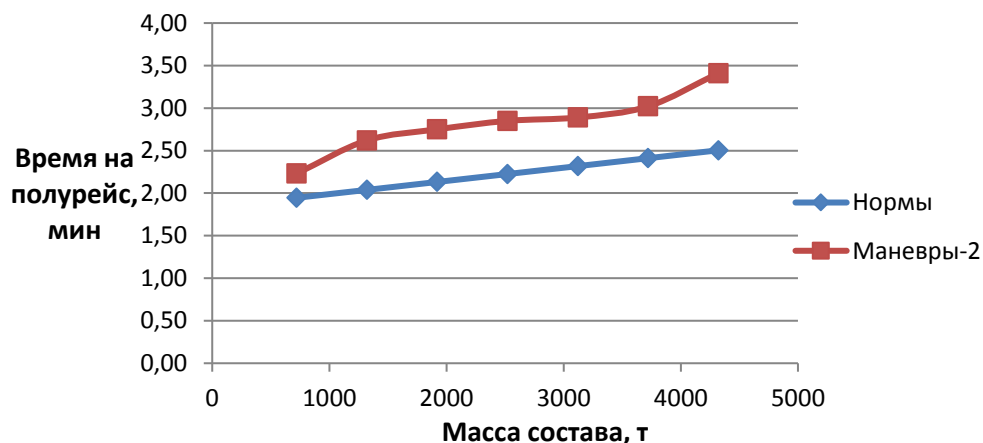


Рисунок Г.2 – График зависимости времени на полурейс от массы состава для различных методов расчета

Как видно из графика и отношений времен, полученных по различным вариантам расчета, разница в результатах расчета достаточно существенна, в среднем – 25%. Однако, в отличие от операции 7.1, эта разница не так существенно изменяется при увеличении массы переставляемой группы и длины состава, однако по абсолютному значению она достаточно велика, что создает необходимость разработки математической модели определения времени на осаживание вагонов.

В качестве метода построения математической модели расчета времени T_{oc} принят многофакторный регрессионный анализ. Длина полурейса $l_{п-р}$ и масса маневровой группы $q_{гр}$ являются функцией числа вагонов, следовательно, само число вагонов можно в явном виде в регрессионную модель не включать.

Математическая модель в общем виде выглядит следующим образом:

$$T = f(l_{п-р}, q_{гр}). \quad (Г.1)$$

Факторное пространство представлено следующим образом:

1) Длина полурейса: т.к. длина полурейса не зависит от длины состава, можно ограничиться фиксированными значениями, соответствующими конструкции сортировочного устройства. Для выбранной конструкции (таких значений может быть 3: $l_{п-р}^1 = 133$ м – осаживание из-за стрелки 102, $l_{п-р}^2 = 166$ м – осаживание из-за стрелки 104, $l_{п-р}^3 = 197$ – осаживание из-за стрелки 101.

2) Масса переставляемого состава: $q_{гр}^{min} = 720$ т, $q_{гр}^{max} = 4320$ т с шагом 600 т. Скорость движения для длин полурейса определяется по формуле (2.6).

Моделирование маневровых передвижений выполнено при помощи программы «Маневры-2». Полученные результаты представлены в таблице Г.2.

Полученная математическая модель имеет следующий вид:

$$T_{oc} = 0,480216 + 0,006827L_{п-р} + 0,000227q_{гр}. \quad (Г.2)$$

Из данных рисунка Г.3 видно, что коэффициент множественной детерминации R^2 составил 0,927, достаточно близкое к единице значение, подтверждающее, что модель описывается линейной зависимостью. Критерий Фишера F имеет высокую значимость, как и все полученные коэффициенты модели. Это говорит о том, что нет оснований принимать нулевую гипотезу (т.е. гипотезу о том, что коэффициенты не значимы, а модель не подчиняется линейной зависимости). Распределение остатков также описывается нормальным распределением.

Таблица Г.2 – Результаты расчета затрат времени методом имитационного моделирования

Номер опыта	Значения факторов		Расчетная скорость, км/ч	Отклик T, мин
	$l_{п-р}$, м	$q_{гр}$, т		
1		720		1,54
2		1320		1,85
3		1920		1,88
4		2520		1,93
5		3120		2,07
6		3720		2,21
7		4320		2,28
8		720		1,65
9		1320		1,98
10		1920		2,04
11		2520		2,37
12		3120		2,23
13		3720		2,35
14		4320		2,53
15		720		1,70
16		1320		2,23
17		1920		2,33
18		2520		2,41
19		3120		2,57
20		3720		2,55
21		4320		2,97

На основании полученных значений (таблица Г.1 и Г.2) с использованием программного пакета для статистического анализа Statistica выполнен многофакторный регрессионный анализ. Результаты представлены на рисунке Г.3.

Итоги регрессии для зависимой переменной: Пер3 (Таблица данных5)						
R= ,96540515 R2= ,93200710 Скоорект. R2= ,92656766						
F(2,25)=171,34 p<,000000 Станд. ошибка оценки: ,11868						
N=28	БЕТА	Ст.Ош. БЕТА	В	Ст.Ош. В	t(25)	p-знач.
Св.член			0,480216	0,105835	4,53741	0,000124
Пер1	0,633639	0,052151	0,000227	0,000019	12,15010	0,000000
Пер2	0,728361	0,052151	0,006827	0,000489	13,96640	0,000000

Рисунок Г.3 – Программный фрагмент итогов регрессионного анализа по программе Statistica

Таким образом, можно сделать вывод о том, что представленная регрессионная модель адекватно описывает рассматриваемый процесс. Формула (Г.2) может быть использована в имитационной модели работы специализированного сортировочного модуля с целью определения времени на полурейсы осаживания вагонов ЗСГ с горбка горки, а также на полурейсы осаживания при сборке.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Схемы многогруппной сортировки вагонов различными способами

Таблица Д.1 – Схема сортировки многогруппного состава (7 групп) на трех путях, комбинаторный способ

Номер сортировки	Номер пути, с которого сортируют вагоны	№ пути	Размещение вагонов на путях после каждой сортировки
		1	(1)
		2	[2,4,5,7]
		3	[3,6]
		1	(1) + (2)
		2	(5)
		3	[3,6] + [4,7]
		1	(1, 2) + (3) + (4)
		2	(5) + (6) + (7)
		3	Свободен
		1	(1, 2, 3, 4) + (5, 6, 7)
		2	Свободен
		3	Свободен

Таблица Д.2 – Схема сортировки многогруппного состава (8-13 групп) на трех путях, комбинаторный способ

Номер сортировки	Номер пути, с которого сортируют вагоны	№ пути	Размещение вагонов на путях после каждой сортировки
		1	[1, 3, 5, 7, 9, 11, 13]
		2	[2, 6, 8, 12]
		3	[4, 10]
		1	(1)
		2	[2, 6, 8, 12] + [3, 7, 9, 13]
		3	[4, 10] + [5, 11]
		1	(1) + (2) + (3)
		2	(8) + (9)
		3	[4,10]+[5,11]+[6,12]+[7,13]
		1	(1, 2, 3)+(4)+(5)+(6)+(7)
		2	(8,9)+(10)+(11)+(12)+(13)
		3	Свободен
		1	(1-7) + (8-13)
		2	Свободен
		3	Свободен

Таблица Д.3 – Схема сортировки многогруппного состава (14-24 группы) на трех путях, комбинаторный способ

Номер сортировки	Номер пути, с которого сортируют вагоны	№ пути	Размещение вагонов на путях после каждой сортировки
		1	[1, 8, 14, 21]
		2	[2, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 18, 20, 22, 24]
		3	[3, 6, 10, 12, 16, 19, 23]
		1	[1, 8, 14, 21] + [2, 9, 15, 22]
		2	[5, 18]
		3	[3, 6, 10, 12, 16, 19, 23] + [4, 7, 11, 13, 17, 20, 24]
		1	[1, 8, 14, 21] + [2, 9, 15, 22] + [3, 10, 16, 23] + [4, 11, 17, 24]
		2	[5, 18] + [6, 19] + [7, 20]
		3	(12) + (13)
		1	(1) + (2) + (3) + (4)
		2	[5, 18] + [6, 19] + [7, 20] + [8, 21] + [9, 22] + [10, 23] + [11, 24]
		3	(12,13) + (14) + (15) + (16) + (17)
		1	(1-4) + (5) + (6) + (7) + (8) + (9) + (10) + (11)
		2	Свободен
		3	(12-17) + (18) + (19) + (20) + (21) + (22) + (23) + (24)
		1	(1-11) + (12-24)
		2	Свободен
		3	Свободен

Таблица Д.4 – Схема сортировки многогруппного состава (9 групп) на трех путях, степенной способ

Номер сортировки	Номер пути, с которого сортируют вагоны	№ пути	Размещение вагонов на путях после каждой сортировки
		1	[1, 4, 7]
		2	[2, 5, 8]
		3	[3, 6, 9]
		1	(1, 2, 3)
		2	(4, 5, 6)
		3	(7, 8, 9)
		1	(1-9)
		2	Свободен
		3	Свободен

Таблица Д.5 – Схема сортировки многогруппного состава (16 групп) на четырех путях, степенной способ

Номер сортировки	Номер пути, с которого сортируют вагоны	№ пути	Размещение вагонов на путях после каждой сортировки
		1	[1, 5, 9, 13]
		2	[2, 6, 10, 14]
		3	[3, 7, 11, 15]
		4	[4, 8, 12, 16]
		1	(1, 2, 3, 4)
		2	(5, 6, 7, 8)
		3	(9, 10, 11, 12)
		4	(13, 14, 15, 16)
		1	(1-16)
		2	Свободен
		3	Свободен
		4	Свободен

Таблица Д.6 – Схема сортировки многогруппного состава (16 групп) на четырех путях, ступенчатый дублирующий способ

Номер сортировки	Номер пути, с которого сортируют вагоны	№ пути	Размещение вагонов на путях после каждой сортировки
		1	[1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15]
		2	[2, 8]
		3	[4, 10, 14]
		4	[6, 12, 16]
		1	(1)
		2	[2,8] + [3,9]
		3	[4, 10, 14] + [5, 11, 15]
		4	[6, 12, 16] + [7, 13]
		1	(1) + (2) + (3)
		2	(8) + (9)
		3	[4, 10, 14] + [5, 11, 15]
		4	[6, 12, 16] + [7, 13]
		1	(1-3) + (4) + (5)
		2	(8-9) + (10) + (11)
		3	(14) + (15)
		4	[6, 12, 16] + [7, 13]
		1	(1-5) + (6) + (7)
		2	(8-11) + (12) + (13)
		3	(14,15) + (16)
		4	Свободен
		1	(1-16)
		2	Свободен
		3	Свободен
		4	Свободен

Таблица Д.7 – Схема сортировки многогруппного состава (16 групп) на четырех путях, ступенчатый максимальный способ

Номер сортировки	Номер пути, с которого сортируют вагоны	№ пути	Размещение вагонов на путях после каждой сортировки
		1	[1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15]
		2	[2, 8, 10, 12]
		3	[4, 14, 16]
		4	(6)
		1	(1)
		2	[2, 8, 10, 12] + [3, 9, 11, 13]
		3	[4, 14, 16] + [5, 15]
		4	(6) + (7)
		1	(1) + (2,3)
		2	(12, 13)
		3	[4, 14, 16] + [5,15] + (10,11)
		4	(6, 7) + (8, 9)
		1	(1, 2, 3) + (4, 5)
		2	(12, 13) + (14, 15)
		3	(16)
		4	(6-9) + (10, 11)
		1	(1-16)
		2	Свободен
		3	Свободен
		4	Свободен

Таблица Д.8 – Схема сортировки многогруппного состава (9 групп) на пяти путях, способ последовательного выделения групп

Номер сортировки	Номер пути, с которого сортируют вагоны	№ пути	Размещение вагонов на путях после каждой сортировки
		1	[2, 4, 6, 8, 9]
		2	(1)
		3	(3)
		4	(5)
		5	(7)
		1	(9)
		2	(1) + (2)
		3	(3) + (4)
		4	(5) + (6)
		5	(7) + (8)
		1	Свободен
		2	(1-9)
		3	Свободен
		4	Свободен
		5	Свободен

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Результаты моделирования процесса многогруппной сортировки

Таблица Е.1 - Математическое ожидание базового технологического горочного интервала при использовании комбинаторного способа сортировки ($l_{cp} = 3$ вагона, $m_{cp} = 60$ т), мин

Число путей	Число групп															
	≤ 5	6	7	8	9	10-11	12-13	14	15	16	17-18	19-20	21	22-23	24	≥ 25
2	71,9	89,6	90,1	92,8	110,6	110,4	112,7	131,9	131,2	131,7	132	133,3	134,1	-	-	-
3	66,6	66,7	67,8	70,1	72,5	81,4	85,7	89,1	89,4	89,6	101,9	101,6	101,8	101,8	101,4	-
4	63,2	62,1	62,8	65,1	70,9	73,4	72,1	69,9	68,9	88,1	86,5	88,5	88,8	95	94,9	93,8
5	-	-	-	-	-	-	79,2	78,8	81,8	85,1	83,6	84,9	85	84,7	93,1	94

Таблица Е.2 - Математическое ожидание базового технологического горочного интервала при использовании степенного способа сортировки ($l_{cp} = 3$ вагона, $m_{cp} = 60$ т), мин

Число путей	Число групп																					
	≤ 4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
2	63,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	71,1	70,3	75,8	75,7	74,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	77	83,1	82,1	82	81,8	81,1	80,9	86,2	86,1	86	85,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	86,8	86,3	85,8	85,7	91,9	91	91	90,9	90,5	95,9	96,3	96,2	95,4	95,4

Таблица Е.3 - Математическое ожидание базового технологического горочного интервала при использовании ступенчатого дублирующего способа сортировки ($l_{cp} = 3$ вагона, $m_{cp} = 60$ т), мин

Число путей	Число групп																					
	≤ 4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
2	69,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	75,3	78,4	81,6	83,8	83,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	74,5	74,6	76,4	84,3	84,3	85,4	84,8	85,6	86,0	86,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	72,9	74,3	75,9	76,8	76,7	76,9	82,8	91,3	90,4	90,7	90,9	91,4	92	91,9	92,2	92,7

Таблица Е.4 - Математическое ожидание базового технологического горочного интервала при использовании ступенчатого максимального способа сортировки ($l_{cp} = 3$ вагона, $m_{cp} = 60$ т), мин

Число путей	Число групп																					
	≤ 4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
2	69,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	66,9	66,0	68,6	70,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	64,9	66,2	68,2	81,5	84	85,6	86,4	86,1	87,4	87,5	94,9	94,9	94,5	95,6	95,9	96,6	96,7	97,4	97,1
5	-	-	-	-	-	-	74,3	74,4	76,1	76,7	77,1	77,1	76,8	91,5	93,0	93,8	92,9	92,4	93,9	93,6	94,6	94,6

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Свидетельство о регистрации программы «МГС-Аналитика»

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное научное учреждение
ИНСТИТУТ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЕМ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
ОБРАЗОВАНИЯ
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ФОНД ЭЛЕКТРОННЫХ РЕСУРСОВ "НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ"
(основан в 1991 году)

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О РЕГИСТРАЦИИ
ЭЛЕКТРОННОГО РЕСУРСА**

№ 22335

ИУО РАО
ОФЭРНИО

Настоящее свидетельство выдано на электронный ресурс, отвечающий
требованиям новизны и приоритетности:

МГС-Аналитика

Дата регистрации: 06 декабря 2016 года
Автор: Сивицкий Д.А.

Директор ФГБНУ ИУО РАО,
доктор экономических наук  С.С. Неустроев

Руководитель ОФЭРНИО, почетный
работник науки и техники России  А.И. Галкина

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Акты внедрения результатов диссертационной работы



ФИЛИАЛ ОАО «РЖД»
ЦЕНТРАЛЬНАЯ ДИРЕКЦИЯ
УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

ЗАПАДНО-СИБИРСКАЯ
ДИРЕКЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

ул. Вокзальная магистраль, 12,
г. Новосибирск, 630004,
Тел.: (383) 229-48-02, факс: (383) 229-93-88
E-mail: d-sekretar@wsr.ru, www.zszd.rzd.ru

14.12.2017 г. № 6943/ЗСДФ

На № _____ от _____

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Сивицкого Дмитрия Андреевича

Результаты, полученные Сивицким Д.А. при выполнении диссертационной работы на тему «Совершенствование методов расчета параметров сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.08 – «Управление процессами перевозок», имеют прикладное значение для сортировочных и грузовых железнодорожных станций.

Выполнена апробация предлагаемых проектных решений по развитию специализированных сортировочных устройств для организации многогруппной подборки вагонов на грузовой станции Новокузнецк-Восточный Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД».

Полученные результаты свидетельствуют об обоснованности и целесообразности практического применения разработанных в диссертационной работе предложений по сооружению сортировочного устройства горочного типа для многогруппной подборки вагонов при планируемом перспективном развитии станции. Выполнены расчеты с использованием разработанной модели, определены оптимальные параметры путей подгорочного парка, используемых для группировки вагонов (вместимости, количества), а также обоснована потребность переустройства парка приема с укладкой дополнительного пути.

Разработанная в диссертации модель и методика ее использования представляют практическую ценность и могут быть применены для определения оптимальных конструктивных и технологических параметров горочных сортировочных устройств, используемых для многогруппной подборки вагонов на станциях ОАО «РЖД».

И.о. главного инженера Западно-Сибирской
дирекции управления движением



Д.П. Бережнок



РОСЖЕЛДОР
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ" (СГУПС)
630049, г. Новосибирск-49, ул. Дуси Ковальчук, 191 тел.: (383) 328-04-70, 328-05-75 факс: (383) 226-79-78 e-mail: public@stu.ru http://www.stu.ru
ОГРН 1025401011680 ИНН / КПП 5402113155 / 540201001

21.02.18 № 354
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
А. А. Новоселов
«06» февраля 2018 г.

Акт о внедрении результатов диссертационной работы Сивицкого Дмитрия Андреевича в учебный процесс

Настоящая справка подтверждает использование в учебном процессе факультета «Управление процессами перевозок на железнодорожном транспорте» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения» материалов диссертационной работы Сивицкого Д. А. На тему «Совершенствование методов расчета параметров сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.08 – «Управление процессами перевозок» (технические науки).

Научные результаты диссертационной работы используются при обучении студентов специальности 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог», специализаций «Магистральный транспорт», «Грузовая и коммерческая работа» и «Транспортный бизнес и логистика». Материалы диссертационной работы, касающиеся особенностей проектирования группировочных парков, определения полезной длины группировочных путей включены в учебный курс дисциплины «Железнодорожные станции и узлы» (раздел 1 «Технические нормы проектирования станционных путей. Соединения путей»; касающиеся технологии детальной подборки вагонов на ограниченном числе путей, горочной технологии многогруппной сортировки с использованием интенсивных способов – в учебный курс дисциплины «Промышленный транспорт» (раздел 5 «Технология работы станций промышленных районов»). Прикладные аспекты использования результатов диссертационного исследования в части определения рационального количества и вместимости группировочных путей используются при дипломном проектировании студентов 5 курса на кафедре «Железнодорожные станции и узлы» ФГБОУ ВО СГУПС.

Декан факультета УПП,
к.т.н., доцент

А. А. Климов